



جامعة الفرات
كلية الزراعة بالحسكة

الأسمدة والتسميد

((الجزء النظري))

إعداد

الدكتور حمود ساكير

لطلاب السنة الرابعة - شعبة عامة

2023/2024

مقدمة

نظراً للتطور الهائل في مجال الأسمدة والتسميد، ولما للأسمدة من أهمية كبرى في زيادة الإنتاج الزراعي، كان من الضروري تأليف كتاب عن الأسمدة والتسميد يتضمن ثلاث عشر فصلاً، يتناول الفصل الأول: مفهوم خصوبة التربة والتسميد، والفصل الثاني: صور العناصر الغذائية وإتاحتها للنبات، والفصل الثالث: تصنيف الأسمدة و أنواعها، والفصل الرابع: طبيعة الأسمدة الكيميائية ومواصفاتها، والفصل الخامس: أسمدة العناصر الكبرى الثانوية، والفصل السادس: أسمدة العناصر المغذية الصغرى، والفصل السابع: الأسمدة المركبة، والفصل الثامن: الأسمدة العضوية، والفصل التاسع: أسمدة التصنيع العضوي (الأسمدة التجارية)، والفصل العاشر: تكنولوجيا التسميد، والفصل الحادي عشر: المعادلات السمادية ومنحنيات استجابة النبات للتسميد، والفصل الثاني عشر: عشر تشخيص الحاجة للتسميد، والفصل الثالث عشر: طرائق تقدير الحاجة للتسميد. وكلنا أمل أن تحقق الفائدة المرجوة. والله ولي التوفيق.

د. حمود ساكير

محتويات الكتاب

رقم الصفحة	الموضوع
1	الفصل الأول: مفهوم خصوبة التربة والتسميد
1	1-1- التطور الفكري في مجال خصوبة التربة والتسميد
11	2-1- مفهوم خصوبة التربة
11	3-1- تدهور خصوبة التربة
13	4-1- مفهوم التسميد
16	الفصل الثاني: صور العناصر الغذائية وإتاحتها للنبات
16	1-2- مقدمة
16	2-2- مصادر العناصر الغذائية في التربة
20	3-2- صور العناصر الغذائية في التربة
36	4-2- العوامل المؤثرة على تركيز العناصر في محلول التربة
40	5-2- العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات
43	6-2- صور العناصر الغذائية التي يمتصها النبات
47	7-2- امتصاص العناصر المغذية
54	8-2- الوظائف الفيزيولوجية للعناصر الغذائية في النبات
61	الفصل الثالث: تصنيف الأسمدة وأنواعها
61	الباب الأول: 3-1- مفاهيم ومصطلحات
71	الباب الثاني: 3-2- الصفات الفيزيائية والكيميائية للأسمدة
71	3-2-1- الصفات الفيزيائية للأسمدة
73	3-2-2- الصفات الكيميائية للأسمدة
78	الباب الثالث: 3-3- تصنيف الأسمدة
83	الفصل الرابع: طبيعة الأسمدة الكيميائية ومواصفاتها
83	الباب الأول: النتروجين N في التربة والنبات وأسمدته
83	4-1-1- مقدمة
83	4-1-2- دورة النتروجين
84	4-1-3- تثبيت النتروجين الجوي
86	4-1-4- النتروجين في التربة
91	4-1-5- النتروجين في النبات
92	4-1-6- الأسمدة النتروجينية
104	4-1-7- مبادئ في التسميد النتروجيني
110	الباب الثاني: الفوسفور P والأسمدة الفوسفاتية
110	4-2-1- الفوسفور في التربة

119	4-2-2-2- الفوسفور في النبات
122	4-2-3- الأسمدة الفوسفاتية
130	4-2-4- مبادئ التسميد الفوسفاتي
136	الباب الثالث: البوتاسيوم K
136	4-3-1- مقدمة
136	4-3-2- البوتاسيوم في التربة
138	4-3-3- البوتاسيوم في النبات
139	4-3-4- الأسمدة البوتاسية
141	4-3-5- مؤشرات وتطبيقات استخدام الأسمدة البوتاسية
142	4-3-6- مبادئ التسميد البوتاسي
144	الفصل الخامس: أسمدة العناصر الكبرى الثانوية
144	5-1- الكالسيوم Ca
144	5-1-1- الكالسيوم في التربة
144	5-1-2- الكالسيوم في النبات
147	5-1-3- علاج نقص الكالسيوم
147	5-1-4- النقاط الواجب مراعاتها عند التسميد من مصادر الكالسيوم
148	5-2- المغنيزيوم Ma
148	5-2-1- المغنيزيوم في التربة
148	5-2-2- المغنيزيوم في النبات
149	5-2-3- إضافة المغنيزيوم
150	5-3- الكبريت S
150	5-3-1- الكبريت في التربة
151	5-3-2- الكبريت في النبات
152	5-3-3- التسميد بالكبريت
154	الفصل السادس: أسمدة العناصر المغذية الصغرى
154	الباب الأول: سلوك العناصر الصغرى في التربة والنبات
154	6-1-1- مقدمة
154	6-1-2- أسباب الحاجة للتسميد بالعناصر الصغرى
155	6-1-3- الترب التي يظهر فيها أعراض نقص العناصر الصغرى
156	6-1-4- العوامل الأرضية المؤثرة في انحلال وحركية العناصر الصغرى
158	6-1-5- تفاعلات العناصر الصغرى المضافة إلى التربة
159	6-1-6- العناصر الصغرى وتغذية النبات
160	6-1-6- أسمدة العناصر الصغرى
162	الباب الثاني: الحديد Fe

162	1-2-6- مقدمة
162	2-2-6- الحديد في التربة
165	3-2-6- الحديد في النبات
167	4-2-6- علاج نقص الحديد
169	5-2-6- أنواع اسمدة الحديد
171	الباب الثالث: المنغنيز Mn
171	1-3-6- المنغنيز في التربة
173	2-3-6- المنغنيز في النبات
173	3-3-6- علاج نقص المنغنيز
174	4-3-6- أنواع أسمدة المنغنيز
174	الباب الرابع: الزنك Zn
174	1-4-6- الزنك في التربة
181	2-4-6- الزنك في النبات
181	3-4-6- التسميد بالزنك
183	الباب الخامس: النحاس Cu
183	1-5-6- مقدمة
183	2-5-8- النحاس في التربة
184	3-5-6- النحاس في النبات
185	4-5-6- التسميد بالنحاس
186	5-5-6- أسمدة النحاس
186	الباب السادس: البورون B
186	1-6-6- مقدمة
187	2-6-6- البورون في التربة
188	3-6-6- البورون في النبات
189	4-6-6- التسميد بالبورون
190	الباب السابع: الموليبدنم Mo
190	1-7-6- مقدمة
190	2-7-6- الموليبدنم في التربة
192	3-7-6- الموليبدنم في النبات
193	4-7-6- علاج نقص الموليبدنم
194	5-7-6- التسميد بالموليبدنم
195	الفصل السابع- الباب الأول: الأسمدة المركبة
195	1-1-7- الأسمدة المركبة
195	2-1-7- أنواع الأسمدة المركبة

198	3-1-7- عيوب الأسمدة المركبة
198	4-1-7- ما يجب مراعاته عند خلط الأسمدة
200	الباب الثاني: المواصفات القياسية للأسمدة الكيميائية
207	الفصل الثامن - الأسمدة العضوية
207	1-8- الأسمدة العضوية
207	2-8- فوائد الأسمدة العضوية
209	3-8- الأسمدة العضوية ذات المنشأ الحيواني (المزرعية)
209	1-3-8- السماد البلدي
210	2-3-8- أهمية السماد البلدي
210	3-3-8- مكونات السماد البلدي
211	4-3-8- خواص مكونات السماد البلدي
212	5-3-8- التفاعلات الكيميائية التي تحدث في مكونات السماد عند تخمره:
217	6-3-8- طرق تحضير وتخزين السماد البلدي
218	7-3-8- استخدام السماد البلدي
220	8-3-8- تركيب السماد البلدي
222	9-3-8- مقارنة السماد الطازج بالسماد الناضج
222	10-3-8- الأمور الواجب مراعاتها عند تحضير واستخدام السماد البلدي
224	1-4-8- سماد زرق الدواجن
225	2-4-8- حفظ مخلفات الطيور وتصنيع الأسمدة منها
225	3-4-8- المحاصيل الأكثر استجابة للتسميد بمخلفات الدواجن
225	4-4-8- القيمة السمادية لسماد الدواجن
227	5-8- الأسمدة العضوية ذات المنشأ النباتي:
227	1-5-8- الأسمدة الخضراء: Green manures:
229	الفصل التاسع: أسمدة التصنيع العضوي (الأسمدة التجارية)
229	1-1-9- كومبوست المخلفات النباتية
229	2-1-9- لماذا يفضل تحلل المخلفات العضوية خارج التربة:
230	3-1-9- العوامل التي تؤثر على درجة ومعدل تحلل بقايا المحاصيل
233	4-1-9- تحضير الكومبوست
237	5-1-9- علامات نضج سماد الكومبوست
237	6-1-9- الشروط الواجب توفرها لإنتاج كومبوست مثالي
238	7-1-9- فوائد إنتاج الكومبوست
238	8-1-9- تخزين وإضافة الكومبوست إلى التربة
239	2-9- سماد البيوغاز
240	3-9- سماد قمامة المدن Town refuse

240	9-3-1- طرق تحويل القمامة إلى سماد
242	9-3-2- ملاحظات حول سماد القمامة
243	9-4-4- سماد المجاري (الحمأة)
243	9-4-1- الحمأة Sludge
244	9-4-2- معالجة مياه الصرف الصحي
245	9-4-3- استخدامات مياه المجاري في الري
245	9-4-4- سماد المجاري (الحمأة)
245	9-4-5- كيفية معالجة مخلفات الصرف الصحي
246	9-4-6- عيوب سماد المجاري بأنواعه
246	9-4-7- الاحتياطات الواجب مراعاتها عند استخدام سماد المجاري في التسميد
247	9-5-5- كمبوست (البيت) الخث
248	9-6-6- أسمدة المخلفات الحيوانية
248	9-6-1- مخلفات المذابح والأسماك:
249	9-6-2- الجوانو
249	9-6-3- مخلفات المواد النباتية (مخلفات البذور الزيتية)
250	9-7-7- الأسمدة الحيوية
250	9-7-1- الفوائد العامة للأسمدة الحيوية:
251	9-7-2- العمليات المعينة التي تقوم بها الميكروبات لزيادة صلاحية العناصر
251	9-7-3- الأسمدة الحيوية النتروجينية
256	9-7-4- الكائنات الدقيقة المذيبة للفوسفات
257	9-7-7- منظمات النمو النباتي
258	9-8-1- لمحة تاريخية
259	9-8-2- تصنيفها وتركيبها الكيميائية ومصادرها
263	9-8-4- مجالات استعمال منظمات النمو في الزراعة
264	9-8-4- مخاطرها على الإنسان والبيئة
266	9-9-9- المستخلصات العضوية
271	9-10-9- المستخلصات الحيوية
272	9-11-9- المواصفات القياسية للأسمدة العضوية
275	الفصل العاشر: تكنولوجيا التسميد
275	10-1-1- تكنولوجيا التسميد
276	10-2-2- طرائق إضافة الأسمدة
280	10-3-3- إضافة الأسمدة العضوية
281	10-4-4- موعد إضافة الأسمدة
281	10-5-5- كميات الأسمدة المضافة

283	10-6- تكنولوجيا صناعة الأسمدة
283	10-6-1- المواد الأولية للأسمدة
283	10-6-2- صناعة الاسمدة النتروجينية
284	10-6-3- صناعة الاسمدة الفوسفاتية
286	10-6-3- صناعة الاسمدة البوتاسية
287	10-6-4- الاتجاهات الحديثة في مجال التسميد وصناعة الأسمدة
293	الفصل الحادي عشر: المعادلات السمادية ومنحنيات استجابة النبات للتسميد
293	11-1- قانون لبيج
293	11-2- قوانين منشرلش
297	11-3- العلاقة الكمية بين العنصر والنبات
298	11-4- تطوير معادلة منشرلش
304	11-5- التجارب العملية ومعادلات الانحدار
304	11-6- معادلات استجابة النبات للتسميد
305	11-7- كفاءة التسميد
305	11-8- الإضافات الاقتصادية للسماد
305	11-9- أهمية العلاقات الكمية بين النبات وعوامل النمو
306	الفصل الثاني: عشر تشخيص الحاجة للتسميد
306	12-1- مقدمة
306	12-2- أسس الفحص الحقلية
307	12-3- تحليل النبات
331	12-4- اختبارات التربة
335	12-5- الطرق الحيوية
337	12-6- معايرة اختبارات خصوبة التربة
340	الفصل الثالث عشر: طرائق تقدير الحاجة للتسميد
340	13-1- التوصية السمادية
340	13-2- طرائق تقدير الحاجة للتسميد
344	13-3- المقررات السمادية والاحتياجات السمادية
345	13-4- أسس اعتماد المقررات و الاحتياجات السمادية

فهرس الجداول والأشكال

رقم الصفحة	الجدول
17	الجدول (1-2): متوسط النسبة المئوية الوزنية لأكثر العناصر انتشاراً في الطور الصلب للتربة
19	الجدول (2-2): الحدود الدنيا والقصى لتركيز العناصر المغذية الأساسية في محلول التربة
22	الجدول (3-2): مركبات فوسفات الكالسيوم في الترب
41	الجدول (4-2): العناصر الغذائية الأساسية للنبات
42	جدول (5-2) متوسط محتوى التربة والنبات من العناصر المغذية الأساسية
46	جدول (6-2) يبين صورة العنصر التي يمتصها النبات وتركيزه في المادة الجافة
66	جدول (1-3): معامل تحويل العناصر إلى صورة أكاسيد وبالعكس
70	الجدول (2-3): اختصارات الأسمدة
73	الجدول (3-3): ذوبانية الأسمدة في الماء
75	جدول (4-3): أنواع هذه الأسمدة وكمية كربونات الكالسيوم اللازمة لمعادلة درجة تفاعل التربة.
77	الجدول (5-3): قيم دليل الملوحة (SI) لبعض الأسمدة المعروفة
85	جدول (1-4): كمية النتروجين المثبتة بواسطة بعض الأنواع البقولية.
109	جدول (2-4): أهم الأسمدة الأزوتية
123	الجدول (3-4): ترسب فوسفات الكالسيوم في التربة
136	جدول (4-4): أنواع الأسمدة الفوسفاتية
141	جدول (5-4): الأسمدة البوتاسية
153	جدول (1-5): الأسمدة الحاوية على الكبريت
221	جدول (1-8) متوسط تركيب السماد الجيد والمحضر باستعمال القش كفرشة
224	جدول (2-8): المواصفات التي يجب أن يكون عليها سماد الدواجن.
226	الجدول (3-8) التركيب الكيميائي لزرق بعض أنواع الدواجن كنسبة مئوية من الوزن الرطب
227	الجدول (4-8): تركيب الدمن والأسمدة الخضراء
231	الجدول (1-9): التركيب الكيميائي لبعض المخلفات النباتية
232	الجدول (2-9): العلاقة بين نسبة المادة من البنتوزانات إلى اللجنين ودرجة مقاومتها للتحلل
235	الجدول (3-9): المواد المختلفة وما تحتاجه من المخلوط المنشط لكل طن
248	الجدول (4-9): تركيب بعض المخلفات الحيوانية
250	الجدول (5-9): التركيب الكيميائي لبعض مخلفات البذور الزيتية
280	الجدول (1-10): تركيب الأسمدة العضوية ومدة التخمر
300	الجدول (1-11) العلاقة ما بين الإنتاجية النسبية وحدات عامل النمو
303	الجدول (2-11): نسبة المحصول الأعظم عند وحدات باول من عامل النمو
327	جدول (1-12) تحليل نسيج النجيليات
334	الجدول (2-12): مستخلصات العناصر من التربة

334	الجدول (12-3): تقييم نتائج تحليل التربة
335	الجدول (12-4): تقييم نتائج تحليل التربة
336	الجدول (12-5): تشخيص الحاجة للتسميد من باستخدام النبات وتحليل التربة
338	الجدول (12-6): دليل الخصوبة Fertility index استخدام محصول النبات النسبي
342	الجدول (13-1): تقدير الاحتياج من العناصر الغذائية وفق طريقة نيوباور
348	الجدول (13-1) معامل استفاضة المحاصيل من السماد البلدي (سماد الإسطبل)
348	الجدول (13-2) معامل استفاضة المحاصيل المختلفة من الزيل والأسمدة المعدنية
349	جدول ملحق 1 تحويل الوحدات
350	جدول ملحق 2: معدلات التسميد الموصى بها للقمح بناءً على محتوى التربة حسب نتائج التحاليل
رقم الصفحة	الشكل
38	الشكل (1-2): تأثير pH التربة في إتاحة العناصر الغذائية للنبات
54	الشكل (2-2): علاقات الاتزان بين العناصر (مخطط Mulder's)
199	الشكل (1-7): إمكانية خلط الأسمدة
262	الشكل (1-9): بعض المنشطات والمثبطات الهرمونية للنمو النباتي.
289	الشكل (1-10): مراحل صناعة سماد اليوريا
290	الشكل (10-2): مراحل إنتاج الأمونيا
291	الشكل (10-3): مراحل إنتاج السوبر فوسفات الثلاثي
292	الشكل (10-4): مراحل صناعة كلوريد البوتاسيوم
301	الشكل (11-1) العلاقات ما بين الإنتاجية ووحدات النمو المتتالية
301	الشكل (11-2) العلاقات ما بين الزيادة في الإنتاجية ووحدات النمو المتتالية
301	الشكل (11-3) العلاقات ما بين الإنتاجية والزيادة في الإنتاجية مع وحدات النمو المتتالية
327	الشكل (12-1) العلاقة ما بين تركيز العناصر المغذية في النبات وإنتاجية المحاصيل
328	الشكل (12-2): تركيز العناصر الغذائية في النسيج النباتي

الفصل الأول - مفهوم خصوبة التربة والتسميد

Concept of soil fertility and fertilization

1-1- التطور الفكري في مجال خصوبة التربة والتسميد:

بدأ التطور الفكري والتقدم الملحوظ في مجال خصوبة التربة والتسميد منذ حاول الباحثون كشف علاقة النبات بالتربة من خلال التجربة والملاحظة والاستنتاج، أي منذ سلك الباحثون المنهج العلمي في بحوثهم، والدراسة العلمية المبنية على التجربة والملاحظة والقياس، والاستنتاج كأسلوب للكشف عن الحقائق لم تنشأ في الغرب بل كل الباحثون العرب كانوا يمارسونها في دراساتهم وفي ذلك يقول ابن العوام: (أبو زكريا يحيى بن محمد بن احمد بن العوام الإشبيلي صاحب كتاب الفلاحة): ولم أثبت فيه شيئاً من رأى إلا ما جربته مراراً وصح. ويشير ابن العوام إلى التسميد- وكانت الأسمدة في عصره جميعها من فضلات الحيوان وأطلق عليها زبول جمع كلمة زبل وهو فضلات الطيور والحيوان - فيقول قال قسطوس: إنني جربت في الزبل شيئاً لم تذكره النبط (النبط أو الأنباط وهم أعراب شرق شبه جزيرة سيناء وشمالى الجزيرة العربية وجنوبى الأردن) ولا غيرهم، وذلك أنى أخذت من هذه الزيول المشهورة، وأحرقتها بالنار حتى صارت أرمدة (جمع رماد) واستعملتها، فوجدتها في نهاية الجودة والصحة للشجر والخضر، ويضيف ابن العوام قوله: (يشبه أن يكون رماد الحمامات التي تحرق فيها الزيول بهذه الصفة) ويخصص ابن العوام في كتابه "الفلاحة" باباً خاصاً عن التسميد (فيعرف) الذبول وأنواعها وتحضيرها ومنافعها لكل نوع من أنواع الأرض ولكل نوع من المغروسات والمزروعات.

سادت نظرية الدبال لتفسير خصوبة الأرض منذ العصور القديمة، وفي ذلك يقول أرسطو 350 ق.م: يتغذى النبات من المواد الدبالية (المواد العضوية المتحللة) التي يمتصها من الأرض بواسطة جذوره و بعد أن يموت تتحول الجذور إلى دبال وهكذا. وقد ورث المفكرون والباحثون الغربيون في القرن السادس عشر كثيراً من أفكار الذين سبقوهم في تفسير تغذية النبات، وقد ساد في هذا العصر الرأي القائل بأن النبات يتغذى على الماء والمواد العضوية (الدبال) وأنه يمتص منها الأملاح، وقد اعتنق Francis Bacon من أشهر مفكري ذلك العصر (1561- 1624) هذا الرأي وأعتقد أن الأرض تقي النبات من الحر والبرد الشديد وتساعد على غرس جذوره فيها، وأضاف أن كل نبات يستخلص من الأرض مادة خاصة لغذائه ولذا فزراعة نبات معين مرات متتالية في نفس الأرض يفقرها في هذه المادة. ويمكن أن نوضح الصعوبات التي واجهها العلماء الأوائل من خلال التجربة التي قام بها هلمونت Van Helmont البلجيكي (1577- 1644). حيث قال واصفاً ما حدث معه: أخذت وعاء خزفياً (فخارياً) ووضعت فيه 200 رطلاً من التربة المجففة في فرن ثم بللتها بماء المطر وزرعت فيها عُصنا من شجر الصفصاف يزن 5 باوند.

وبعد خمس سنوات تماماً نمت الشجرة ووصل وزنها إلى 169 باوند و 3 أونصات. مع العلم أن الوعاء لم يثقل أي شيء سوى ماء المطر أو الماء المقطر وذلك لترطيبه وعند الضرورة فقط. في النهاية قمت بوزن التربة بعد تجفيفها ثانية فوجدت أنها نقصت فقط بمقدار 2 أونصة عن الوزن الذي بدأت به. وهكذا فإن (164) رطل من الوزن الزائد للشجرة (الخشب والماء والجذر) كان من الماء فقط. اعتبر Van Helmont نقصان (2) أونصة من وزن التربة يقع ضمن خطأ التجربة وذلك لأن الماء هو الوحيد الذي تمت إضافته، ولأن الهواء المحيط بالنبات ليس له وزن واضح. ويبدو أن ما توصل إليه من أن الوزن الزائد قد جاء من الماء فقط يبدو معقولاً ومنطقياً لأن النظرية السائدة في ذلك الوقت كانت نظرية أرسطو الذي اعتقد أن المادة تتألف من أربعة عناصر هي: التراب والهواء والنار والماء. واتجه Robert Boyle (1627-1668) نفس الاتجاه وأكد نفس الاستنتاج غير أنه قام بتحليل النبات تحليلاً كيميائياً، وأوضح أنه يحتوي أملاحاً وكحولات وزيوتاً وتراباً وأنها جميعاً مستمدة من الماء.

لاحظ J.R. Glauber (1604-1668) أن ملح نترات البوتاسيوم يزيد نمو النبات زيادة كبيرة، واعتقد أن خصوبة التربة وقيمة السماد البلدي ترجع كلية إلى نترات البوتاسيوم، وزاد John Mayer (1643-1668) أن النترات تزيد في فصل الربيع وتقل في فصل الصيف وهو موسم النمو واستنتج من ذلك أن النبات قد امتصها في نموه.

بتقدم علم الكيمياء واكتشاف وظهور مواد وعناصر كيميائية جديدة، أصبح العلماء أكثر اهتماماً بتحديد وتعيين ومعرفة التركيب الكيميائي للنباتات. وفي مطلع القرن التاسع عشر تم التحول عن الرأي القائل أن الماء هو مصدر غذاء النبات، من خلال تجارب Nicholas Theodors de Sausure و Liebig (1803-1873) و J.B.lawes and J.H.Gilbert كما بدأت تتبلور النظرية المعدنية من خلال رفض نظرية الدبال، ولو أنها تعتبر استكمالاً لها، وتتخلص النظرية المعدنية بأن النبات لا يتغذى على الدبال، بل يمتص العناصر المعدنية، وأن هذا العناصر مكونات أساسية لنمو النبات، وهي تختلف في احتياجاتها من العناصر، كما أن هذه العناصر قد تفتقر إليها بعض الترب، وأنه يمكن تعويضها عن طريق التسميد المعدني أو إضافة المواد العضوية.

بالتوازي كانت الدراسات تحاول تفسير ظاهرة التبادل الكاتيوني من خلال تجارب Way في عام 1850 حيث أوضح أن تبادل القواعد في التربة يحدث أساساً في مكونات التربة الدقيقة، وبدأ دور هذه المكونات يتضح في خصوبة التربة، واستخدمت الأشعة السينية في التعرف إلى بناء معادن الطين ثم توالت المعلومات عن أنواعها وبنائها ودورها في التفاعلات الكيميائية التي تحدث بالتربة. كما تطورت الأفكار التي تفسر آلية امتصاص النبات للعناصر الغذائية فقد اقترح Milder, 1851 أن العناصر تنتشر Diffuse خلال أغشية النبات نتيجة لزيادة التركيز في

البيئة الخارجية عنه في داخل النبات، وبين Traube, 1867 أن أغشية النبات تحتوي ثقوباً ذات اتساعات ثابتة تسمح لبعض الجزيئات بالمرور خلالها وأوضح Overton, 1895 أهمية ذوبان الليبيدات Lipid في تحديد سرعة نقل المواد خلال أغشية الخلايا، ورأى أن عملية الاستقلاب Metabolism لا بد أن يكون لها دور في امتصاص الأملاح. وفي سنة 1909 أوضح كل من Ruhian , Meurer أن بعض أنسجة النبات تمتص شقي الملح بدرجة غير متساوية. وبذلت محاولات لتفسير ذلك على أساس نظريات توازن دونان Donnan Equilibrium و الادمصاص Adsorption وتبادل الأيونات Ion Exchange. وفي سنة 1930 نشرت آراء Hoagland في أمريكا و Lundgard في السويد و Steward في انكلترا والتي تفيد بأن امتصاص النبات للعناصر يعتمد الى حد كبير على عمليات الاستقلاب Metabolism و أدى ذلك إلى الاعتقاد بأهمية دور التنفس. وبذلت عدة محاولات لربط النظريات الفيزيائية للانتشار والادمصاص وتبادل الأيونات مع عمليات الاستقلاب.

بعد أن اتضح للباحثين في القرن التاسع عشر أن النبات يمتص العناصر الغذائية في صورة أيونية بسيطة اتجهت الدراسات إلى توضيح أهمية إمداد النبات بأملاح معدنية تحتوي العناصر الغذائية، ففي عام 1840 أرسى Liebig أساس الصناعة الحديثة للأسمدة حيث أكد أن العناصر المعدنية يأخذها النبات من التربة لذلك لابد من تجديد هذه المواد للتربة حفاظاً على خصوبتها. ورغم أن Liebig قد أدرك أهمية وقيمة النتروجين ولكنه اعتقد أن النباتات تستطيع الحصول على النتروجين الخاص بها من الهواء وليس من التربة. كما حلم وطمح إلى إنشاء مصانع للأسمدة الكيميائية لإنتاج المغذيات مثل الفوسفات والكلس والمغنيزيا والبوتاس. وقد أوصى بمعالجة العظام بحمض الكبريت لجعل فوسفات العظام أكثر تماثلاً للنبات. وتتخلص فلسفة Liebig في هذا المجال بما يلي:

تعتبر الزراعة السليمة الأساس الحقيقي لكل مجالات التجارة والصناعة، وهي أساس الاقتصاد والغنى للأمم، ولكن النظام المنطقي والمعقول والصحيح للزراعة لا يمكن أن يقوم بدون تطبيق المبادئ العلمية لأن مثل هذا النظام يجب أن يعتمد على اطلاع ومعرفة دقيقين بوسائل تغذية النبات، هذه المعرفة التي يجب أن نسعى إليها من خلال الكيمياء.

ثم قدم Liebig قانون الحد الأدنى " والذي لا يزال مفهوماً ومقبولاً رغم " نقصه وعجزه في تحديد الدقة الكافية. وينص هذا القانون: على أنه إذا كان هناك نقصاً أو عدم توفر لأحد العناصر المغذية في التربة أو الهواء فإن النمو سوف يكون ضعيفاً حتى ولو كانت العناصر الأخرى متوفرة.

وإذا ما توفر العنصر الناقص وبالنسبة التي يحتاجها النبات فالنمو عندئذٍ سوف يزداد إلى الحد الأعظمي، وبالتالي فإن زيادة نسبة هذا العنصر في التربة عن الحد الذي يحتاجه النبات تكون

غير مجدية، وذلك كون عناصر أخرى هي الآن ضمن الحد الأدنى للتزويد وتصبح هي العامل المحدد.

لقد تم تطوير مفهوم الحد الأدنى بحيث تعتبر العناصر الإضافية أساسية في تغذية النبات وقد امتدت لتشمل عوامل أخرى ضرورية في نمو النبات مثل: الرطوبة، درجة الحرارة، الضوء، مكافحة الآفات، ومكافحة الأعشاب، والصفات والقدرات الوراثية المختلفة للنباتات. وفي الواقع تتوقف التطورات الحديثة في المجال الزراعي على العوامل المحددة المتعاقبة وتصحيحها. ورغم أنه لا يمكن بدقة تحديد النقطة التي يمكن لعنصر أن يصبح عندها عاملاً محددًا في الوقت الذي يأخذ مكانه عنصر آخر، وقد وجدت حالات كثيرة لم يحقق فيها أحد العناصر أية استجابة للمردود بحيث يصبح هذا العنصر هاماً بعد التسميد بكميات كافية من العناصر اللازمة الأخرى وبالتالي يمكن الحصول على محاصيل مثلى وبمردود عالٍ بإضافة مزيج معقد ومركب للمواد المغذية إلى جانب مدخلات أخرى .

وعلى الرغم من أن وصايا Liebig كانت مقبولة بشكل كبير إلا أن هذا لم يمنع من ظهور مدارس أخرى ازدهرت لسنوات عدة.

فعلى سبيل المثال فإن رئيس مكتب الأراضي في الولايات المتحدة الأمريكية قسم الزراعة قد أكد في بداية 1900 أن التربة هي المصدر الدائم الذي لا ينضب، والذي سوف يزود النبات ولأبد بكل العناصر المعدنية المطلوبة وذلك إن تمت إدارتها بشكل مناسب وصحيح. معتقداً أن الحرث الملائم ودورة المحاصيل ومنع التعرية سوف تحل كل مشاكل عدم الخصوبة. وقال أن المؤشرات الجيدة يمكن ملاحظتها من خلال استعمال السماد الناتج من مواد التربة نفسها عن طريق دورة المحاصيل المناسبة والحرث الملائم.

في الواقع إن كل أنواع التربة تحتوي على وفرة من العناصر المعدنية بالمقارنة مع المستلزمات السنوية للمحاصيل ولكن العديد من هذه العناصر المعدنية للتربة غير قابل للتمثل بشكل سريع، فإذا لم يتم إضافة المواد المخصبة (السماد) فإن إنتاج الأرض من المحاصيل الزراعية عاجلاً أم آجلاً سوف يصل إلى الحد الأدنى الذي لا يتناسب مع مردود جهد المزارع أو حتى تلبية حاجات العالم الغذائية.

إن أول سماد فوسفاتي استعمل وبشكل واسع في أوروبا خلال العقد الأول من القرن التاسع عشر كان عبارة عن طحين العظام، وعندما نقصت الكميات الواردة من عظام الحيوانات تم جمع العظام البشرية من ساحات المعارك أو أماكن الدفن. في عام 1830 بدأت معالجة العظام بحمض الكبريت المدد حيث تتحول العظام إلى سائل كثيف لزج، ووزع هذا المنتج في براميل خشبية على المزارع، وأحياناً كانت تضاف أملاح البوتاسيوم أو كبريتات الأمونيوم أو نترات الصوديوم إليه وهكذا تم إنتاج وتقديم أول سماد كيميائي سائل ممزوج. في حوالي عام 1840

وجد بأن معالجة الخامات الفوسفاتية بحمض الكبريت تعطي سماداً فوسفاتياً فعالاً. وسمي هذا السماد بـ سوبر فوسفات. وفي عام 1842 بدأ إنتاج أول سماد سوبر فوسفات تجاري وناجح على يد Lawes في إنكلترا وتبعه آخرون بحيث أنه في عام 1853 كان هناك 14 مصنعاً في إنكلترا وحدها. وذكرت التقارير وجود 80 مصنعاً في إنكلترا عام 1870 وكانت العديد من المصانع المبكرة بدائية، حيث كانت تقوم على مزج الخامات الفوسفاتية بحمض الكبريت في أوعية أو جرار كبيرة وبشكل يدوي باستخدام خلاط خشبي. ولكن في عام 1862 استعمل Lawes خلاطاً مستمراً بطاقة تصل إلى 100 طن باليوم الواحد. وارتفع الإنتاج في بعض المصانع الحديثة إلى ما يزيد عن 100 طن / يوم. ولكن غالباً كانت تفضل الوحدات الإنتاجية الصغيرة والمخصصة لتخدم المناطق المحلية، لأنه يندر أن يتم شحن المنتج الفقير المحتوى إلى مسافات بعيدة.

يتلزم تاريخ إنتاج السماد الفوسفاتي المركز أو سماد السوبر فوسفات الثلاثي مع إنتاج حمض الفوسفور، ففي عام 1870 بدىء بأول إنتاج تجاري في ألمانيا لسماد السوبر فوسفات المركز أو ما يعرف بثلاثي سوبر فوسفات، حيث كان الهدف الانتفاع من صخر الفوسفات ذو النوعية المنخفضة والحاوي على نسبة عالية من الحديد والألمنيوم. وقد تم إنتاج حمض الفوسفور المخفف جداً بمعالجة صخر الفوسفات المطحون بحمض الكبريت بطريقة الاستخلاص ثم الترشيح، ثم رفع تركيز حمض الفوسفور بالتبخير، ثم معالجة صخر فوسفاتي مطحون جديد بحمض الفوسفور المركز هذا. وسرعان ما تأسست وأنشئت مصانع أخرى في كل من أمريكا و أوروبا. ولكن معظمها كان صغيراً ، ومعظم الإنتاج كان يستعمل في عمليات تكرير السكر بدلاً من استعماله كسماد. ولم يصبح ثلاثي سوبر فوسفات مادة سمادية هامة حتى عام 1950 حيث حل محل السوبر فوسفات العادي، لأنه يحتوي على نسبة أعلى من الفوسفور، وكان يتم الإنتاج بأفضل صورته (حالاته) بالقرب من مصادر الفوسفات الخام وضمن وحدات كبيرة، ومنها يتم شحن المنتج إلى مصانع الخلط المحلية أو المزارعين.

وبالرغم من أن فوسفات الأمونيوم قد عرفت منذ زمن بعيد بأنها مخصب فعال، وبأن كميات صغيرة منها قد أنتجت في بلدان متعددة من حين لآخر، ولكنها لم تصبح مخصباً رائجاً ومعروف حتى عام 1960. ويعتبر سماد فوسفات الأمونيوم اليوم هو الشكل والصيغة السائدة لسماد الفوسفات في العالم كله.

أما أسمدة النتروفوسفات فقد بدأت في أوروبا في عام 1930 وتطورت تقنياتها ونمت بعد ذلك بغية تحسين نوعية المنتجات، وازدادت نسبة رواجها في أوروبا كثيراً على هذا الأساس وأنشئت العديد من المصانع في بلدان أخرى، وأكثر هذه المصانع كان بطاقة إنتاجية كبيرة فاقت الـ 1500 طن/يوم. استعمل صخر الفوسفات الخام والمطحون بشكل ناعم جداً كسماد مباشر بدون أية معالجة إلى حد كبير في الولايات المتحدة وروسيا والصين وفي بلدان أخرى. إن

المعلومات الأخيرة تدل وتشير إلى أن قيمة الفوسفات الخام تختلف وتتنوع بشكل كبير باختلاف صفة الصخر الخام والمحصول والتربة التي سوف يستخدم فيها. وهناك دلائل تشير إلى أنها يمكن أن تكون مصدراً نافعاً لتغطية الحاجة من الفوسفور للعديد من المحاصيل النامية في الأراضي الحمضية.

لسنوات عديدة كانت الحاجة لتزويد النبات بالنتروجين تعتبر ذات أهمية ثانوية رغم التعرف وإدراك الدور الأساسي والهام للنتروجين في إنتاج المحاصيل. اعتبرت المصادر الطبيعية للنتروجين والتي تأتي من اتباع نظام دورة المحاصيل الزراعية كافية ومناسبة حيث أنها تقوم بتثبيت النتروجين المنحل بماء المطر. (حوالي 5 كغ لكل هكتار). كما أن بعض المحاصيل البقولية القرنية كالقول والحمص وغيرها تقوم بتثبيت النتروجين الجوي ولذا لا بد من إدخالها في دورة المحاصيل الزراعية، هذه المصادر الطبيعية يتم دعمها بكميات صغيرة من الأسمدة النتروجينية مثل سماد الجوانو Guano ونترات الشيلي والفضلات العضوية.

من المعروف أن الفحم الحجري يحتوي على 1% نتروجين، وحوالي نصف كمية النتروجين هذه تتطلق كمنتج ثانوي على شكل أمونيا من أفران فحم الكوك. وخلال الجزء الأخير من القرن التاسع عشر أصبحت هذه الأمونيا مصدراً هاماً لسماد النتروجين، حيث كان معظمها يحول إلى كبريتات الأمونيوم، أما الجزء الأصغر كان يتم تقديمه على شكل محلول ممدد للأمونيا. إن الزيادة السكانية أعطت الدليل وأوضحت أن حاجات العالم للغذاء يمكن مواجهتها وتلبيتها عن طريق التموين المتزايد للنتروجين المثبت. ولهذا قامت البحوث والاختبارات والتجارب في بلدان عدة على موضوع الاستفادة من تثبيت نيتروجين الهواء.

وعلى هذا الأساس ظهرت ثلاث عمليات ناجحة على مستوى تجاري:

أ- ففي عام 1903 تم إدخال عملية القوس الكهربائي Arc تجارياً في النرويج والتي تعتمد على اتحاد نيتروجين الهواء بأوكسجينه لتشكل أحادي أكسيد النيتروجين NO في درجات حرارة القوس الكهربائي العالية (حوالي 250 م³). وعند تخفيض درجة الحرارة يتفاعل أحادي أكسيد النيتروجين مع زيادة من الأوكسجين لتشكل ثنائي أكسيد النيتروجين NO₂ الذي ينحل بالماء ويوجد زيادة من الهواء لتشكل حمض النتريك HNO₃. وهذا الأخير يحول إلى نترات الكالسيوم وذلك بتفاعله مع الحجر الكلسي.

ب- في نفس الوقت كانت قد اكتملت عملية تحضير سياناميد الكالسيوم Calcium Cyanamid حيث يتم أولاً إنتاج كاربيد الكالسيوم وذلك بتفاعل الكلس مع فحم الكوك في فرن كهربائي ثم تحويل كاربيد الكالسيوم إلى سياناميد الكالسيوم CaCN₂ عن طريق تفاعله مع النتروجين النقي المستخلص من الهواء، وسياناميد الكالسيوم هذا يمكن أن يستعمل مباشرة كسماد مخصب أو أن يحلماً Hydrolyzed لتشكل الأمونيا.

ج- إن عملية تثبيت النتروجين الجوي بطريقة القوس الكهربائي أو بطريقة سياناميد الكالسيوم لا تعتبر اقتصادية إلا إذا كان سعر وكلفة الكهرباء رخيصة جداً. ولذلك حلت طريقة التصنيع المباشر للأمونيا من النتروجين والهيدروجين بدلاً عن الطريقتين السابقتين المكلفتين. ولقد أنجزت هذه الطريقة بنجاح وعلى مستوى تجاري في ألمانيا عام 1913 ثم أنشئت بعد الحرب العالمية الأولى عدة مصانع في ألمانيا وغيرها من البلدان لإنتاج الأمونيا. ومعظم هذه المصانع تعتمد على مزيج النتروجين والهيدروجين الناتج من تفاعل فحم الكوك مع بخار الماء والهواء.

وكانت مصانع الأمونيا الأولى صغيرة ولا تتجاوز الطاقة الإنتاجية في كل منها عن 25-50 طن/ يوم ولذا بقيت تكاليف إنتاج الأمونيا باهظة وغالية الثمن كسماد. كما أن معظم كميات الأمونيا المنتجة كانت تستخدم لإنتاج المتفجرات أو المواد الكيميائية الصناعية، ولذا بقي استعمالها كسماد ضئيلاً.

ولكن التحسينات المتعاقبة في إنتاج الأمونيا قد خفضت الكلفة إلى الحد الذي أصبح فيه استعمالها لصناعة الأسمدة مناسباً واقتصادياً. ومن تلك التحسينات الاستفادة من تحطيم النفط لتوليد الغاز الصناعي (نتروجين- هيدروجين) وما تبع ذلك من زيادة درجة ومعدل وطاقة التشغيل والإنتاج والتي ارتفعت لأكثر من 1500 طن/ يوم في بعض المصانع .

وفي نفس الوقت الذي كانت فيه كبريتات الأمونيوم و نترات الكالسيوم و نترات الصوديوم (20-15 N%) تستعمل كسماد فقد حلت نترات الأمونيوم (34% N) محل كل منها وأصبحت سماداً هاماً منذ عام 1940 وأصبحت المثال الرائد للأسمدة النتروجينية.

إلا أنه وفي عام 1960 أصبح إنتاج اليوريا (46 %N) النموذج الرائد والأفضل وقد نما بشكل سريع. كما أن استعمال الأمونيا في التربة مباشرة (82 % N) إما على شكل محلول مائي قد تطور بسرعة كبيرة في بعض البلدان وربما يصبح هو الرائد الأفضل للأسمدة النتروجينية في المستقبل.

إن المصادر المبكرة للبتواسيوم كانت رماد الأخشاب والنباتات ونفايات الشوندر السكري وملح البارود (نترات البتواسيوم الطبيعية). ثم تم الكشف عن توضعات ملح البوتاس الطبيعية في ألمانيا عام 1860م وسيطرت على السوق العالمية لمدة 75 عام.

وكانت التوضعات الخامية ذات الدرجة المنخفضة وغير المكررة مثل أملاح الدمن - المزابيل Manure (20-25% K₂O) والكاينيت (19% Kainite K₂O) هي المصادر الأولى. ومع تطور طرق التكرير بشكل تدريجي زاد معدل نسبة K₂O في المنتجات التجارية. ويعتبر كلور البتواسيوم اليوم (60-62 % K₂O) هو المنتج الأساسي والرئيسي، كما تعتبر كبريتات البتواسيوم و نترات البتواسيوم هي الأسمدة البتواسية الرئيسية غير الكلورية. ولكن نظراً لغلاء

ثمنها فإنها لا تستعمل إلا للمزروعات والتربة التي لا يناسبها الكلور، لأن كلور البوتاسيوم أرخص ثمناً منها.

ثم اكتشفت رواسب هامة للبوتاسيوم في بلدان أخرى، وبدأ الإنتاج في فرنسا في عام 1910 وفي إسبانيا عام 1925 وفي روسيا عام 1930 وفي الولايات المتحدة عام 1931 وفي كندا 1965. وهناك توضعات كبيرة لم تستغل بعد وتوجد في أماكن أخرى وربما أمكن الانتفاع بها مستقبلاً. يعتبر الجبس Gypsum (كبريتات الكالسيوم) أحد الأسمدة المكتشفة مبكراً والهامة حيث يقدم للنبات الكبريت والكالسيوم. وقد نشأ استعماله وبدأ عندما لاحظ عامل بناء ألماني أن كميات صغيرة من الجبس المنسكبة من عرته ذات العجلة الواحدة قد جعلت العشب على طول طريق العربة يصبح أخضرًا وعضاً. ومن ثم أصبح الجبس في الزراعة معروفاً باسم "جص الأرض" وبعد ذلك استخدم السوبر فوسفات وكبريتات الأمونيوم لتزويد النباتات بكميات كافية ووافية من الكبريت، رغم أن الهدف الأول لهذه المركبات هي تأمين الفوسفور والنتروجين. وبالمثل فإن خبث المعادن ومخلفات الأفران العالية قد استعملت بشكل واسع وكبير في أوروبا بسبب محتواها الفوسفوري إلى جانب الكالسيوم والعناصر المغذية الصغرى Micronutrients بمختلف أنواعها.

في أغلب الدول الصناعية تنطلق ملايين الأطنان من الكبريت الناتج عن احتراق الوقود إلى الهواء الجوي على شكل غاز كبريتي SO_2 ومن ثم تسقط مع المطر مزودة النباتات بما تحتاجه من الكبريت (بغض النظر عما تحدثه من تلف كبير للغابات والمزروعات لكونها ذات تركيز حمضي مرتفع ضار بالنباتات).

وباعتبار أن عملية إزالة غاز الكبريتي SO_2 من غازات الاحتراق في المصانع أصبحت واسعة الانتشار بغية منع تلوث الهواء فإننا قد نحتاج إلى تأمين كمية أكبر من الكبريت في السماد. حيث أنه من المعروف حالياً أن الأراضي في المناطق غير الصناعية أو الأقل صناعية تحتاج إلى كمية من الكبريت للزراعة أكثر في الأراضي المجاورة للمناطق الصناعية.

يستخدم الحجر الكلسي والدولوميت بشكل واسع لتزويد النباتات بالكالسيوم والمغنسيوم عند الحاجة إلى هذين العنصرين. بالإضافة إلى مركبات المغنسيوم الأخرى مثل سيليكات المغنسيوم والبروسيت المكلس Calcined Brucit (MgO) وكبريتات المغنسيوم K_2SO_4 واللانغبينيت، $(2MgSO_4)$ Langbenite.

إن أهمية معظم العناصر التي تحتاجها النباتات بكميات ضئيلة Micronutrients لم يعرف حتى القرن العشرين باستثناء الحديد حيث اكتشف Gtis الفرنسي عام 1844 أن نقص الكلوروفيل لبعض النباتات يمكن أن يعالج برشها بأملاح الحديد.

ورغم أن Liebig لاحظ وجود المنغنيز في رماد النباتات ولكنه قد شك بأنه عنصر مغذٍ للنبات واستمر هذا الاعتقاد حتى عام 1905 عندما اكتشف وعُرف أن المنغنيز عنصر أساسي وضروري لنمو النباتات. ومن ثم تبعه النحاس والبورون في عام 1920 ، والزنك (التوتياء) حوالي 1930 والموليبدينوم 1939 والكلور 1954. وما تزال هناك عناصر أخرى تبدو لأول وهلة ليست هامة وضرورية بشكل كبير ولكنها قد تصبح في بعض الحالات ضرورية لزيادة إنتاج المحاصيل أو تحسين النوعية وكمثال يضرب في هذا المجال هناك السيليكون والصوديوم والكوبالت.

معظم المجرىين الأوائل في مجال الأسمدة المركبة أمثال Liebig و Mutty قد عملوا بخلطات حاوية على مواد مغذية متنوعة وعديدة، إلا أنه لم ينتشر استعمالها على نطاق واسع حيث كان علم صناعة الأسمدة في أوروبا يعتبر أن المهمة الأساسية هي إنتاج الأسمدة المفردة الصرفة، والتي يحتوي السماد منها على عنصر مغذٍ واحد.

وعلى النقيض من ذلك فإن التطورات المبكرة لصناعة الأسمدة في الولايات المتحدة كانت تهتم فقط بالأسمدة المركبة، وكان الاتجاه السائد هو تأمين (80-90%) من الفوسفات والبوتاسيوم ونسب صغيرة من النتروجين في الأسمدة المركبة والتي قد تحتوي أيضاً على العناصر السمادية الثانوية أو الصغرى، أما معظم النتروجين الذي يحتاجه النبات فكان يقدم مباشرة كمادة صرفة (غير مخلوطة). وفي اليابان كما في أوروبا فإن الاتجاه السائد هو زيادة نسب الأسمدة المركبة. إن السبب في زيادة نمو ورواج الأسمدة المركبة إلى أن المزارعين لم يعد لديهم الوقت الكافي أو الرغبة في استعمال الأسمدة المتنوعة المفردة بشكل منفصل وكل على حدة من جهة، كما أنه ليس عندهم الكفاءة والقدرة على معرفة نسبة الخلط والمزج من جهة أخرى.

وأصبحت الصيغ والتشكيلات للأسمدة المركبة المعقدة أكثر توسعاً وتنوعاً. فكل نبات ولكل محصول تركيبة سمادية مركبة خاصة تعطي أعلى مردود وإنتاجية.

إلا أن هذا لم يمنع من أن يستعمل النتروجين منفصلاً (وخاصة أن النبات يحتاجه على مراحل خلال فترة نمو). وذلك للحصول على نتائج أفضل من جهة، وأن كمية النتروجين الموجودة في بعض المواد النتروجينية الصرفة (غير المركبة) كالأمونيا اللامائية هي أرخص من الكمية نفسها فيما لو وجدت في الأسمدة المركبة من جهة ثانية.

في البداية كانت الأسمدة المركبة تحضر وتصنع بالمزج البسيط للمواد ذات المحتوى الفقير بالعناصر المغذية مثل الغوانو Guano والسوبر فوسفات وكبريتات الأمونيوم وكلور البوتاسيوم ومخلفات المواد العضوية المتخمرة، وغالباً يضاف إلى هذا المزيج الحجر الكلسي المطحون كمادة مالئة وليعدل من حموضة السوبر فوسفات.

في عام 1930 أدخلت طريقة معالجة السوبر فوسفات بالأمونيا حيث أن المركب الناتج يزود النبات بالنيتروجين اللازم وبشكل اقتصادي ويحسن الصفات الفيزيائية للسوبر فوسفات. وبإضافة هذا المركب في خلطات السماد المركب يمكن الاستغناء عن إضافة مخلفات المواد العضوية المتخمرة (والتي قد استغني عنها لأسباب عديدة منها: اكتشاف استخدام أهم لها. فعلى سبيل المثال: كسبة بذرة القطن والتي كانت تخمر وتستعمل كسماد نيتروجيني أصبحت الآن أكثر قيمة كعلف للمواشي والحيوانات) كما يمكن الاستغناء أيضاً عن إضافة المواد المائلة للسماد المركب. إن زيادة استعمال المعدات والآلات الزراعية الميكانيكية من قبل المزارعين، دعت إلى استخدام مواد ذات جريان وتدفق سهل وحر، ومن هنا بدأ الاتجاه لإنتاج السماد المحبب وأصبح معروفاً وشائعاً منذ عام 1950 وساعدت الأسمدة المركبة على استبدال السوبر فوسفات العادي بالسوبر فوسفات الثلاثي، واستبدال نترات الصوديوم أو كبريتات الأمونيوم بنترات الأمونيوم أو اليوريا ومؤخراً تم إدخال حمض الفوسفور الحر والأمونيا في تركيبة السماد والحصول على نتائج أفضل.

من المحتمل أن إنسان العصر الحجري الحديث (Neolithic) قد استعمل الأسمدة، ولكن أول سماد انتج بواسطة العمليات الكيميائية كان السوبر فوسفات الاعتيادي (Ordinary superphosphat) في بداية القرن التاسع عشر من معاملة العظام بحامض الكبريتيك. صناعة الأسمدة البوتاسية بدأت في ألمانيا عام 1861، وفي أمريكا الشمالية صناعة الأسمدة البوتاسية بدأت خلال الحرب العالمية الأولى ثم توسعت مع تطور ترسبات نيو مكسيكو في عام 1931 وترسبات مقاطعة ساسكاتشوان في كندا (Saskatchewan) عام 1958. أول سماد نيتروجيني صناعي كان نترات الكالسيوم Calcium nitrate وذلك عام 1903 حيث صنع من حامض النتريك كهربائياً. توفر الأمونيا الصناعية عام 1913 فتح المجال لتصنيع العديد من الأسمدة النيتروجينية الجديدة ولكن الصفات الفيزيائية لها كانت فقيرة. عام 1933 تشكلت شركة TVA لتصنيع الأسمدة في ولاية تينيسي في أمريكا بمسؤولية عالمية لزيادة كفاءة تصنيع الأسمدة حيث أن أكثر من 75% من الأسمدة المصنعة في أمريكا كان من إنتاج شركة TVA. ثم توالى ظهور شركات متعددة ومتخصصة في مجال صناعة الأسمدة المركبة NPK وفق تراكيب ونسب مختلفة. كما تطور مفهوم الزراعة العضوية Organic Agriculture، والتي بنيت على أساسها فكرة أسمدة التصنيع العضوي Compost (تدوير المخلفات العضوية النباتية والحيوانية)، وهنا تجدر الإشارة إلى أهمية الأبحاث الحديثة التي تركز على التخمر السريع لهذا المخلفات كيميائياً وحيوياً، كما حدثت ثورة هائلة في مجال استخدام المستخلصات العضوية وبدأ تشق طريقها في عالم الزراعة حيث تنوعت مصادرها واختلفت تراكيزها وتباينت تراكيبها.

1-2- مفهوم خصوبة التربة Soil fertility concept

الخصوبة مصطلح يشير إلى قدرة التربة على إمداد المحاصيل الزراعية بالعناصر الغذائية الأساسية Essential Nutrients، أي مدى تيسر وجاهزية Availability العناصر الغذائية للنباتات، وتتوقف هذه القدرة على الكمية المتاحة من هذه العناصر في التربة، وهي محكومة أيضاً بالخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة والنشاط البيولوجي فيها. كما يمكن تعريف خصوبة التربة بأنها تعبير عن حالة التربة الغذائية أي مقدار ما تحتويه من عناصر غذائية بصورة ميسرة وكافية ومتوازنة لإنتاج محصول اقتصادي. إن التربة الخصبة ليست بالضرورة أن تكون منتجة ولكن التربة المنتجة لا بد أن تكون خصبة بالضرورة، فقد توجد بعض الترب التي تحتوي على العناصر الغذائية بكميات كافية لاحتياجات النبات إلا أنها تكون تربة غير منتجة مثل التربة المتأثرة بالأملاح والتربة الغدقة سيئة الصرف. وترتبط إمكانية التربة لإنتاج المحاصيل بمفهوم الخصوبة الوراثية للتربة Inherent Fertility والتي تشير إلى قدرة التربة على إمداد النباتات النامية بها خلال موسم النمو باحتياجاتها من العناصر المختلفة في صورة صالحة وكميات متوازنة للحصول على الإنتاجية الاقتصادية، عندما تكون عوامل النمو الأخرى كالضوء والحرارة والخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة وغيرها في حالة ملائمة. ولذلك نقول إن التربة الرملية فقيرة وراثياً في خصوبتها لأنها لا تستطيع إمداد النبات النامي بها بالعناصر الغذائية اللازمة له. لا ترتبط خصوبة التربة فقط بالكاتيونات والأنيونات الضرورية للتغذية والقابلة للامتصاص مباشرة من قبل النبات، وإنما ترتبط أيضاً بخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية (نوع معدن الطين، اتزان العناصر في محلول التربة، قوام وبناء التربة، درجة تفاعل التربة، المادة العضوية، السعة التبادلية الكاتيونية)، وبالنشاط الحيوي فيها، وبالعوامل المناخية المحيطة (حرارة وأمطار)، إضافة إلى عوامل تشكل التربة (عمق ودرجة تطور التربة، طبيعة الصخرة الأم)، أي أن خصوبة التربة تعتبر المحصلة النهائية لتأثير وتداخل هذه العوامل مع بعضها البعض. والجدير بالذكر أن خصوبة التربة قد تكون كامنة لا تظهر إلا عند توفر الشروط المناسبة فمثلاً في المناطق الجافة لا تظهر خصوبة التربة (كامنة) إلا عند توفر المياه اللازمة للري وعندها تنتج محصولاً ذا إنتاجية عالية.

1-3- تدهور خصوبة التربة Deterioration of soil fertility

خصوبة التربة تعتبر صفة مكتسبة يمكن لها أن تتدهور نتيجة للاستثمار الزراعي، ما لم يتم الحفاظ عليها وصيانتها ومتابعتها بشكل دائم من خلال الإضافات المتوازنة للمغذيات مع وجود إدارة جيدة للتربة. كما أن مشاكل خصوبة التربة لا تنتهي بل هي مستمرة مع التحول والتطور التكنولوجي في الزراعة. وخصوبة التربة يمكن أن تتدهور نتيجة لعوامل متعددة لعل أهمها:

- **اتباع نظم التخصيف الزراعي:** لتلبية الاحتياجات المتزايدة من الغذاء، مما أدى إلى استنزاف قدر كبير من العناصر الغذائية الموجودة أصلاً في التربة. وكذلك استثمار التربة الزراعية لفترة زمنية طويلة دون إضافة أسمدة كيميائية أو عضوية، يسبب استنزاف التربة وتدني خصوبتها، وذلك لعدم تعويض العناصر الغذائية التي تزيلها النباتات من التربة، والأثرية الرملية والفقيرة بالعناصر الغذائية التي تغسل بسهولة تحت تأثير الري ومياه الأمطار تفقد خصوبتها بسرعة أكثر من الأثرية الطينية والغنية بالعناصر الغذائية.
- **فقد العناصر الغذائية من التربة:** الفقد عن طريق الغسيل والرشح نتيجة الظروف المناخية (الأمطار الغزيرة) أو الري بالغمر، أو الفقد الذي يحدث بالتطاير Volatilization من التربة إلى الجو، أو الفقد نتيجة امتصاص النبات لهذه العناصر.
- **إدخال المحاصيل الهجينة:** تتميز بأنها ذات قدرة إنتاجية عالية و امتصاص كبير للعناصر الغذائية. وبالتالي عدم اتباع دورة زراعية مناسبة يساعد في تدني خصوبة التربة.
- **طبيعة التربة والغطاء النباتي:** التربة الزراعية (خاصة البور) تكون أكثر حساسية لعمليات الانجراف والتعرية بواسطة الرياح والأمطار مقارنة مع الترب المغطاة بالغابات أو بالمراعي، وهذا يعزى إلى أن الحرثة تؤدي لتفكك التربة وتساعد على تعميمها، وكذلك تسبب سرعة تحول المواد الدبالية والتي ينتج عنها هدم بناء التربة، ما يجعل سطح التربة معرضاً للتعرية والانجراف بواسطة الرياح والأمطار. لقد وجد أن التربة التي تحرث وتزرع تتآكل وتفقد 15 سم، من سمكها خلال خمسين سنة بينما لا تحدث نفس هذه النتيجة إلا بعد 3500 سنة في المراعي.
- **الحرثة العميقة للترب:** تسبب ظهور الآفاق العميقة من التربة غير الخصبة وعديمة النشاط الحيوي والتي تكون صخرية أو ملحية، وكذلك تؤدي إلى طمر الآفاق السطحية الغنية بالمواد الدبالية والنشيطة من الناحية الحيوية، مما يتسبب في تدني في خصوبة التربة. كما أن حرثة ترب المنحدرات باتجاه الميل وحرثة الترب المنتشرة على الشواطئ وخاصة المعرضة للرياح الشديدة يجعلها أكثر حساسية للانجراف بواسطة الأمطار والرياح.
- **استعمال مياه مالحة في الري:** وبصورة خاصة للترب الطينية يسبب هدم بناء التربة وجعلها قليلة النفاذية وعديمة التهوية. من المعلوم أن المياه المالحة الغنية بالكاتيونات وخاصة الصوديوم تحول الطين الموجود في التربة إلى طين صودي غير ثابت يتفكك بسرعة تحت تأثير مياه الأمطار ويتفرق. وكذلك استعمال أسمدة تحتوي على صوديوم لتسميد الترب الطينية والفقيرة بالكالسيوم يؤدي إلى تدهور بناء التربة.
- **الحرائق في الغابات وحرث بقايا النباتات:** كلها تسبب سرعة تحول المواد الدبالية في التربة من جراء ارتفاع درجة حرارة التربة أثناء الاحتراق، وهذا ما يزيد من سرعة تبخر الماء من

التربة ويؤدي إلى إفقار التربة بالمواد الدبالية، ولما كانت هذه المواد تلعب الدور الأساسي في ربط حبيبات التربة مع بعضها البعض وتحسين بناء التربة لذلك فإن هذه الحرائق تؤدي إلى تدني خصوبة التربة، كما أن الحرق يقضي على الكائنات الحية الموجودة في التربة والتي تلعب دوراً في خصوبة التربة. إن طبقة تحت الأشجار تغذي التربة بالعناصر المعدنية والعضوية وتحمي التربة من التبخر الشديد ومن الأمطار الشديدة أي أنها تحفظ الدبال لذلك فإن إزالة تحت الأشجار (طبقة الأوراق الميتة والبقايا النباتية) من سطح التربة تسبب خطراً على خصوبة التربة.

1-4- مفهوم التسميد Fertilization concept:

التسميد Fertilization يقصد به إضافة أشكال مختلفة من الأسمدة المعدنية والعضوية أو مشتقاتها إلى منطقة انتشار الجذور، أو رش محاليل العناصر السماكية منفردة أو ممزوجة على المجموع الخضري أو على التربة بهدف ضمان وفرة العناصر السماكية المفيدة لنمو النباتات وتطورها وإنتاجها. أما الاسمدة Fertilizers فهي مواد طبيعية (عضوية أو غير عضوية) أو مصنعة تضاف إلى التربة أو مباشرة إلى النبات من أجل أن تمد النبات بعنصر واحد أو أكثر من العناصر المغذية الضرورية لنمو النبات. وفلسفة الإضافة تختلف، فالإضافة إما لزيادة خصوبة التربة أو تعويض نقص العناصر المغذية الجاهزة للامتصاص بواسطة جذور النبات أو للمحافظة على المستوى الموجود أصلاً أو لكي يكون هناك توازن جيد بين العناصر الغذائية المختلفة لاسيما الكبرى منها، عملية التسميد بمفهومها الحديث تبنى أساساً على الحقائق العلمية التي توصل إليها العلماء على مر السنين، ومن أهمها أن النبات لا يستطيع أن ينمو أو يستكمل دورة حياته إلا إذا حصل على مجموعة من العناصر الكيميائية أطلق عليها اسم عناصر التغذية الضرورية للنبات. وعندما لا تحتوي التربة على الكمية المناسبة من الصورة الصالحة لتلك العناصر الغذائية فإن من الضروري سد النقص الموجود عن طريق إضافة الأسمدة للتربة. وبناء على ذلك فإن الأسمدة هي الوسيلة التي يستكمل بها النبات ما يفتقده في التربة من هذه العناصر الهامة بالكمية اللازمة له وفي أوقات احتياجه لها، ومع ملاحظة أن استخدام الأسمدة بالطريقة الصحيحة سوف يؤدي إلى زيادة الإنتاجية، وحتى تكون الأسمدة فعالة تماماً فمن الضروري مراعاة العوامل التالية: أن يكون هناك اتزان بين العناصر، وكذلك اختيار السلالات العالية الإنتاج والملائمة للظروف المحلية، وإجراء العمليات الزراعية مثل الري المناسب ومقاومة الأمراض والآفات ووسائل الزراعة الجيدة عموماً. ولكي تحافظ التربة على خصوبتها يجب أن يكون هناك توازن بين ما تفقده من المواد الغذائية سواء أكان ذلك

بواسطة النبات أو بعمليات أخرى كالغسل و الصرف وبين الموجود فيها بالأصل وما يتكون فيها أو يضاف على شكل أسمدة.

1-5- أسباب استخدام الأسمدة في القطاع الزراعي

يرتبط استهلاك الأسمدة بالتقدم العلمي والتكنولوجي، حيث بدأت صناعة الأسمدة الكيميائية في أواخر القرن الماضي، وبدأ المزارعون في استهلاك كميات كبيرة من هذه الأسمدة الكيميائية، وأهم أسباب ذلك هو ملائمة استهلاك الأسمدة للثورة الزراعية الحديثة التي أدت إلى زيادة كبيرة في الإنتاج الزراعي بسبب:

- استنباط أصناف جديدة عالية الإنتاج تستطيع الاستفادة من معدلات التسميد العالية.
 - صناعة مواد كيميائية سيطرت على الأمراض النباتية والآفات والحشائش.
 - دخول المكننة الزراعية التي أضافت طاقة قادرة على إنجاز العمل الزراعي بصورة مركزة وسهلة وبأقل تكلفة في مساحات شاسعة.
 - التفكير في نظم زراعية جديدة تسعى إلى تحقيق الإنتاج الأعظم بأقل تكلفة. هذا، وتشير دراسة لمنظمة الزراعة والأغذية إلى أن حوالي نصف الزيادة في إنتاج المحاصيل ما بين أوائل الستينيات ومنتصف السبعينيات ترجع إلى زيادة استخدام الأسمدة المعدنية. بالإضافة إلى أن استخدام الأسمدة أصبح ضرورة حتمية للأسباب التالية:
 - إن الخصوبة الطبيعية للأرض أصبحت ظاهرة نادرة الحدوث، حيث أن نظام الزراعة الكثيفة المتبع في العالم كله أدى إلى استنزاف الكثير من العناصر الموجودة أصلاً في التربة، كما أن الزيادة المستمرة للسكان في العالم أدت إلى دخول أراض ذات مستوى خصوبة منخفض تحت نظام الزراعة.
 - لا يوجد في الأصل أرض مثالية أو أرض تظل أبداً مثالية بالنسبة لنمو نباتات معينة، فهي نظام ديناميكي متغير يحتاج دائماً إلى تقديرات كيميائية لمعرفة مدى التغير الذي يحدث في مستويات العناصر لإيجاد التوازن المطلوب بينها بما يحقق أفضل نمو للمحصول النامي، حيث أن هناك من العوامل الطبيعية ما يسهم في فقد العناصر من التربة، وهذه تختلف وفقاً للظروف البيئية المحيطة من مناخ وخلافه.
 - العمل دائماً نحو التوصل للمحصول الأعظم بالنسبة لأي محصول لاستغلال عوامل إنتاجه المتداخلة وعلى رأسها إضافة الأسمدة.
- إن الاتجاه الحديث في وضع ضوابط على استهلاك الأسمدة، هو نتيجة الاتجاه إلى زيادة معدلات الأسمدة الكيميائية المستهلكة بصورة كبيرة، بهدف الحصول على المحصول الأعظم فقط، يقابله اتجاه يدعو إلى الوصول إلى أعلى كفاءة من استخدام وحدة السماد المضاف إلى التربة لزيادة المحصول زيادة اقتصادية وذلك في أعقاب أزمة الطاقة العالمية وارتفاع أسعار

الأسمدة المصنعة، إضافة إلى النظرة بعيدة المدى للمحافظة على التوازن البيئي، حيث تظهر أهمية المحافظة على الموارد الطبيعية واستغلالها بطريقة متزنة لا تسمح بالاستنزاف المستمر. ومن هنا برزت فكرة تكامل التسميد العضوي والمعدني، فالتسميد العضوي يضيف إلى الأرض الصفات التالية:

- خواص طبيعية وحيوية مرغوبة، منها مقاومة الجفاف والاحتفاظ بالماء.
- تسهم في منع تكوين قشرة صلبة على سطح الأرض خاصة الجيرية والملحية والقلوية.
- تساعد على تخفيف حدة التعرية Erosion.
- تعمل كمخزن احتياطي Eserve Source لبعض العناصر الغذائية الهامة خاصة بالنسبة لعنصر النتروجين وتعتبر كأسمدة بطيئة التحلل والمفعول Slow Release.
- تيسر دخول بعض العناصر إلى جذور النباتات نتيجة احتوائها لبعض المركبات التي تعمل كمخليات Chelates.

وأهمية التسميد المعدني تعود إلى:

- يضيف للتربة العناصر الأساسية فقط كجرعة مركزة وسريعة تستفيد منها النباتات وقت الإضافة مباشرة.
- إننا يمكن أن نغير في نسب العناصر الأساسية المضافة حيثما وجدنا زيادة الاستفادة الملائمة لنمو النباتات في فتراتنا المختلفة.
- إن نظام التكتيف الزراعي Intensive Farming تتطلب جرعات سريعة من الأسمدة المعدنية لأنها لا تحتاج إلى وقت طويل لكي تقابل احتياجات النباتات المزروعة. ومن هذا يتضح أنه بالنسبة لتغذية النباتات فلا يوجد أي فرق لأن النباتات تحتاج إلى العناصر الأساسية في صورة معدنية تتأين في الماء، فالأسمدة العضوية يجب أن تتحول فيها العناصر الغذائية اللازمة للنبات والموجودة في صورة مركبات عضوية إلى صورة معدنية، وذلك بواسطة الميكروبات الأرضية تحت ظروف ملائمة، ومتى تحولت إلى الصورة المعدنية فلا يفرق النبات بين تلك التي تحولت من مادة عضوية أو تلك الموجودة أصلا في صورة معدنية. إنما يبقى الخلاف في مدى تأثير كل من الأسمدة العضوية والمعدنية في خصائص التربة وقدرتها وسرعتها على إمداد النبات بالعناصر الغذائية الضرورية ومحتواها من هذه العناصر، وتوافر هذه الأسمدة كماً، بالإضافة إلى تأثيرها في نوعية المنتج والتوازن البيئي وصحة الحيوان والإنسان. ومن هنا تبرز الحاجة إلى استخدام نسب مدروسة من الأسمدة للتخفيف من التأثيرات السلبية لها، كذلك البحث عن مصادر طبيعة للتسميد، ولا يجب أن يغيب عن الأذهان أن العلاقة بين التسميد المعدني والعضوي هي علاقة متكاملة.

الفصل الثاني

صور العناصر الغذائية وإتاحتها للنبات

Form of nutrients and their availability to plants

2-1- مقدمة Introduction: التربة Soil جسم طبيعي يتشكل ويتطور فوق سطح اليابسة تحت تأثير مجموعة من العوامل المتداخلة بحسب العالم داكوتشايف (المناخ، التضاريس، الأحياء، الزمن، الإنسان)، وهي وسط فيزيائي كيميائي حيوي معقد و كذلك بيئة لنمو النباتات، وتتألف التربة من ثلاثة أطوار Phases هي الطور الصلب Solid phase والطور السائل Gaseous phase و الطور الغازي Liquid phase، النسب المئوية التقريبية لهذ الأطوار في تربة لومية سلتية في حالة الظروف المثلى لنمو النبات تكون 50% من حجم التربة عبارة عن مواد صلبة (معدنية وعضوية)، أما النسبة المتبقية من حجم التربة 50% فهي عبارة عن فراغات محصورة بين حبيبات الطور الصلب Pore space تكون مشغولة بالماء والهواء، وتشكل المواد المعدنية حوالي 45% من الحجم الكلي للتربة وتعادل 90% من الطور الصلب. بينما تشكل المادة العضوية والذبال حوالي 5% فقط من هذا الحجم. وعند الظروف المثلى للنمو النباتي فإن 50% من الفراغات البينية 25% (من الحجم الكلي) تكون مملوءة بالماء ونصفها الآخر يكون مملوءاً بالهواء. ومن الجدير بالذكر أن هذا التوزع بين الماء والهواء في التربة تحت الظروف الطبيعية يتأثر بالظروف المناخية والري، ونمو النبات وخلافه.

2-2- مصادر العناصر الغذائية في التربة Sources of nutrients in the soil

2-2-1- العناصر الغذائية في الطور الصلب form of nutrients in solid phase

يشكل الطور الصلب بجزئيه المعدني والعضوي Mineral and organic parts المخزن الرئيسي للعناصر المغذية التي يحتاجها النبات، ويبين الجدول (2-1) النسبة المئوية للعناصر في الطور الصلب للتربة، وتجدر الإشارة إلى أن العناصر المختلفة المكونة للطور الصلب لا تتواجد عادةً في صورة منفردة بالتربة، بل تتواجد في صورة مركبات كيميائية بعضها معدني وبعضها الآخر عضوي. ويشغل الجزء المعدني من الطور الصلب 90-97% من الوزن الجاف للتربة، ويقسم الجزء المعدني تبعاً لنشأته إلى معادن أولية Primary Minerals ومعادن ثانوية Secondary Minerals. ويتمثل الجزء العضوي بالمادة العضوية في التربة Soil Organic Matter (SOM) وهي كل ما يصل التربة، أو ينشأ فيها من بقايا ومخلفات عضوية من أصل نباتي حيواني، وذلك بغض النظر عن درجة تحللها. ويتراوح محتوى الطبقة السطحية للتربة المعدنية من المادة العضوية بين 0.5-5% وزناً، وينخفض هذا المحتوى مع العمق. تشق المادة

العضوية من المخلفات النباتية والمفرزات الحيوانية المختلفة، لتعطي بتحللها وتفككها بفعل الأحياء الدقيقة والنشاط الحيوي، عناصر معدنية ذائبة أو غازية (NH_3 , CO_2) من جهة، ويطلق على هذه المرحلة عملية تمعدن المادة العضوية Mineralization ولتعطي من جهة أخرى معقدات دبالية غروية Complexes Humic أو ما يسمى بالمعنى الدقيق الدبال Humus ويطلق على هذه العملية عملية التبدل Humification التي تترافق باصطناع مركبات دبالية جديدة انطلاقاً من مواد أبسط تركيباً ناتجة عن عملية التمعدن. يتكون الدبال من بعض المكونات الذائبة في الماء، والحموض الفولفية والهيومية، والهيومين. وأكثر المركبات الذائبة في الماء شيوعاً في الدبال هي الحموض الكرينيه Crenic acids والحموض العضوية البسيطة وغيرها. وتتميز الحموض الفولفية Fulvic acids بلونها الأصفر البرتقالي، ويكونها ذائبة في الماء والحموض والأسس. كما تتصف بوزنها الجزيئي المرتفع نسبياً، وبغناها بالمجموعات الوظيفية الأوكسيجينية مما يكسبها تفاعلاً حمضياً واضحاً، أما الحموض الهيومية (الدبالية) Humic acids فتتصف بلونها البني الداكن - الأسود ويكونها غير قابلة للذوبان في الماء والحموض لكنها تذوب في الأسس كما تتصف بارتفاع أوزانها الجزيئية، وانخفاض محتواها من المجموعات الوظيفية الأوكسيجينية بالمقارنة مع الحموض الفولفية. ويمثل الهيومين الجزء من الدبال غير القابل للذوبان في الأسس أو الحموض الشائعة، ولا يزال الكثير من الغموض يكتنف ظروف وطريقة نشوء هذا الجزء من الدبال، إضافة إلى تركيبه الكيميائي. لعل أهم ما يميز الدبال امتلاكه للمجموعات الوظيفية الفعّال Functional Groups التي تحدد مقدار فعالية المواد الدبالية في الوسط، وتعطي المواد الفولفية والهيومية التفاعل الحمضي المميز لها، وأهم هذه المجموعات: الكربوكسيل ($-\text{COOH}$)، والهيدروكسيل (OH) بنوعيه الكحولي والفينولي، والكربونيل أو الكيتون ($>\text{C}=\text{O}$) Carbonyl والميتوكسيل ($-\text{Methoxyl}$ OCH).

الجدول (1-2): متوسط النسبة المئوية الوزنية لأكثر العناصر انتشاراً في الطور الصلب للتربة

العنصر	%	العنصر	%	العنصر	%
O	49	Mg	0.6	Ba	0.05
Si	33	Ti	0.46	Sr	0.03
Al	7.13	H	0.5	Zr	0.02
Fe	3.8	N	0.1	F	0.02
Ca	1.37	P	0.08	Cr	0.02
Na	0.63	S	0.08	Cl	0.01
K	1.26	Mn	0.08	V	0.01

المصدر: عودة وشمشم 2011 (خصوبة التربة وتغذية النبات)

2-2-2- العناصر الغذائية في الطور السائل (محلول التربة The Soil Solution)

يقصد بمحلول التربة ماء التربة وما انحل فيه من مواد مختلفة من أصل معدني (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+)، أو حيوي ($H_2PO_4^-$, SO_4^{-2} , NO_3^- , NH_4^+)، أو جوي (CO_2 , NH_3 , O_2) تكون في حالة توازن مع الطور الصلب للتربة. يتصف محلول التربة بكونه غير متجانس، فالجزء المحيط بالحبيبات الناعمة للتربة يكون أكثر تركيزاً من ذلك الجزء الموجود في الفراغات المسامية الكبيرة نسبياً. كما يتباين التركيب الأيوني لهذا المحلول من موقع لآخر في التربة ذاتها بسبب عدم تجانس الجزء المعدني من الطور الصلب للتربة. يخضع محلول التربة لتغيرات دائمة في تركيبه، فهطول الأمطار يخفف من تركيز الأيونات المختلفة فيه، بينما امتصاص النبات للماء وتبخر الماء من التربة يزيد من تركيزها فيه. كما تكون نسب الأيونات الموجودة فيه عرضة للتغير لتعرض بعضها للترسب أو الذوبان دون البعض الآخر. ويمكن القول إن تمديد محلول التربة يترافق مع انخفاض كبير في تركيز أيونات النترات NO_3^- والكلور Cl^- ، بينما يبقى تركيز أيونات الفوسفات ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{-2}) ثابتاً تقريباً لضعف ذوبان المركبات الفوسفاتية. ويكون تركيز كاتيون الكالسيوم في محلول التربة الأعلى عادةً بالمقارنة مع الكاتيونات الأخرى، ويعقبه كاتيون المغنيزيوم، ومن ثم البوتاسيوم أما تركيز كاتيون الصوديوم فيكون منخفضاً عادةً في محلول التربة، لكنه يمكن أن يرتفع كثيراً في المحلول الأرضي للترب المالحة والترب القلوية الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة. وبصورة عامة يكون تركيز محلول التربة من الأيونات في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة أعلى مما هو عليه في ترب المناطق الرطبة وشبه الرطبة. يعتبر محلول التربة أكثر أجزاء مكونات التربة نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية، والذي يمتص منه النبات العناصر الغذائية المختلفة مباشرة، ويحتوي محلول التربة على جميع العناصر الغذائية في صورة ذائبة، ولا تمثل الكمية الذائبة من العنصر إلا كمية بسيطة من الكمية الكلية في النظام الأرضي (الجدول 2-2).

الجدول (2-2): الحدود الدنيا والقصى لتركيز العناصر المغذية الأساسية في محلول التربة

العنصر	الشكل الأيوني	التركيز (ملغ/ل)
N	$\text{NO}_3^- , \text{NH}_4^+$	1700-6
K	K^+	156-3
Ca	Ca^{++}	450-8
Mg	Mg^{++}	204-3
P	$\text{H}_2\text{PO}_4^- , \text{HPO}_4^{-2}$	7-0.03
S	SO_4^{--}	650-118
Fe	$\text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}$	<0.005
Mn	Mn^{++}	10-0.1
Zn	Zn^{++}	<0.005
Cu	Cu^{++}	3-0.03
B	$\text{B(OH)}_4^- , \text{HBO}_3^{--}$	0.5-0.1
Mo	$\text{HMoO}_4^- , \text{MoO}_4^{--}$	0.01-0.001

المصدر: عودة وشمشم 2011 (خصوبة التربة وتغذية النبات)

2-2-3- العناصر الغذائية في هواء التربة (Soil air):

يتزكب هواء التربة من نفس مكونات الهواء الجوي، ويحصر الاختلاف في نسبة غازي ثاني أكسيد الكربون CO_2 والأوكسجين O_2 ، حيث يتميز هواء التربة بارتفاع نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون وانخفاض نسبة غاز الأوكسجين بالمقارنة مع الهواء الجوي. ويعتبر هواء التربة مصدراً هاماً لإمداد النبات باحتياجاته من النتروجين N . وإن كانت معظم النباتات لا تستطيع الاستفادة من هذا النتروجين مباشرة. وتقوم بعض الكائنات الدقيقة ب تثبيت هذا النتروجين وتحوله من الصورة الغازية N_2 إلى صور يمكن للنبات الاستفادة منها.

ويمكن من خلال ما سبق تقسيم صور تواجد العناصر الغذائية في التربة إلى:

- ذائبة في محلول التربة وهي تامة الصلاحية للنبات.
- متبادلة على سطوح الغرويات الأرضية (الطين والمادة العضوية) وهي صالحة للنبات حيث أنها قابلة للانتقال إلى محلول التربة بسرعة نتيجة لتفاعلات التبادل.
- موجودة في صورة معادن ضعيفة الذوبان على صورة غير صالحة لامتصاص النبات ولكن يمكن ان تتحول ببطء إلى صورة صالحة نتيجة لفعل عوامل التجوية.
- موجودة في المادة العضوية على صورة غير ذائبة وغير صالحة للامتصاص ولكن يمكن أن تتحول إلى صورة صالحة بعد تحلل المادة العضوية بفعل الكائنات الحية الدقيقة في التربة.

2-3- صور العناصر الغذائية في التربة:

2-3-1- النتروجين Nitrogen

1. الشكل الغازي **Gaseous Form**: يوجد الآزوت بصورة غاز في هواء التربة وقد يدمص جزء منه على سطوح الغرويات أو يكون ذائباً في محلول التربة. وليس لغاز الآزوت فائدة للنباتات علماً أنه ذو أهمية كبيرة بالنسبة للأحياء الدقيقة التي تثبت الآزوت.
2. الشكل العضوي **Organic Form**: يشكل النتروجين العضوي حوالي 95% من المحتوى الكلي للتربة من هذا العنصر، ويعود مصدره إلى الأسمدة والمخلفات العضوية، ويخزن الآزوت في هذه المواد على صورة بروتينات تحللها الأحياء الدقيقة وتحولها إلى بروتينات بكتيرية و إلى صور معدنية أخرى، وقد يوجد الآزوت بأشكال عضوية أخرى مثل السكريات الأمينية و حموض أمينية مختلفة. كما يمكن أن يتواجد بأشكال عضوية معقدة.
3. الشكل المعدني **Inorganic Form**: يتمثل بأكاسيد الآزوت (النترتريت والنترات) و الأمونيوم، فالأكاسيد توجد بصورة غازية بكميات قليلة جداً أما الصور الأخرى فتوجد بحالة أيونية في التربة وهي الجزء الأهم في تغذية النبات. ويؤلف الشكل المعدني بشكل عام أقل من 5% من الآزوت الكلي في التربة، في حين يشغل الجزء العضوي نحو 95%، ويؤلف حوالي 6% من المادة العضوية الكلية ونحو 2-6% من وزن الحموض الدبالية في التربة.

2-3-2- الفوسفور Phosphorus

1- الفوسفور العضوي Organic Phosphorus

تختلف الترب في محتواها من الفوسفور العضوي تبعاً لعوامل عديدة أهمها: محتوى التربة من المادة العضوية، والمناخ السائد، وطبيعة الاستغلال الزراعي، ويشكل الفوسفور العضوي عادة (20-80%) من المحتوى الكلي للفوسفور في الطبقة السطحية (50% وسطياً). ويتألف من فوسفات الانوسيتول (Inositol) المعروفة باسم حمض الفايثيك Phytic acid ويشكل هذا الحمض في النبات ملحاً مختلطاً مع الكالسيوم والمغنيزيوم يعرف باسم الفايثين Phytin، ومن الدهون الفوسفاتية والأحماض النووية والفوسفات البروتينية وأنواع مختلفة من السكريات الفوسفاتية، كما يتم تصنيف الفوسفور العضوي وفق طرائق الاستخلاص المتعاقبة في الترب الكلسية والحامضية إلى ثلاث مجموعات: Labile (الذائب غير المستقر) يشمل العضوي والمعدني الذائب في محلول التربة وكذلك المدمص على غرويات التربة، و Moderately Labile (متوسط الاستقرار) يشمل مركبات حمض الفولفيك، و Non Labile (المستقرة غير القابلة للذوبان) وهو الجزء المتبقي من الفوسفور العضوي ويعتبر شديد المقاومة للاستخلاص. يعد الفوسفور العضوي غير متاح للنبات، ولكي يصبح قابلاً لإفادة النبات لا بد أن يتحول أولاً

إلى فوسفور معدني عبر عملية المعدنة Mieralization التي تخضع لها المادة العضوية في التربة وتقوم بها الكائنات الحية الدقيقة، حيث يتحول الفوسفور خلال هذه العملية من صورة عضوية إلى أخرى معدنية.

2- الفوسفور المعدني Inorganic Phosphorus:

توجد الفوسفور بصورة معادن أولية وبالأخص الأباتيت في المراحل الأولى لتشكل التربة، ثم خضع الأباتيت إلى عمليات التحلل المائي (Hydrolysis) حتى أصبح الفوسفور المعدني في صورة متاحة. لذا تعد الصخرة الأم والمناخ من العوامل الأساسية التي تحدد معدل التجوية وتؤثر في توازن الفوسفور. ويمكن تقسيم الفوسفات المعدنية في التربة إلى ثلاث مجموعات حسب درجة مشاركتها في التغذية الفوسفورية للنبات، والتي يوجد فيما بينها تبادل مستمر وتوازن ديناميكي وهي الفوسفات ضعيفة الذوبان ضمن المعادن الحاملة للفوسفور والفوسفات المدمصة أو المترسبة والفوسفات الذائبة في محلول التربة. يمكن تقسيم الفوسفات المعدنية في التربة إلى مركبات فوسفات الكالسيوم في الترب الكلسية ومركبات فوسفات الحديد و الألمنيوم في الترب الحامضية.

- **فوسفات الكالسيوم:** يعود الفوسفور المعدني في مصدره الأساسي إلى فلز الأباتيت $[3Ca_3(PO_4)_2CaX_2]$ ، حيث $X = Cl^-, F^-, OH^-, CO_3^{-2}$ وهكذا نجد في التربة مجموعة من فلزات كلور و فلور وهيدروكسي و كربونات الأباتيت وهي جميعها ضعيفة الذوبان، إضافة إلى بعض الفلزات الثانوية مثل فوسفات ثنائية الكالسيوم وفوسفات ثلاثية الكالسيوم في الترب القاعدية الجدول (2-3)، حيث يلاحظ أن نسبة $Ca: PO_4$ تزداد كلما اتجهنا من الأعلى إلى الأسفل ويتبع ذلك قلة ذوبان مركبات الفوسفات وبالتالي يعتبر فوسفات ثنائي الكالسيوم أعلاها في الذوبان بينما تعتبر الأباتيت أكثرها ثباتاً في التربة. يتحرر الفوسفور الفلزي خلال عملية التجوية وتطور التربة على شكل فوسفات أحادية أو ثنائية ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{-2}) ليكون مصيره: الامتصاص من قبل النبات، الارتباط مع المادة العضوية في التربة، إعادة الترسيب على شكل فلزات بطيئة الذوبان مثل فوسفات الكالسيوم وفوسفات الألمنيوم والفوسفور المحتجز Occluded-P في هيدروكسيدات الحديد والألمنيوم.

- **فوسفات الحديد والألمنيوم:** أما في الترب الحامضية فتنتشر بعض الفلزات الثانوية الحاوية على الفوسفور الناتج عن ارتباط الفوسفات بكاتيونات الحديد والألمنيوم مثل فلز السترنجيت $Strengit [FeH_2PO_4(OH)_2]$ والفاريسيت $Variscite [AlH_2PO_4(OH)_2]$.

وتجدر الإشارة إلى أنه بالإمكان استخلاص أشكال الفوسفور في التربة وفق التالي:

- الفوسفور المتاح (فوسفور أولسن) (Olsen-P): الاستخلاص بـ $0.5 M NaHCO_3$ (pH=8.5) والرج لمدة 30 دقيقة (Olsen et al., 1954).

- الفوسفور الكلي (TP): الهضم بالماء الملكي (HNO_3+HClO_4)، حتى تمام الهضم.
- الفوسفور العضوي (OP): بطريقة الحرق وذلك بحساب الزيادة في الفوسفور المستخلص بـ $0.5 M H_2SO_4$ بعد الترميد / 550 م° لمدة 2 ساعة (Kuo, 1996).
- الفوسفور المعدني: تتم دراسة أشكال الفوسفور المعدني باستخدام طرائق الاستخلاص الكيميائي المتعاقب والتي تستند على قدرة جملة من المركبات الكيميائية لاستخلاص أشكال الفوسفور، حيث يمكن لقدرة مركبات ($0.1M NaOH + 1M NaCl$) و ($0.3 M$) (H_2SO_4 , $0.5 M HCl$) و $Na_3C_3H_6O_7$, $1M NaHCO_3$, $1.0g Na_2S_2O_4$) (HF , $30\% H_2O_2$) استخلاص أشكال الفوسفور الفردية التالية: الفوسفور الذائب Soluble والضعيف الارتباط Loosely bound والمرتبطة بالحديد (Fe-P) وبالألومنيوم (Al-P) أو ما يسمى غير المحتجز، والفوسفور المحتجز (O-P) أو ما يسمى المختزل الذواب (Reductant soluble)، والفوسفور المرتبط بالكالسيوم (Ca-P)، والفوسفور المتبقي. ويأخذ الاستخلاص المتعاقب المسار التالي (Methods of Phosphorus Analysis, 2009):

- الاستخلاص الأول NaOH-p: محلول الاستخلاص $0.1 M NaOH + 1 M$ ($NaCl$ الدلالة الفوسفور غير المحتجز Fe-p)
- الاستخلاص الثاني CBD-P: محلول الاستخلاص $0.3M Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O +$ ($1M NaHCO_3 + Na_2S_2O_4$) الدلالة الفوسفور المحتجز O-P
- الاستخلاص الثالث HCl-P: محلول الاستخلاص $0.5M HCl$ الدلالة الفوسفور Ca-P المرتبط بالكالسيوم.
- الفوسفور المتبقي Residual-P: Res-P

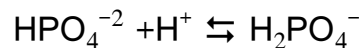
الجدول (2-3): مركبات فوسفات الكالسيوم في التربة

نسبة Ca: PO ₄	الرمز الكيميائي	اسم المركب
1:1	CaHPO ₄ · 2H ₂ O	فوسفات ثنائي الكالسيوم
1.33:1	Ca ₄ H(PO ₄) ₃	أوكتا فوسفات الكالسيوم
1.5:1	Ca ₃ (PO ₄) ₂	فوسفات ثلاثي الكالسيوم
1.66:1	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ F ₂	فلور أباتيت
1.66:1	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	هيدروكسي أباتيت
1.66:1	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ CO ₃	كربونات أباتيت

المصدر: أبوالروس وآخرون، 1990 (خصوبة الأراضي وتغذية النبات)

3- الفوسفور المدمص Adsorbed Phosphorus: تتعرض الفوسفات المتحررة من تجوية الفلزات الأولية والثانوية الحاوية عليها، والفوسفات الناتجة عن معدنة المادة العضوية، كما الفوسفات المضافة للتربة على شكل أسمدة كيميائية، للادمصاص في التربة بأشكال وآليات شتى. حيث يمكن للفوسفات أن تدمص على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم المائية في الترب الحامضية والمتعادلة، كما يمكن للفوسفات أن تدمص أيضاً على سطوح المادة العضوية والدبال وسطوح فلزات الطين بواسطة جسور كاتيونية من الكالسيوم أو الحديد، وبالإضافة إلى ما سبق يمكن أن تدمص الفوسفات مباشرة على سطوح بعض فلزات الطين مثل الكاؤولينيت وذلك في ظروف الترب الحامضية، وعلى سطوح كربونات الكالسيوم في الترب الكلسية. ويكون الفوسفور المدمص في التربة على توازن مع فوسفور محلول التربة، لذلك فإن هذا الجزء من فوسفور التربة يؤدي دوراً مهماً في تغذية النبات، وعادة تكون كمية الفوسفور المدمصة في التربة أكبر بمقدار (100-1000) مرة من كمية الفوسفور الذائب فيها. يعد الفوسفور المدمص القابل للتبادل (Exp) مصدراً هاماً للفوسفور المتاح، وهو جزء من فوسفور التربة القابل للتبادل والادمصاص على سطوح حبيبات التربة، ويمكن أن يتحرر بسهولة إلى محلول التربة، وهذه الاشكال يمكن تقديرها بالراتنجات الايونية، أو عن طريق أغشية التبادل الاينيوني. ويشكل الفوسفور القابل للتبادل (Labile) جزءاً من الفوسفور المدمص على أسطح حبيبات التربة ومكوناتها، ويكون في حالة اتزان مع الفوسفور الذائب، وله أهمية كبيرة في تغذية النبات. ويتم تقدير الفوسفور المتاح في الترب بطرائق عديدة. أهمها طريقة أولسن، حيث يشمل استخلاص أولسن الفوسفور المدمص على غرويات التربة وبعض أشكال فوسفات الكالسيوم، أي يشمل الفوسفور labile متضمناً الفوسفور الذائب. ويشكل الفوسفور المستخلص بطريقة أولسن (Olsen *et al.*, 1954)، تقديراً مقبولاً للفوسفور المتاح للنبات في ترب حوض البحر الأبيض المتوسط.

4- الفوسفور الذائب في محلول التربة Soil Solution Phosphorus: يكون تركيز الفوسفور منخفضاً جداً في محلول التربة، ويعزى ذلك إلى سرعة تثبيت الفوسفور الذائب وتحوله إلى أشكال صعبة الذوبان، ويستخلص عادة بالماء أو بكلوريد الكالسيوم ويتراوح بين (0.3-3 ملغ/ل). ويتحكم في تركيز الفوسفور في محلول التربة عدة عوامل منها تركيز الكالسيوم الذائب والكلس الفعال ونوع وكمية معادن الطين، ويوجد الفوسفور في محلول التربة على شكل فوسفات أحادية $H_2PO_4^-$ وثنائية HPO_4^{2-} وكلا هذين الأيونين متاحان للنبات. وتختلف النسبة بين هذين الأيونين في محلول التربة تبعاً لتفاعل محلول التربة فارتفاع تركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة تزيح التوازن بالاتجاه الذي تتشكل فيه كمية إضافية $H_2PO_4^-$ وفقاً للمعادلة التالية:



لذلك نجد أن أيون $H_2PO_4^-$ يسود في الوسط الحامضي، بينما يسود أيون HPO_4^{2-} في الوسط القلوي، وعند وسط متعادل $pH = 7$ يلاحظ وجود كلا هذين النوعين الأيونيين وينسب متساوية تقريباً.

2-3-3 البوتاسيوم potassium

البوتاسيوم المعدني Mineral-K: يشكل البوتاسيوم الفلزي الجزء الأكبر من محتوى التربة الكلي من هذا العنصر (90-98%) وتتراوح كميته 500-25000 مع/كغ. وتختلف قابلية البوتاسيوم في الفلزات للتححر بعملية التجوية والتحول إلى أشكال قابلة لإفادة النبات، ويمكن وضع الترتيب التالي لهذه الفلزات من حيث قابلية محتواها من البوتاسيوم للتححر بعملية التجوية: ميكروكلين > أورثوكلاز > موسكوفيت > بيوتيت > فلزات ثانوية (ايليت)

Illite , Biotite, Muscovite, Orthoclase, Microcline

1. **البوتاسيوم غير المتبادل (المثبت) K (Fixed) Non Exchangeable:** يشكل البوتاسيوم غير المتبادل (4-10%) من محتوى التربة الكلي من البوتاسيوم. ويتكون هذا الشكل أساساً من البوتاسيوم المدمص على المواقع الداخلية بين الصفائح البلورية لفلزات الطين من نموذج 1:2 كالأيليت والفرميكيوليت والكلوريت، إضافة للبوتاسيوم المدمص على المواقع الجانبية للصفائح البلورية لهذ الفلزات.

2. **البوتاسيوم المتبادل Exchangeable -K:** يدمص كاتيون البوتاسيوم، مثل باقي الكاتيونات القابلة للتبادل، على الشحنات السالبة لسطوح غرويات التربة. وتكون الكاتيونات المدمصة بهذه الطريقة سهلة التبادل مع كاتيونات اخرى، ومن الممكن تقدير كمية البوتاسيوم المتبادل في التربة من خلال استخلاصه بمحلول خلات الأمونيوم $(NH_4CH_3OO, 1N)$. وتقدر كمية البوتاسيوم المتبادل عموماً بأقل من 1% من البوتاسيوم الكلي في التربة ويكون البوتاسيوم المتبادل في التربة في حالة توازن مع البوتاسيوم الذائب في محلول التربة. ويتصف التوازن القائم بين هذين الشكلين للبوتاسيوم بسرعته، فعندما يمتص النبات البوتاسيوم من محلول التربة فإن البوتاسيوم المتبادل يتحرر مباشرةً إلى محلول التربة حتى يعيد التوازن بين هذين الشكلين من جديد. وبالعكس فإن إضافة سماد بوتاسي للتربة تؤدي إلى ادمصاص بعض من بوتاسيوم محلول التربة على سطوح غروياتها متحولاً إلى بوتاسيوم متبادل، ولهذا السبب فإن البوتاسيوم المتبادل يشكل آلية تنظيمية هامة لبوتاسيوم محلول التربة.

3. **بوتاسيوم محلول التربة Soil Solution Potassium:** يشكل البوتاسيوم الذائب (1-2%) من البوتاسيوم المتبادل في التربة يمتص النبات كاتيونات البوتاسيوم من محلول التربة أساساً، ويختلف تركيز البوتاسيوم الذائب المطلوب للنمو النباتي تبعاً لعوامل عديدة أهمها النوع النباتي ومستوى النمو النباتي المراد الحصول عليه. و يعتقد أن التركيز المناسب من البوتاسيوم في

محلول التربة (20-60 PPM) تبعاً لطبيعة المحصول، ونسيج التربة والمستوى العام لخصوبة التربة، إضافة إلى مستوى رطوبتها. وتعد التربة الحاوية على (8 PPM) بوتاسيوم ذائب فقيرة بالبوتاسيوم.

2-3-4- الكالسيوم Calcium

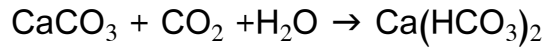
1- الكالسيوم الفلزي Mineral Ca

يدخل الكالسيوم في تركيب العديد من الفلزات الأولية السيليكاتية:

كالفلدسبارات ومنها البلاجيوكلاز (أنورثيت $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ Anorthite) والأمفيبولات ومنها الهورنبلند $\text{Hornblende (Ca)(Mg,Al,Fe)Si}_2\text{O}_6$ والبيروكسينات ومنها الأوجيت $\text{Augite (Ca)(Mg,Al,Fe)Si}_4\text{O}_{11}$.

كما يدخل في تركيب العديد من الفلزات غير السيليكاتية كالأباتيت $\text{Apatite } [3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ والجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Gypsum والكالسيت CaCO_3 Calcite والدولوميت $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ Dolomite ويلاحظ انتشار فلزات البلاجيوكلاز والهورنبلند والأوجيت في التربة غير الكلسية، وانتشار الكالسيت والدولوميت في التربة الكلسية. وتتراكم كربونات الكالسيوم في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة ويمكن نسبتها في التربة إلى أكثر من 70%.

يمكن القول إن المصدر الأساسي للكالسيوم في التربة هو كربونات الكالسيوم، وبخاصة الجزء الناعم منها الذي يماثل في أبعاد حبيباته أبعاد حبيبات الطين (> 0.002 مم)، ويدعى بالكلس الفعال Active lime فصغر أبعاد هذ الحبيبات يجعلها تتمتع بسطح نوعي كبير يكسبها فعالية كيميائية واضحة، حيث تذوب في الماء بوجود غاز CO_2 على النحو التالي:



ويمكن أن تتجه بيكربونات الكالسيوم إلى الترسيب من جديد في الطبقات تحت السطحية على شكل CaCO_3 إذا وقعت التربة تحت مناخ قليل الأمطار نسبياً.

يمكن أن ينتج عن وقوع التربة في منطقة تتصف بهطولات مطرية عالية غسل Leaching للكالسيوم الناتج عن ذوبان الكالسيت، مما قد يؤدي مع مرور الزمن إلى تحول التربة إلى حامضية حتى ولو كانت ناشئة على صخور كلسية، كما يمكن أن يؤدي انخفاض pH التربة وزيادة تركيز شوارد الهيدروجين فيها نتيجة لتحلل المادة العضوية، وإضافة بعض الأسمدة ذات التأثير الحامضي (سلفات الأمونيوم وكلور الأمونيوم) إلى ذوبان كربونات الكالسيوم وإلى إحلال الهيدروجين مكان الكالسيوم على سطون غرويات التربة.

في كافة الأحوال يمكن للكالسيوم المتحرر من الفلزات الحاوية عليه بنتيجة التجوية أن يفقد من التربة مع مياه الصرف أو يمتص من قبل النبات والكائنات الحية، أو يدمص على سطوح غرويات التربة، أو يترسب من جديد على شكل مركبات كلسية أبرزها $CaCO_3$.

2- الكالسيوم المتبادل Exchangeable Ca

يقصد به الكالسيوم المدمص على سطوح غرويات التربة المعدنية منها والعضوية. ويشكل الكالسيوم المتبادل عادة حوالي 80% من سعة التبادل الكاتيوني للتربة، ويمكن أن تصل هذه المساهمة إلى أكثر من 90% في الترب الغنية بالمركبات الكلسية وبلغزات الطين من نموذج 2:1 كالمونتموريونيت في حين يمكن أن تتخفف هذه النسبة إلى أقل من 20% من سعة الكاتيوني للتربة في التربة الغنية ببلغزات الطين من نموذج 1:1 كالكاؤولينيت وفي الترب الحامضية حيث تسيطر أيونات الهيدروجين والألمنيوم على معقد ادمصاص التربة . Soil Adsorption Complex وينخفض محتوى التربة من الكالسيوم المتبادل في الترب القلوية والترب المشتقة من صخر السرينتين أيضاً حيث تسيطر أيونات الصوديوم في النوع الأول والمغنزيوم في النوع الثاني من هذه الترب على الترتيب.

3- الكالسيوم الذائب Soluble Ca

تحتوي معظم الترب المعدنية على تراكيز عالية من الكالسيوم الذائب تؤمن متطلبات المحاصيل النامية فيها. وبشكل عام يتعلق محتوى التربة من الكالسيوم الذائب بعدد من العوامل أهمها تفاعل التربة والظروف المناخية السائدة. حيث يمكن أن يصل تركيز الكالسيوم الذائب في محاليل الترب الكلسية إلى أكثر من 560 ملغ/ل. بينما ينخفض في محاليل الترب الحامضية إلى 136 ملغ/ل. ويمكن القول أن الترب الحامضية تعاني نقصاً في الكالسيوم الذائب نتيجة لإحلال أيونات H^+ مكان أيونات Ca^{+2} على سطوح الغرويات وتعرض أيونات Ca^{+2} للغسيل. كما يمكن أن تعاني الترب العضوية أيضاً من نقصه نتيجة لادمصاص Ca^{+2} على الدبال وتكوين معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة.

2-3-5- المغنزيوم Magnesium

1- المغنزيوم الفلزي Mineral- Mg: يشمل هذا الشكل المغنزيوم الموجود في الفلزات الأولية كالبيوتيت والسرينتين والألنيتين، ومعظم المغنزيوم الموجود في الفلزات الثانوية كالإيليت والفيرميكيوليت والمونتموريونيت. ويكون معدل تحرر المغنزيوم من هذه الفلزات قليلاً بالمقارنة مع احتياج النبات لهذا العنصر، ويزداد معدل التحرر مع زيادة تركيز أيونات الهيدروجين في الترب الحامضية الذي يترافق مع تحطم هذه الفلزات، وعند احتواء التربة على نسبة عالية من الفلزات ذات القابلية للتمدد (كالمونتموريونيت)، الأمر الذي يؤدي إلى تحرر المغنزيوم من السطوح الداخلية للفلز إلى جانب السطوح الخارجية.

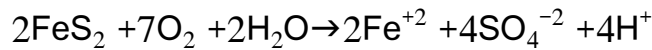
2- **المغنيزيوم المتبادل Exchangeable- Mg**: يقصد به المغنيزيوم المدمص على السطوح الغروية المعدنية منها والعضوية. ويشكل المغنيزيوم المتبادل حوالي 5% من محتوى التربة الكلي من المغنيزيوم تمثل حوالي 4-20% من سعة التبادل الكاتيوني للتربة. وتتراوح كمية المغنيزيوم المتبادل في التربة بين 1-10 % ميلي مكافئ/ 100 غ تربة. تبعاً لنوع مادة الأصل التي نشأت عنها التربة ولمحتوى التربة من فلزات الطين من النوع 1:2 ويزداد محتوى التربة من المغنيزيوم المتبادل في الترب الملحية، والقلوية، والترب الغنية بكاربونات المغنيزيوم. بينما ينخفض في الترب الرملية لانخفاض سعة التبادل الكاتيوني فيها، وفي الترب الحامضية لزيادة معدل ذوبان المركبات الحاوية عليه وفقده من التربة مع مياه الصرف. وتعتبر التربة فقيرة بالمغنيزيوم المتاح إذا انخفض محتواها من المغنيزيوم المتبادل عن 40 ملغ/كغ تربة.

3- **المغنيزيوم الذائب Soluble- Mg**: يقدر محتوى محلول التربة من المغنيزيوم 2-5 ميليمول/ل ويكون هذا المحتوى منخفضاً في الترب الحامضية حوالي 2 ميليمول/ل، ومرتفعاً في الترب الكلسية وحوالي 14 ميليمول/ل. وقد يصل محتوى التربة من المغنيزيوم الذائب في بعض ترب المناطق الجافة الغنية بكبريتات المغنيزيوم إلى أكثر من (200) ميليمول/ل.

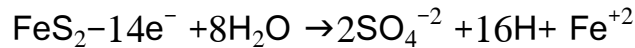
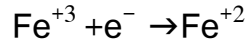
2-3-6- الكبريت Sulfur

1- **الكبريت الفلزي**: يعد البيريت FeS_2 ، والكالوبيريت $CuFeS_2$ ، والسفاليريت ZnS_2 ، من أهم مصادر الكبريت في التربة بشكل عام، وهي مركبات غير ذوابة، ينخفض فيها رقم أكسدة الكبريت، ولا يستفيد منها النبات إلا بعد أكسدتها في التربة إلى كبريتات. وتتم عملية الأكسدة في ظروف هوائية وظروف لاهوائية.

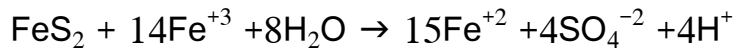
ففي الظروف الهوائية يمكن تمثيل أكسدة البيريت كما يلي:



أما في الظروف اللاهوائية فيمكن لبعض الأحياء الدقيقة اللاهوائية مثل *Thiobacillus ferro oxidant* أن تؤكسد البيريت، ويلزم في هذه الحالة وجود مادة مؤكسدة مستقبلية للالكترونات كشوارد الحديد الثلاثي مثلاً ويمكن تمثيل التفاعل الحاصل كما يلي:



بالجمع:

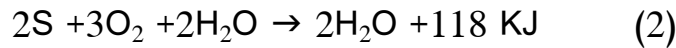
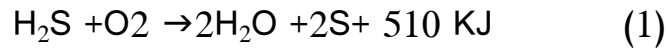


ويمكن أن يرتفع تركيز الكبريتات في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة بسبب احتوائها على مركبات كبريتية يملك فيها الكبريت رقم أكسدة 6^+ كما هو الحال في الترب الغنية بالجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ وكذلك الترب المالحة المحتوية على مركبات متبلورة كالميرايبليت

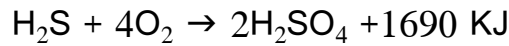
مباشرة بشاردة الكبريتات $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ والأبسوميت $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ وهي تساهم في إمداد محلول التربة والنبات

2- **الكبريت المدمص:** يتم ادمصاص شاردة الكبريتات على معادن الطين وأكاسيد الألمنيوم والحديد، وبشكل عام يزداد تركيز الكبريت المدمص والمتبادل في التربة بانخفاض درجة PH التربة، وزيادة نسبة الطين. وبالرغم من أن الآلية التي تدمص بها الكبريتات على الأكاسيد المائية ومعادن الطين، تتم بآلية مشابهة لادمصاص الفوسفور، إلا أنها أضعف من قوة ادمصاص الفوسفات، ويعد أكسيد الألمنيوم والكادليينيت، من أكثر المعادن ادمصاصاً لشاردة الكبريتات، حيث يحصل هذا الادمصاص بالتبادل لشاردة الكبريتات و مجموعات الهيدروكسيل على السطوح الخارجية. ومن ناحية أخرى يمكن أن يحصل ما يسمى انجذاب كهربائي للشوارد السالبة بما فيها الكبريتات على أسطح تحمل شحنات موجبة.

3- **الكبريت العضوي:** يساهم الكبريت العضوي بنحو 60-90% من الكبريت الكلي في التربة، ويمكن أن يصل التركيز في الترب العضوية إلى أكثر من 90% ويشكل حوالي 0.5% من وزن المادة العضوية في التربة. تتحول المركبات العضوية بفعل ميكروبات التربة إلى الأشكال المعدنية، وتكون مركبات الكبريت المرتبط مع مركبات كربونية ارتباطاً غير مباشراً مثل C-N-S سلفاميت و C-O-S استرات عضوية أسرع تحللاً. إن تمعدن المادة العضوية في التربة يترافق بتشكيل غاز كبريت الهيدروجين، حيث يتأكسد في الترب جيدة التهوية إلى حمض الكبريت، وتتم عملية الأكسدة على مرحلتين، تتم في المرحلة الأولى أكسدة كبريت الهيدروجين إلى الكبريت العنصري بواسطة بعض أجناس البكتريا الكبريتية كيميائية التغذية مثل Thiothrix ثم تقوم بعض أنواع البكتريا التابعة لجنس Thibacilus بإتمام عملية الأكسدة إلى شاردة الكبريتات وذلك حسب التفاعلات التالية:



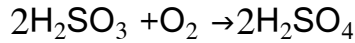
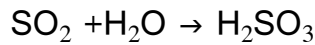
بالجمع تنتج:



وعموماً يوجد كل من الكربون والنيتروجين والكبريت في المادة العضوية في التربة بالنسب التالية على التوالي 1:10:100 وتؤدي زيادة نسبة الكربون إلى الكبريت لأكثر من 1:200 والآزوت إلى الكبريت لنسبة تتعدى 1:200 إلى التثبيت الحيوي بينما يحصل تمعدن للمادة العضوية بانخفاض النسب السابقة يلاحظ التثبيت الحيوي عند إضافة مخلفات عضوية طازجة إلى التربة كبقايا المحاصيل كالقش مثلاً، وخاصة إذا لم يترافق ذلك بإضافة النتروجين المعدني.

4- الكبريت الذواب: يتواجد الكبريت الذواب في محلول التربة على شكل شاردة SO_4^{--} ومن أهم مصادر هذ الشاردة في التربة:

- الأسمدة المضافة: حيث يؤدي استخدام الأسمدة المحتوية على الكبريتات مثل K_2SO_4 و $(NH_4)_2SO_4$ وغيرها إلى ارتفاع تركيز هذ الشاردة.
- مياه الري: إن استخدام مياه ري ذات محتوى مرتفع من شاردة الكبريتات تزيد من تركيز شاردة الكبريتات في التربة، إلا إن استخدام مياه ري ذات pH مرتفعة يؤدي إلى تحول بعض الكبريتات المدمصة إلى كبريتات ذائبة وهذا يجعلها أكثر عرضة للغسيل وبخاصة في التربة خفيفة ومتوسطة القوام.
- تحلل المادة العضوية: حيث يؤدي تحلل المواد العضوية في التربة إلى توفير تركيز مقبول من هذ الشاردة.
- شاردة الكبريتات المدمصة: تشكل شاردة الكبريتات المدمصة في الترب الحامضية مصدراً جيداً لتزويد محلول التربة بهذه الشاردة.
- تحول الأشكال الفلزية: تتحول بعض الأشكال غير الذوابة للكبريت إلى مركبات ذوابة، ويمكن للمركبات الكبريتية ضعيفة الانحلال بالماء كالجبس مثلاً تزويد التربة بشكل مباشر بشاردة الكبريتات عن طريق الانحلال الجزئي له.
- الأمطار الحامضية: تتشكل الأمطار الحامضية في الأماكن الصناعية التي تنفث أكاسيد الآزوت والكبريت إلى التربة، وتتحل هذ الغازات في الماء عند ارتفاع نسبة الرطوبة الجوية وتتساقط على شكل أمطار حامضية على النبات والتربة، ويمكن تمثيل ذلك في حالة أكاسيد الكبريت كما يلي:



2-3-7 الحديد Iron

1- الحديد الفلزي:

- **حديد الفلزات الأولية Primary minerals – Iron** ويشمل الحديد الموجود في تركيب المعادن السليكاتية مثل الألبيفولات كالأوجيت Augite والهورنبلند Hornblende والميكا كالميكابيتيت Biotite – Meca وكذلك في الأوليفينات مثل الأوليفين Olivine وهي فلزات مقاومة للتعرية.
- **حديد الفلزات الثانوية Secondary minerals – Iron**: تنتج عن تعرية مجموعة الفلزات الأولية، مثل الهيماتيت Hematite و الماغميت Maghemit. وكذلك يوجد في

صورة كربونات حديدوز $FeCO_3$ و كربونات الحديدك $Fe_2(CO_3)_3$ ، وسلفيد كما في البيريت FeS_2 .

2- الحديد الذائب: تركيزه منخفض جداً ويشمل بجانب المركبات العضوية، أيون الحديدوز Fe^{+2} ، الحديدك Fe^{+3} وهيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ علماً بأنه في الترب جيدة التهوية قد ينعدم أيون الحديدوز. ينخفض محتوى التربة من الحديد الذائب انخفاضاً كبيراً مقارنةً مع محتواها من الحديد الكلي ويقع تركيز هذا الشكل بين 1-0.001 مغ/كغ تربة، ويعد هذا الشكل العضوي واللاعضوي من الأشكال المتاحة للامتصاص مباشرةً من قبل النبات. إن تركيز الحديد الذائب يتأثر سلباً بـ pH التربة، ويتأثر الشكل الثنائي أو الثلاثي للحديد بجهد الأكسدة والإرجاع للتربة. ويلاحظ انخفاض تركيز هذا الشكل بزيادة تركيز المادة العضوية في التربة، كما ويرتفع تركيزه في ترب المناطق ذات الهطولات المطرية المرتفعة مقارنةً مع ترب المناطق الأقل، ويلاحظ أيضاً ارتفاع تركيزه في الآفاق السطحية مقارنةً مع الآفاق الأكثر عمقاً. وتشير الدراسات إلى أن ظاهرة الشحوب الكلسي التي تظهر في الأراضي الكلسية، مرتبطة إلى حد كبير بانخفاض تركيز هذا الشكل والمترافق مع ارتفاع تركيز كربونات الكالسيوم في التربة.

لا يشكل الحديد المعدني الذواب في التربة إلا نسبة قليلة جداً (0.01-150) ملغ/كغ، ولا يعد وحده مصدراً لتغذية النبات بعنصر الحديد إلا في الأوساط الحامضية الشديدة $pH = 3$ إذ ينخفض تركيز حوالي 100 مرة عند ارتفاع pH التربة بمقدار درجة واحدة (3-4). يوجد الحديد اللاعضوي الذواب في التربة على شكل أيونات ذائبة مثل Fe^{+2} ، Fe^{+3} ، $Fe(OH)^{+2}$ ، $Fe(OH)_2^+$ ، $Fe(OH)_4^-$. وهي في حالة توازن مع ماءات الحديد في التربة والتي بدورها تكون في حالة توازن أيضاً مع الأشكال المختلفة لمركبات الحديد في التربة، والتي تتأثر بمجموعة من العوامل.

3- الحديد المتبادل: ينخفض محتوى التربة كثيراً من الحديد المتبادل بسبب الانخفاض النسبي لهذه الشوارد مع الكاتيونات المتبادلة في التربة (الكالسيوم والمغنزيوم في الترب القاعدية، والألمنيوم والهيدروجين في الترب الحمضية)، إلا أنه يمكن أن يحصل وجود تركيز مرتفع نسبياً من الحديد الثنائي بشكل متبادل عند ارتفاع تركيزه وخاصة في الترب الحامضية الغدقة.

4- الحديد العضوي: يتشكل في التربة معقدات عضوية معدنية مع الحديد (شيلات)، وتنشأ هذ الشيلات بارتباط الحديد بشكل مخلبي مع المكونات العضوية للتربة من مادة عضوية ودبال من جهة، وكذلك ما تنتجه بعض أنواع البكتيريا والفطور وجذور النباتات من جهة أخرى. وتختلف هذ المعقدات العضوية المعدنية اختلافاً كبيراً عن بعضها البعض في قوة

تشبيتها لعنصر الحديد، وكذلك من حيث حركتها وقدرتها على إمداد جذور النباتات بعنصر الحديد. ففي حين نجد أن الحموض الهيومية ذات الأوزان الجزيئية المرتفعة تميل لأن تترسب بفعل تأثير كهليلينات التربة، وتكون أحماض الفولفيل ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة نسبياً مقارنة مع الحموض الهيومية، أكثر ذوباناً في محلول التربة، إلا أن الشكل العضوي للحديد القابل لإفادة النبات مباشرة، يكون مرتبطاً بسلاسل عضوية قصيرة السلسلة كالأوكزالات والسترات والطرطرات وغيرها. إلا أن الأهم من هذه المركبات العضوية قصيرة السلسلة مع الحديد هي مركبات *sederophores* المشتقة من ارتباط الحديد الثلاثي مع حمض الهيدروكساميك ذو الصيغة $R-CO-NH-OH$ وتشكل مركبات *sederophores* معقدات ثابتة مع عنصر الحديد في الأوساط القاعدية، وهي مركبات ذوابة سهلة الحركة وتنتشر مع حركة الماء في التربة ولهذه المركبات القدرة على إذابة الحديد حتى من مركباته اللاعضوية غير الذوابة. ويساهم في تشكيل هذه المركبات بعض مجموعات البكتيريا والفطور في التربة والمفرزات الجذرية للنباتات.

2-3-8- المنغنيز Manganese

1. **منغنيز فلزي:** تعتبر الفلزات الأولية مثل: هورنلند، أوجيت، بيوتيت أهم مصادر المنغنيز في التربة، أما الفلزات الثانوية الأكثر احتواءً على المنغنيز فهي: MnO , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 .
2. **منغنيز متبادل:** وهو المنغنيز المتبادل على أسطح غرويات التربة المعدنية والعضوية.
3. **منغنيز عضوي:** يعد المنغنيز من أقل العناصر الصغرى ارتباطاً بالمادة العضوية لذلك يلاحظ بأن أكثر مركباته العضوية يمكن أن تكون صالحة للامتصاص من قبل النبات عدا المركبات العضوية ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة.
4. **منغنيز ذائب:** ويتواجد على شكل Mn^2 , Mn^3 , Mn^4 وكميته قليلة جداً في التربة وهو في حالة توازن مع بقية الأشكال الأخرى للمنغنيز.

2-3-9- الزنك Zinc

1. **الزنك الداخل في التركيب الكيميائي للمعادن:** تعد المعادن الأولية مثل الأوجيت Augite، والهورنبلند Hornblende والبيوتيت Biotite من أهم المعادن الأولية للزنك في التربة، أما المعادن الثانوية فأهمها كبريتيد الزنك (ZnS)؛ كربونات الزنك ($ZnCO_3$).
2. **الزنك المتبادل (Zn):** وهو المدمص على معقدات التبادل بالتربة.
3. **الزنك الموجود في صورة معقدات عضوية،** ونميز بين الزنك العضوي سهل الامتصاص من قبل النبات والزنك المرتبط، ويشكل الزنك العضوي الذواب في التربة حوالي 50 % من الزنك العضوي الكلي، ويعد الزنك من المركبات الضعيفة الارتباط بشكل قوي بالمادة العضوية.

4. **الزنك الذائب في الماء:** ويشمل أيون الزنك Zn^{+2} , $Zn(OH)^+$, $Zn(Cl)^-$ والموجود مع المادة العضوية في صورة معقدات ذائبة.

معظم الزنك الموجود بالتربة يوجد في تركيب المعادن الأولية. ويرجع انتشار الزنك في كثير من المعادن الأرضية بسبب إحلاله محل أيون المغنيزيوم أو محل أيون الحديدوز، ومع حدوث التجوية لهذه المعادن يحدث تحرر لجزء من كمية هذا العنصر إلى محلول التربة، مما يكون له تأثيره الإيجابي على تغذية النبات بهذا العنصر علماً بأن الكمية الذائبة تكون قليلة جداً (0.002 - 0.2 جزء لكل مليون جزء). أشار (Alloway, 2004) إلى أن الزنك يتواجد في التربة بأشكال مختلفة وهي الذائب في الماء ويمثل الزنك المتواجد في محلول التربة، والمتبادل ويمثل أيونات الزنك المرتبطة بجزيئات التربة بواسطة قوى الجذب الكهربية الساكنة، والعضوي ويمثل أيونات الزنك المدمصة أو المخلبة أو المعقدة مع المادة العضوية، والمتبقي ويمثل أيونات الزنك غير المتبادلة في داخل معادن الطين والأكاسيد غير الذوابة والمعادن الأولية الناتجة عن التجوية.

2-3-10- النحاس Copper

1- النحاس الفلزي:

يعد معدن الكالكوبيريت $Chalcopyrite Cu Fe S_2$ من أهم الفلوات التي تشكل مصدراً أساسياً للنحاس في التربة، بالإضافة إلى بعض الفلزات الأخرى مثل كوبريت $Cuprite Cu_2O$ و كالكوسيت (Calcocite) مالاكيت $CuCO_3Cu(OH)_2$ Malachite

2- **النحاس المتبادل:** يوجد النحاس أيضاً متبادلاً على أسطح الغرويات المعدنية، والصورة الأيونية المتبادلة هي Cu^{++} أو $CuOH^+$ ويعتبر هذا الجزء ميسراً للنبات نسبياً. يتم ادمصاص النحاس في التربة بطريقتين: ادمصاص غير نوعي $Nonspecific Adsorption$ وبطريقة ادمصاص النوعي $specific adsorption$ ويحصل ادمصاص غير النوعي أو ما يسمى بالتبادل الكاتيوني $Cation Exchange$ نتيجة انجذاب شوارد النحاس الثنائي إلى غرويات التربة (معادن الطين المركبات العضوية) ويعد النحاس المدمص بهذه الآلية مصدراً مباشراً لتغذية النبات بعنصر النحاس، لأنه يزود محلول التربة مباشرة بالنحاس. وعموماً ينخفض تركيز الشكل المتبادل في الترب الكلسية والقلوية بسبب ارتفاع تركيزها من الصوديوم (الترب القلوية) والكالسيوم والمغنيزيوم (الترب الكلسية).

• أما النوع الآخر من ادمصاص (الادمصاص النوعي) والذي يسمى بالادمصاص الكيميائي (Chemical adsorption) يتم على أسطح غرويات التربة كمعادن الطين والمركبات العضوية وأكاسيد الحديد والمغنيز والألمنيوم و كربونات الكالسيوم. ويتم هذا ادمصاص من خلال التفاعل مع المجموعات الوظيفية حيث تتشكل روابط مثل: $(Cu-O-Al, Cu-O-$

Fe) وتزداد عملية الادمصاص الكيميائي بارتفاع pH الوسط. وبشكل عام يعد النحاس من

أقوى العناصر الصغرى في قوة ارتباطه مع المكونات المعدنية في التربة.

3- النحاس العضوي: يشكل النحاس العضوي احتياطياً كبيراً لعنصر النحاس في التربة، إذ إنه

يشكل حوالي 20 50 % من النحاس الكلي في التربة. تختلف المركبات العضوية في التربة اختلافاً كبيراً من حيث أوزانها الجزيئية وادمصاصها لعنصر النحاس وقدرتها على إتاحتها للنبات. فالمركبات العضوية البسيطة (ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة) كالأحماض العضوية والأحماض الأمينية والفينولات، تكون بحالة ذائبة، وتساهم بشكل كبير في زيادة تركيز النحاس الذائب في التربة وتشكل مصدراً هاماً لتغذية النبات بعنصر النحاس، وهذا يمكن أن يكون له تأثير مباشر على تغذية النبات بهذا العنصر وخاصة في الحالات التي يرتفع فيها pH التربة.

• ويتم الارتباط للنحاس مع المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية مثل (الوظيفة الكربوكسيلية، الوظيفة الكربونيلية، الوظيفة الفينولية). أما ارتباط النحاس مع المركبات ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة كالأحماض الهيومية والأحماض الفولفية، فيتم من خلال مجموعات الكربوكسيل، ويكون النحاس المرتبط معها غير متاحاً أو أقل إتاحة للامتصاص من قبل النبات. يمكن للمركبات العضوية في التربة أن تشكل مع النحاس ومعادن الطين معقدات عضوية معدنية طينية عندما تنخفض نسبة المادة العضوية في التربة عن 8% ويتعلق ذلك بنوع معدن الطين، ويعد معدن الطين من نوع مونتوريلونيت من أكثر معادن الطين قدرةً على تشكيل هذه المعقدات، بينما يقل تشكلها بوجود الكاولينيت. أما في الترب العضوية التي ترتفع فيها نسبة المادة العضوية عن 8% فإن الشكل السائد لادمصاص للنحاس يتم مع المركبات العضوية. يوجد النحاس في التربة مرتبطاً مع المادة العضوية من خلال المجاميع الكربوكسيلية والفينولية أو الهيدروكسيلية مكوناً معقدات ثابتة Copper- organic matter complexe. وأشارت بعض الأبحاث إلى أن ارتباط النحاس مع حمض الفولفيك يكون مركبات سهلة الذوبان والعكس عند ارتباط هذا العنصر مع حمض الدباليك Humic acid حيث تتكون مركبات غير ذائبة. وعلى ذلك فمن المتوقع بأن النباتات النامية في الأراضي العضوية سوف تعاني من نقص النحاس.

4- النحاس الذائب: يتكون النحاس الذائب في التربة من الأشكال الذائبة للنحاس العضوي

وكذلك من الأشكال المعدنية الذائبة. ويظهر الشكل المعدني للنحاس في الأوساط الحامضية على شكل شاردة نحاس ثنائي Cu^{+2} هي الأكثر سيادة عند pH الأقل من 7، بينما تكون السيادة للصورة $Cu(OH)^+$ في الأوساط المتعادلة و على شكل $Cu(OH)_2$ في محلول التربة عند pH الأكثر من 7. ويبلغ تركيز الشكل الشاردي للنحاس في التربة وسطياً بحدود 0.01

مغ/كغ تربة وتؤثر درجة تفاعل التربة تأثيراً كبيراً في تركيز النحاس الذواب في التربة من خلال تأثيرها على ذوبان بعض المركبات ضعيفة الانحلال المحتوية على النحاس مثل كربونات وكبريتات النحاس. حيث يزداد الشكل الذواب للنحاس حوالي 100 مرة لكل انخفاض درجة واحدة في pH التربة. لا يشكل النحاس القابل للإفادة أكثر من 10 % من التركيز الكلي للنحاس في التربة، وهذا يتعلق بعوامل عديدة.

2-3-11- البورون Boron

1- البورون الفلزي:

تعد المعادن السيليكاتية و السيليكاتية الأومينية (التورمالين، البوراسيت، الهيدروبوراسيت) مصدراً هاماً للبورون في التربة. ولعل التورمالين (M₂OB₂ flourin borosilicate – tourmaline) حيث M : ذرة Al, Mn, Ca, Fe, Mg, Na, Fe. من أهم الفلزات شهرةً، ويحتوي التورمالين على البورون B بتركيز 3-4%.

2- البورون المدمص:

يُدمص البورون على أسطح الغرويات الأرضية التي تحمل شحنة موجبة سواء كان على صورة أيون بورات B(OH)⁻⁴ أو على هيئة حمض البوريك H₃BO₃ ويحدث الامصاص على الحواف المكسورة لمعادن سيليكات الألمنيوم أو على الأكاسيد السداسية الحرة مثل هيدروكسيدات الألمنيوم والحديد. وكربونات الكالسيوم والمادة العضوية. يحصل امتصاص البورون بآلية الانجذاب على أسطح غرويات التربة التي تنشأ عليها شحنة موجبة، ويمكن أيضاً أن يتم الامصاص بآلية التبادل مع المجموعات الفعالة وخاصة جذور الهيدروكسيل لمكونات التربة المعدنية والعضوية. يتعلق امتصاص البورون بعوامل عديدة لعل من أهمها: نوع معدن الطين، وجود الحديد الألمنيوم، pH التربة، المادة العضوية. ويعد معدن الايليت من أكثر معادن الطين التي تدمص عنصر البورون، يليه معدن الفيرميكوليت، بينما يكون معدن المونتموريللونيت أقلها قدرة على امتصاص البورون. أما أكاسيد الحديد والألمنيوم، فيعود إليها الدور الأهم في عملية الامصاص مقارنة مع معادن الطين، حيث تفوق قدرتها على امتصاص البورون عدة أضعاف مقدرة معادن الطين. ويحصل الامصاص الأعظمي للبورون على الأكاسيد المعدنية للألمنيوم عند pH = 5.7. بينما يلاحظ أن الامصاص لأعظمي للبورون، بواسطة الأكاسيد المائية للحديد يتم عند pH = 8-8.5. تؤثر درجة تفاعل التربة تأثيراً واضحاً في عمليات الامصاص، ويلاحظ زيادة الامصاص لعنصر البورون مع ارتفاع pH التربة من 5 إلى 9، ثم يبدأ بالتناقص في الأوساط القلوية الشديدة pH > 9.

ينظر إلى كمية البورون المدمصة في التربة على أنها الاحتياطي الذي يزود محلول التربة بالبورون حيث يتوازن الشكل المدمص مع الأشكال الذائبة ويحد من انغسالها من التربة وخاصة في الترب المعرضة للغسيل.

3- **البورون العضوي:** يوجد البورون بكميات محسوسة مرتبطاً مع المادة العضوية. وقد يرتبط البورون مع المجاميع الفعالة للمواد الدبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكوناً معقدات مختلفة في درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

4- **البورون الذائب:** يوجد البورون الذواب في التربة بشكلين هما حمض البوريك H_3BO_3 أو $B(OH)_4^-$ ، ويشكل عام يسود الشكل H_3BO_3 في الأوساط الحامضية للتربة، وبارتفاع pH التربة يسود $B(OH)_4^-$. يشكل البورون الذواب الجزء المتاح مباشرة للنبات، ويلاحظ ارتفاع تركيز هذا الشكل في أوساط التربة الحامضية، وقد يغسل إلى الآفاق تحت السطحية. وفي الأوساط القلوية $pH = 7.8 - 8.5$ يتم تثبيته بأشكال غير متاحة للامتصاص من قبل النبات إلا أن الشكل الذواب للبورون يرتفع بعد ذلك بارتفاع pH التربة 8.5-9.

2-3-12- الموليبدينوم Molybdenum

1- **الموليبدينوم الفلزي:** يعد الموليبدينايت (MoS_2) Molybdenite، و البوفيليت Powellite ($CaMoO_4$)، و الفولفينيت Wulfenit $PbMoO_4$. من أكثر الفلزات المحتوية على الموليبدينوم.

2- **الموليبدينوم الذواب:** يتواجد الموليبدينوم الذواب في محلول التربة على شكل MoO_4^{2-} و $HMoO_4^-$ وينخفض تركيز كثيراً في الترب مقارنة مع الأشكال الأخرى، إذ لا يتعدى تركيز الموليبدينوم الذواب عدة أجزاء بالبلليون 2-10 Ppt. ويتأثر هذا الشكل من الموليبدينوم بشكل واضح في درجة حموضة التربة حيث ينخفض تركيز بما يعادل 10 أضعاف عند انخفاض درجة pH واحدة. ويعد هذا الشكل من الأشكال المتاحة للامتصاص المباشر من قبل النبات.

3- **الموليبدينوم المدمص:** يحصل ادمصاص الموليبدينوم في التربة على مكونات التربة المعدنية والعضوية، حيث يدمص على الأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم ومعادن الطين وكذلك على المركبات الدبالية، ويحصل ذلك عن طريق التبادل بين المجموعات الوظيفية على مكونات التربة. إن شدة الادمصاص بين الموليبدينوم والأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم تزداد بانخفاض pH التربة.

2-4- العوامل المؤثرة على تركيز العناصر في محلول التربة

Factors affecting on concentration of elements in soil solution

إن التوازن بين محلول التربة وكل مكون من مكوناتها هو توازن عكوس، كما أن التغيير في التوازن بين محلول التربة وأحد مكونات الطور الصلب يحدث تغييراً في التوازن القائم بين محلول التربة والمكونات الأخرى للتربة. فإذا انخفض تركيز محلول التربة نتيجة الامتصاص النباتي مثلاً أو الغسل من التربة، فإن ذلك يعقبه خروج بعض الأيونات من الطور الصلب إلى محلول التربة لتعويض النقص الحاصل، ويحصل ذلك إما من خلال تحرر بعض الأيونات المدمصة على سطوح غرويات التربة Soil colloids، أو ازدياد معدل ذوبان بعض الأملاح والأكاسيد، أو من خلال ارتفاع معدل معدنة Mineralization المادة العضوية في التربة. وبالعكس فإن زيادة تركيز محلول التربة نتيجة إضافة الأسمدة مثلاً يؤدي إلى عكس التفاعلات السابقة مما يؤدي إلى خفض تركيز المحلول من خلال حصول ادمصاص لبعض الأيونات من المحلول على سطوح الغرويات، أو ترسيب لبعضها الآخر على صوة مركبات ضعيفة الذوبان. أو تمثيل حيوي Immobilization لأيونات بعض العناصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في التربة. يتضح مما سبق أن التفاعل المستمر بين محلول التربة ومكوناتها المختلفة يتأثر بالعديد من العمليات الكيميائية، والتي يعد التبادل الأيوني من أهمها على الإطلاق.

يتأثر تركيز العناصر في المحلول الأرضي ببعض العمليات الكيميائية وأهمها:

أ- تبادل وادمصاص الأيونات.

ب- عمليات ذوبان وترسيب يتحكم فيها الرقم الهيدروجيني pH.

ت- عمليات أكسدة واختزال يتحكم فيها جهد الأكسدة والاختزال في التربة.

4-2-1- تبادل وادمصاص الأيونات (التبادل الأيوني The Ion Exchange):

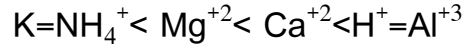
يمثل التبادل الأيوني أحد أهم الظواهر المميزة للكثير من التفاعلات العكوسة التي تحصل في التربة، ويتم خلاله تبادل الأيونات بين الطور الصلب والطور السائل للتربة. فإذا تم التبادل بين الأيونات موجبة الشحنة سمي بالتبادل الكاتيوني، وإذا حدث بين الأيونات سالبة الشحنة سمي بالتبادل الانينيوني.

أ- التبادل الكاتيوني Cation Exchange

تجذب الشحنات السالبة لغرويات التربة إليها الكاتيونات المختلفة الموجودة في محلول التربة مثل Ca^{+2} , H^+ , K^+ , Al^{+3} , Mg^{+2} ، بقوى جذب إلكتروستاتيكية، لتصبح هذ الكاتيونات في تماس مباشر مع سطح الغروي وملازمة له وهذا ما يعرف بالادمصاص Adsorption إلا أنه يمكن استبدال هذ الكاتيونات وإحلال كاتيونات أخرى مكانها، مع المحافظة على تعادل السطوح

كهربائياً، وهذا ما يعرف بالتبادل الكاتيوني Cation Exchange ويطلق على العملية المرافقة لعملية الادمصاص والمعاكسة لها والتي تقود إلى تحرر الكاتيونات المدمصة إلى الطور السائل للتربة بالإزاحة Desorption.

ويمكن تصنيف الكاتيونات حسب مقدرتها النسبية على التبادل، والاحتفاظ بمواقعها على سطوح غرويات التربة في سلاسل إزاحة Lyotropic series على النحو التالي:



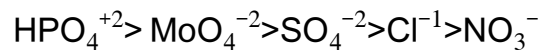
ويتأثر هذا الترتيب بكل من طبيعة الغرويات السائدة، وسعتها التبادلية، بالإضافة إلى طبيعة الأيونات الموجودة في ساحة التبادل الأيون.

وتجدر الإشارة إلى أن المقدرة على الاحتفاظ بالكاتيونات بحالة مدمصة تختلف من تربة إلى أخرى تبعاً لعوامل عديدة أهمها كمية الغرويات المعدنية والعضوية، وأنواع فلزات الطين السائدة، ودرجة تدبّل المادة العضوية في التربة.

ويطلق على المجموع الكلي للكاتيونات المدمصة (المتبادلة) مقدرة بالميلي مكافئ في 100 غرام تربة جافة تعبير سعة التبادل الكاتيوني Cation Exchange Capacity ويرمز لها اختصاراً بـ CEC. أما نسبة التشبع بالقواعد Percent Base Saturation فتعبر عن النسبة المئوية التي تشكلها القواعد (K^+ , Na^+) والقواعد الأرضية Ca^{+2} , Mg^{+2} من سعة التبادل الكاتيوني، ويرمز لها عادة (V).

ب- التبادل الأنيوني Anion Exchange

من المعروف أن الشحنة السائدة لغرويات التربة هي الشحنة السالبة (في الظروف الطبيعية)، ولكن هذا لا ينفي أبداً امتلاك التربة لشحنات موجبة تنشأ أساساً نتيجة للطبيعة المزدوجة Amphoteric nature لبعض غرويات التربة العضوية منها والمعدنية كازدواجية أكاسيد الحديد والألمنيوم وازدواجية بعض فلزات الطين كالكأولينيت، كذلك ازدواجية بعض مكونات المواد الدبالية. فأكاسيد الحديد المائية مثلاً تكتسب شحنات موجبة في الوسط الحامضي، وشحنات سالبة في الوسط القلوي. و يعتقد أن الفوسفات من أكثر الأنيونات ميلاً للادمصاص على السطوح الغروية موجبة الشحنة في التربة، وأن النترات والكلور من أضعفها ادمصاصاً على هذه السطوح. ويمكن وضع الأنيونات السائدة في التربة من حيث شدة ادمصاصها على سطوح الغرويات موجبة الشحنة في التربة وفق الترتيب التالي:



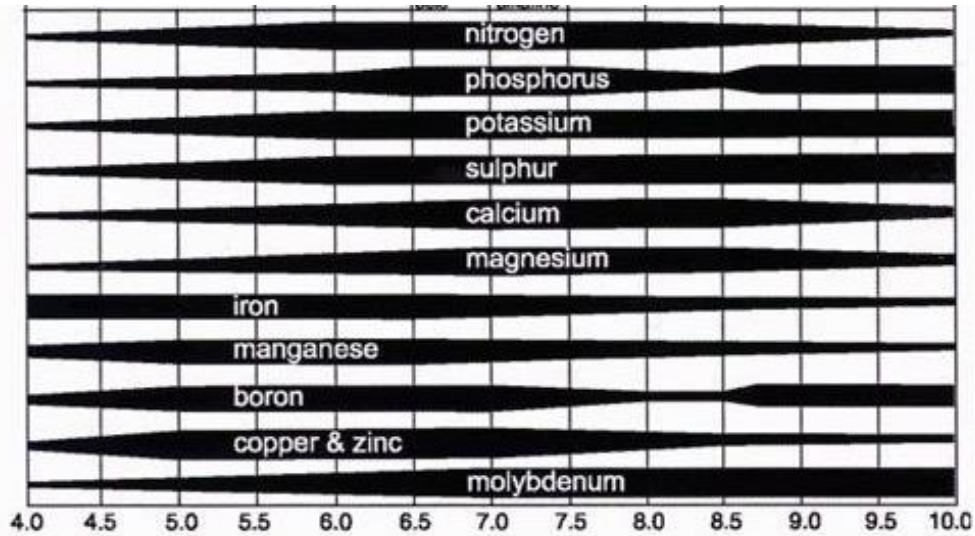
ويطلق على كمية الأنيونات المدمصة (المتبادلة) مقدرة بالميلي مكافئ في 100 غرام تربة جافة سعة التبادل الأنيوني Anion Exchange Capacity ويرمز لها اختصاراً (AEC).

2-4-2-2- تفاعل التربة (pH) Soil Reaction :

2-4-2-1- مفهوم الرقم الهيدروجيني: يعبر رقم (pH) عن اللوغاريتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين في المحلول، أو عن لوغاريتم مقلوب تركيز هذه الأيونات. وبزيادة تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول تنخفض قيمة الـ pH عن 7 وتزداد حموضة المحلول، أما ارتفاع تركيز أيونات الهيدروكسيل يرافقه ارتفاع في قيمة الـ pH إلى أعلى من 7 وازدياد في قلوية المحلول.

ويعبر pH التربة عن حموضة التربة أو قلويتها ويعطي فكرة واضحة عن خصائص التربة وتركيبها ومدى جاهزية العناصر المغذية فيها للنبات، كما يساعد في التنبؤ عن معدل معدنة المادة العضوية وإمكانية نجاح زراعة محصول ما في التربة. وتتراوح قيمة pH الترب الزراعية عموماً ما بين 3-10 ويتأثر pH التربة بعوامل عديدة مثل نوع فلزات الطين السائدة وكميتها، ومحتوى التربة من المادة العضوية والذبال، والنسبة المئوية للتشبع والتسميد المعدني.

2-4-2-2- صلاحية العناصر الغذائية للنبات: يؤثر رقم pH التربة على نمو النبات عن طريق تأثيره على ذوبان وصلاحية العناصر المغذية للنبات. ويؤدي ارتفاع pH التربة الى قلة ذوبان بعض المغذيات التي يحتاجها النبات بكمية صغيرة مثل الحديد والمنغنيز والزنك والنحاس نتيجة لترسيبها على صورة هيدروكسيدات فتعاني النباتات التي تنمو في الترب القاعدية من نقص هذه العناصر، والعكس في الترب الحامضية. ومن ناحية أخرى يتأثر عنصر المولبدنيوم (وهو من المغذيات الصغرى أيضاً) برقم pH التربة بطريقة مخالفة، حيث يقل ذوبانه في الترب الحامضية نتيجة لتكوين مركبات غير ذائبة مع الحديد بينما يزداد ذوبانه كلما ارتفع رقم pH التربة. أما بالنسبة للمغذيات الكبرى مثل الفوسفور فإن ذوبانه يقل في الترب القاعدية نتيجة التفاعل مع الكالسيوم. وفي الترب الحامضية نتيجة لتفاعله مع الحديد والألومنيوم (الشكل 1-2) وبصفة عامة تصل صلاحية العناصر الغذائية أقصاها عند حوالي 6.5 رقم pH.



شكل (1-2): تأثير pH التربة في إتاحة العناصر الغذائية للنبات

2-4-2-3-أثر pH التربة على نمو الكائنات الدقيقة: يؤثر pH التربة على وجود ونشاط بعض الكائنات الدقيقة في التربة، وبصفة عامة تزداد كميات الطحالب في وسط نمو الجذور عند pH التربة 5.5، بينما تكون السيادة للبكتريا عند رقم أعلى من ذلك. وتتأثر عملية التآزت (أكسدة الأمونيوم والنيتريت الى نترات) والتي تقوم بها بكتريا النيتروزوموناس والنيتروباكتر برقم pH التربة حيث يزداد نشاط هذه البكتريا في الوسط المتعادل ويقل كلما ازدادت حموضة التربة. بالإضافة إلى ما سبق فإن عملية تثبيت النيتروجين الهوائي سواء بواسطة البكتريا الحرة التي تعيش في التربة (مثل الأزوتوباكتر) أو البكتريا التكافلية التي تعيش في جذور النباتات البقولية (الريزوبيوم) تنشط أكثر في ظروف الترب القريبة من التعادل. وتقل الحموضة في التربة من نشاط البكتريا التي تقوم بتحليل المواد العضوية والتي يؤدي تحللها إلى انطلاق النترجين وبعض العناصر الأخرى التي يستخدمها النبات.

2-4-2-4-أثر رقم pH التربة على جذور النباتات: ينخفض نمو النباتات في الترب شديدة الحموضة نتيجة لزيادة ذوبان الألومنيوم مما يؤدي إلى سمية الجذور. وتختلف النباتات في مدى تحملها لدرجات متفاوتة من الـ pH في الترب. ويختلف رقم pH التربة الأمثل لنمو النبات من نبات إلى آخر وتحمل بعض النباتات مثل الشاي والصنوبريات والأناناس درجات شديدة من الحموضة وتنمو بطريقة جيدة، بعكس نباتات أخرى مثل البرسيم والفاول والشعير وشوندر السكر والتي تنمو بطريقة جيدة في الترب القاعدية الخفيفة فقط نتيجة لاحتياجاتها العالية من الكالسيوم أو لعدم تحملها تركيزات مرتفعة من الألومنيوم.

2-4-2-3- جهد الأكسدة والاختزال (Eh): يؤدي غمر التربة بالماء إلى سيادة الظروف اللاهوائية نتيجة لاستهلاك الكائنات الحية الدقيقة للأوكسجين الذائب في ماء التربة. وذلك بمعدل أسرع من انتشار أوكسجين الهواء الجوي إلى داخل التربة المغمورة، ويؤدي هذا النقص في الأوكسجين إلى سيادة بعض انواع البكتريا التي تسبب اختزال بعض المركبات الكيميائية في التربة، مما يؤثر على صلاحية العناصر الغذائية للنبات. فمثلاً يؤدي سوء التهوية في التربة إلى اختزال النترات بعملية عكس التآزت حيث تتحول إلى أكاسيد وغاز نترجين ينطلق من التربة إلى الجو مما يعني فقد جزء كبير من النترجين بالتربة، ولذلك ينصح باستعمال الأسمدة النترائية في الترب المغمورة مثل ترب زراعة الأرز حتى لا يتعرض النترجين للفقء. كما يؤدي انخفاض Eh في الترب المغمورة إلى زيادة صلاحية الفوسفات للنبات لحدوث اختزال فوسفات الحديد إلى فوسفات حديدوز أو ذوبان فوسفات الكالسيوم نتيجة لفعل الأحماض العضوية وزيادة الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الكربون في محلول التربة. كما تؤدي عملية غمر التربة بالماء إلى زيادة ذوبان المنغنيز والحديد، حيث تتحول أيونات المنغنيز ثلاثية ورباعية التكافؤ وكذلك أيونات الحديد ثلاثية التكافؤ، ونتيجة لاختزالها إلى مركبات المنغنيز والحديدوز الأكثر ذوباناً

(Fe^{+2}, Mn^{+2}) وبالتالي يساهم الاختزال في إمداد النبات بحاجته من هذين العنصرين. بينما تقل صلاحية الزنك في الترب المغمورة، وقد يعزى ذلك إلى ترسب الزنك في صورة مركبات قليلة الذوبان، أما الكبريت فيؤدي الانخفاض الشديد في قيمة Eh التربة إلى تقليل صلاحية الكبريت وذلك نتيجة لاختزال الكبريتات وهي الصورة الصالحة إلى كبريتور H_2S والذي يتفاعل مع أيونات $Zn^{+2}, Cu^{+2}, Mn^{+2}, Fe^{+2}$ مكوناً كبريتورات هذه العناصر وهي مركبات غير ذائبة. وبشكل عام ظروف الاختزال تؤدي إلى زيادة إتاحة الفوسفور والبوتاسيوم والمنغنيز والحديد والألمنيوم من جهة، وإلى فقد النتروجين ونقص صلاحية الكبريت والنحاس والزنك من جهة ثانية.

2-5-العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات

Essential Nutrient Elements

يبين تحليل النباتات الخضراء أنها تحتوي على حوالي 70-90% من وزنها ماء وحوالي 10-30% من وزنها مادة جافة، وتتكون الجافة من مواد عضوية (حوالي 90% منها) ومن مواد غير عضوية (10% تقريباً من وزن المادة الجافة). وكذلك يبين التحليل الكيميائي لمادة النبات الجافة احتوائها على العديد من العناصر المختلفة، والتي ليست كلها ضرورية (ليست كلها مغذيات). يعنى هذا أن النبات يمتص العناصر الموجودة في وسط نموه سواء كانت ضرورية له أم لا. وقد تم الاتفاق على وضع شروط دقيقة تحدد كون العنصر المتواجد داخل النباتات ضرورياً (عنصر غذائي) أو غير ضروري. وتتنطبق هذه الشروط. في الوقت الحالي، على ستة عشر (16) عنصراً فقط من هذا الكم من العناصر المتواجدة داخل النبات، و لكي يعتبر عنصر كيميائي ما من العناصر الغذائية الأساسية، يجب أن تتحقق فيه عدة معايير:

- لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته من دونه، وفي أحسن الأحوال يتوقف نمو النبات عند المرحلة الخضرية أو الثمرية دون الوصول إلى النضج.
- تظهر أعراض نقصه عند انخفاض كميته في الوسط المغذي عن التركيز المطلوب للنبات ويمكن أن تزول هذه الأعراض بإضافة العنصر أو أحد أملاحه إلى الوسط المغذي أو إلى النبات مباشرة.
- غير قابل للاستبدال أو الاستعاضة بأي عنصر آخر إذ يبقى النمو النباتي متأثراً ما لم يضاف العنصر نفسه.
- يدخل مباشرة في التركيب الكيميائي لأحد مكونات الخلية النباتية أو ضروري من أجل النشاط الأنزيمي.
- هام لعدد كبير من الأنواع النباتية التي تنتمي إلى فصائل نباتية مختلفة.

واعتماداً على الأسس سابقة الذكر تعد العناصر الكيميائية المبينة في الجدول (2-4) جميعها أساسية للنباتات الراقية. ويجدر التنويه هنا إلى أنه لم يثبت حتى الآن كون عناصر الصوديوم والسيليكون والكوبالت أساسية لكافة الأنواع النباتية بل لبعض منها فقط . فالصوديوم يعد أساسياً لنباتات العائلة الخيمية كالشوندر السكري دون غيرها من العوائل النباتية الأخرى وكذلك السيلكون الذي يعد ضرورياً لنبات الرزم في حين يؤدي الكوبالت دوراً مهماً في عملية تثبيت النتروجين الجوي التي تقوم بها بكتريا الرايزوبيوم Rhizobium المتعايشة مع جذور نباتات العائلة البقولية لذلك يعد هذا العنصر أساسياً للأنواع النباتية التابعة لهذه العائلة دون غيرها يحصل النبات على معظم حاجته من الكربون والأكسجين من الهواء الجوي، أما الهيدروجين فيحصل النبات عليه من ماء التربة بصوة مباشرة أو غير مباشرة أو من الرطوبة الجوية، وعلى الرغم من كون عناصر الكربون والأكسجين والهيدروجين تشكل مجملها 92 - 98% من تركيب المادة النباتية الجافة (C: 45-50%, O: 40-42%, H: 5-6%) إلا أن هذا العناصر نادراً ما تكون عاملاً محدداً للنمو النباتي. لا أهمية لعنصر غذائي على آخر، ولكن العناصر غير مطلوبة بنفس الكمية من النباتات، بسبب الاختلافات في كمية الحاجة، وتنقسم العناصر إلى عناصر كبرى و عناصر صغرى، وتكون تراكيز العناصر الكبرى في النباتات من حوالي 0.3% إلى 5% على أساس الوزن الجاف، تبعاً لجزء ونوع النبات. بينما تكون العناصر الغذائية الصغرى هي مكونات ثانوية على أساس تحليلي، تتراوح بين واحد إلى عدة مئات من الأجزاء لكل مليون من الوزن الجاف للنبات. والعناصر الغذائية الصغرى هي حيوية لنمو وتطور النباتات، وهي بنفس أهمية العناصر الغذائية الكبرى في مجال تغذية النبات.

الجدول (2-4): العناصر الغذائية الأساسية للنبات

الرمز	اسم العنصر	الرمز	اسم العنصر
C (Carbon)	الكربون	Fe (Iron)	الحديد
H (Hydrogen)	الهيدروجين	Mn (Manganese)	المنغنيز
O (Oxygen)	الأكسجين	Cu (Copper)	النحاس
N (Nitrogen)	النيتروجين	Zn (Zinc)	الزنك
P (Phosphorous)	الفوسفور	Mo(Molybdenum)	الموليبدينوم
S (Sulphur)	الكبريت	B (Boron)	البورون
K (Potassium)	البوتاسيوم	Cl (Chlorine)	الكلور
Ca (Calcium)	الكالسيوم	Na (Sodium)	الصوديوم
Mg (Magnesium)	المغنسيوم	Si (Silicon)	السيليكون
		Co (Cobalt)	الكوبالت

2-5-2- تصنيف العناصر المغذية الأساسية

استناداً إلى الكمية النسبية التي يحتاجها النبات من كل عنصر من العناصر المغذية الأساسية، يمكن تصنيف العناصر المغذية في مجموعتين رئيسيتين ينحصر الخلاف بينهما في كمية ما يحتاجه النبات من كلٍ منهما جدول (2-5).

2-5-2-1- مجموعة العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

تضم هذه المجموعة الكربون (C)، والهيدروجين (H)، والأوكسجين (O)، والنتروجين (N)، والفوسفور (P)، والكبريت (S)، والبوتاسيوم (K)، والكالسيوم (Ca)، والمغنيزيوم (Mg) ويتطلب النبات كميات كبيرة من هذه العناصر، ويكون تركيزها في النبات أكبر عادةً بمئات المرات من تركيز العناصر المغذية الصغرى، ويشكل الأوكسجين والكربون والهيدروجين النسبة الأعلى في محتوى النبات من هذه العناصر، يليها النتروجين والبوتاسيوم والفوسفور ومن ثم بقية العناصر التابعة لهذه المجموعة. ولما كان النبات يحتاج إلى كميات كبيرة من كل من النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم تفوق ما تحتويه التربة من الأشكال المتاحة من هذه العناصر لذلك غالباً ما تضاف هذه العناصر للتربة على شكل أسمدة، وتبعاً لذلك تدعى هذه العناصر بالعناصر السمادية. ويعبر عادة عن محتوى النبات من العناصر الكبرى بالغرام في مئة غرام مادة نباتية جافة ويكون عادة أكبر من (0.1%).

2-5-2-2- مجموعة العناصر الغذائية الصغرى Micronutrients

تضم عناصر الحديد (Fe) والمنغنيز (Mn) والنحاس (Cu) والزنك (Zn) والبورون (B) والموليبدينم (Mo). ويحتاج النبات إلى كميات ضئيلة من هذه العناصر مقارنة بما يحتاجه من العناصر الكبرى. ويعبر عادة عن محتوى النبات من هذه العناصر بالجزء بالمليون (Parts Per Million, ppm) أو $mg \cdot kg^{-1}$ مادة جافة، ويكون عادة أقل من 0.1% ($ppm > 1000$).

جدول (2-5) متوسط محتوى التربة والنبات من العناصر المغذية الأساسية

العنصر	محتوى التربة	محتوى النبات	العنصر	محتوى التربة	محتوى النبات
العناصر الكبرى / 100 غ			العناصر الصغرى / ملغ / كغ		
النتروجين	0.1	3-1.5	الحديد	280000	200
الفوسفور	0.08	0.7	المنغنيز	2500-10	50-10
الكبريت	0.085	0.5	النحاس	60-5	20-7
البوتاسيوم	1.3	3	الزنك	100-25	40-10
الكالسيوم	1.2	1	البورون	55-1.5	94-1
المغنيزيوم	0.6	0.5	الموليبدينم	7.5-0.2	8-0.2

المصدر: عودة وشمشم 2011 (خصوبة التربة وتغذية النبات)

2-5-3- تقييم محتوى النبات من العناصر المغذية

بغض النظر عن محتوى النبات النسبي من العنصر المغذي بالمقارنة محتواه من العناصر المغذية الأخرى، فإن محتوى النبات من العنصر المغذي الأساسي يمكن أن يقيم على أنه (Tisdale *et al.*, 1993):

أ - **غير كاف Deficient**: حيث يكون تركيز العنصر المغذي الأساسي في النبات منخفضاً إلى درجة يمكن أن يحد من الإنتاج، ويسبب ظهور أعراض النقص المرئية Symptoms الخاصة بهذا العنصر وقد يسبب النقص (العوز) المستفحل للعنصر موت النبات، مقابل ذلك يلاحظ أن النقص الطفيف يمكن أن لا يترافق بظهور أعراض النقص، لكن الإنتاج سينخفض بالتأكيد.

ب - **عند المستوى الحرج Critical Level**: ويقصد به تركيز العنصر المغذي في النبات الذي تظهر التراكيز الأدنى منه استجابة في الغلة للكميات المضافة من هذا العنصر المغذي. ومن الطبيعي أن يختلف التركيز الحرج باختلاف العنصر المغذي وباختلاف النوع النباتي و الصنف أيضاً، لكنه يبقى عادةً في المجال الكائن بين المستوى المنخفض (غير الكافي) والمستوى الملائم.

ت- **مناسب كاف Sufficient**: ويشير هذا المستوى إلى مجال التركيز للعنصر المغذي الذي لا تحدث عند الإضافات الجديدة منه زيادة في الغلة، لكنها تزيد من تركيز العنصر المغذي في النبات. ويستعمل مصطلح الاستهلاك الزائد Luxury Consumption غالباً لوصف امتصاص العنصر المغذي من قبل النبات الذي لا يترافق مع تأثير في الغلة.

ث- **زائد مفرط Excessive**، أو **سام Toxic**: وذلك عندما يكون تركيز العنصر الأساسي أو غير الأساسي مرتفعاً لدرجة أنه يخفض نمو النبات والغلة. ويمكن للتركيز المفرط من العنصر المغذي أن يسبب خللاً في امتصاص العناصر الأساسية الأخرى، وهذا ما يؤدي أيضاً إلى انخفاض الغلة.

2-6- صور العناصر الغذائية التي يمتصها النبات

Forms of nutrients uptake by plants

2-6-1- **النتروجين N**: يحتاج النبات أثناء نموه إلى كميات كبيرة من النتروجين لنتراوح نسبته في النبات بين 2-4% يمتص النبات النتروجين على صورة أمونيوم (NH_4^+) وأيونات نترات (NO_3^-). وتدخل أيونات الأمونيوم مباشرة في تفاعلات مع الأحماض العضوية داخل النبات لتكوين الأحماض الأمينية و الأمينات، أما النترات فلا بد أن تختزل أولاً إلى أمونيا بعض بواسطة الأنزيمات قبل دخولها في عمليات التمثيل الغذائي للنبات. وتتم عملية اختزال النترات

في جذور النباتات وكذا في الأجزاء الهوائية، وإن اختلف معدل الاختزال في كل منها باختلاف النبات وكذلك باختلاف تركيز النترات في التربة. ويتم في البندورة مثلاً في الأجزاء الهوائية (80-90 %) في الجزء السفلي من السيقان في حين يتم الاختزال في العديد من أنواع النباتات الأخرى في كل من الجذور والأجزاء الهوائية. وتتراوح كمية النتروجين التي يزيلها المحصول الواحد من التربة ما بين 50-250 كغ/هـ.

2-6-2- الفوسفور P: يمتص النبات الفوسفور على صورة أيونات $H_2PO_4^-$ و HPO_4^- وإن كان الجذر يمتص أيونات $H_2PO_4^-$ بمعدل أسرع. ويتراوح تركيز الفوسفور داخل النبات ما بين 2-4 %، وتتراوح كمية الفوسفور التي يزيلها المحصول الواحد من التربة ما بين 5-50 كغ P/هـ.

2-6-3- البوتاسيوم K: يمتص النبات البوتاسيوم من محلول التربة على صورة أيونات K^+ ولا يتم تمثيله في أي مركب عضوي داخل النبات، وإنما يظل على الصورة الأيونية في الخلايا والأنسجة النباتية. ويتم امتصاص معظم حاجة النبات من البوتاسيوم خلال فترة النمو الخضري. ويصل معدل الامتصاص أقصاه في نباتات العائلة النجيلية مثلاً خلال الفترة التي تبدأ من أول استطالة الساق، أو بدء الشط (تكوين الخلفة) وتنتهي بطرد السنابل (بدء الطور الزهري). ويتراوح تركيز البوتاسيوم في النبات ما بين 1-3%. وتتراوح كمية البوتاسيوم التي تزال من التربة بواسطة المحصول الواحد ما بين 50-300 كغ K/هـ. وهي وسط بين كمية النتروجين والفوسفور.

2-6-4- الكالسيوم Ca: يمتص النبات الكالسيوم من محلول التربة على صورة أيونات Ca^{++} وازدياد تركيز الكالسيوم الذائب في محلول التربة بدرجة كبيرة لا يرفع من امتصاص الجذور للكالسيوم، فالعملية محكومة بالخواص الوراثية. وبالرغم من أن تركيز الكالسيوم الذائب يصل إلى 10 أضعاف البوتاسيوم الذائب في محلول التربة فإن امتصاصه بواسطة النبات يقل دائماً عن امتصاص البوتاسيوم. وقدرة النبات على امتصاص الكالسيوم محدودة فقط بواسطة أطراف الجذور الصغيرة في السن والتي لم يحدث في جدرها الخلوية أي تغليظ. وتتراوح كمية الكالسيوم التي يزيلها المحصول الواحد من الأرض ما بين 25-120 كغ Ca/هـ.

2-6-5- المغنيزيوم Mg: يمتص النبات المغنيزيوم من محلول التربة على صورة أيونات Mg^{++} ونقل الكمية الممتصة من المغنيزيوم عن تلك الممتصة من الكالسيوم أو البوتاسيوم ويصل متوسط محتوى النبات من المغنيزيوم Mg نحو 0.5% من المادة الجافة. ويتأثر امتصاص المغنيزيوم بمستوى الكاتيونات الأخرى في المحلول وخاصة Ca^{++} و NH_4^+ و K^+ حيث تقلل هذه الأيونات من معدل امتصاصه بدرجة كبيرة. ويعتبر المغنيزيوم من العناصر المتحركة داخل النبات بعكس الكالسيوم، ويمكن للنبات في حال نقصه أن يرحله من الأجزاء

المسنة إلى الأجزاء حديثة السن وتظهر أعراض نقصه أولاً على الأجزاء المسنة من النبات. وتتراوح كمية المغنيزيوم التي يزيلها المحصول الواحد من الأرض ما بين 10-100 كغ/Mg/ هـ.

2-6-6- الكبريت S: قد يستطيع النبات أن يمتص الكبريت على صورة غاز ثاني أكسيد الكبريت من خلال الأوراق. والغالب أن تمتص النباتات معظم احتياجاتها من محول التربة على صورة أيونات الكبريتات SO_4^- يتم اختزالها داخل النبات لتدخل بعد ذلك في بناء بعض المواد الضوئية الهامة. والكبريت من العناصر غير المتحركة داخل النبات حتى عند نقص الإمداد به من وسط نمو النبات. ولذلك فإن عدم قدرة النبات على تحريكه من الأجزاء المسنة إلى الأجزاء حديثة النمو يتبعه ظهور أعراض نقصه على الأجزاء الحديثة النمو أولاً. وتتراوح كمية الكبريت التي يزيلها المحصول الواحد من الأرض ما بين 12-20 كغ/ S/ هـ.

2-6-7- الحديد Fe: يمتص على صورة أيونات حديدوز Fe^{++} أو على صورة حديد مخلي ذائب في محلول التربة، ولا يوجد داخل النبات على صورة أيونات حرة وإنما على صورة مخلبية مع الأحماض العضوية ويتراوح تركيزه داخل النبات ما بين 5-250 جزء بالمليون. وعنصر الحديد بطيء الحركة داخل النبات ولذا تظهر أعراض نقصه أولاً على الأوراق حديثة السن. وقد بينت الكثير من الدراسات أن الأوراق المصابة بالاصفرار قد تحتوي على كمية من الحديد مماثلة للأوراق الخضراء، ولكن الحديد يوجد على صورة غير نشطة inactive نتيجة ارتباط الحديد في هذه الأوراق مع مركبات مثل الفوسفات أو البيكربونات مما يعمل على الترسيب. وتتراوح كمية الحديد التي يزيلها المحصول الواحد من التربة ما بين 0.6-1.2 كغ Fe/ هـ.

2-6-8- المنغنيز Mn: تمتص النباتات المنغنيز على صورة Mn^{+4} ويتنافس معه في الامتصاص كل من Zn^{+2} , Fe^{+2} , Ca^{+2} , Mg^{+2} حيث يقل امتصاصه عندما يزداد تركيز هذه الأيونات في وسط النمو، والمنغنيز غير متحرك داخل النبات، ويتركز في النسيج المرستيمي، ولذا تظهر أعراض نقصه أولاً على الأوراق صغيرة السن. ويتراوح تركيز المنغنيز داخل النبات ما بين 20-100 جزء بالمليون. وتتراوح كمية المنغنيز التي يستهلكها المحصول الواحد من الأرض ما بين 475-715 غ/ هـ.

2-6-9- الزنك Zn: يمتص النبات الزنك على صورة أيونات Zn^{++} من المحلول الأرضي واحتياجات النبات من الزنك قليلة، حيث يتراوح تركيز الزنك داخل النبات ما بين 20-100 جزء بالمليون. ويؤدي التركيز العالي لبعض المغذيات (مثل النحاس و الحديد والمنغنيز) إلى انخفاض امتصاص النبات للزنك (تضاد). وتتراوح الكمية التي يزيلها المحصول الواحد من الزنك ما بين 600-950 غ Zn/ هـ.

2-6-10- النحاس Cu: يمتص النبات النحاس على صورة أيونات النحاس Cu^{++} من المحلول الأرضي. واحتياجات النبات من النحاس قليلة. حيث يتراوح تركيزه داخل النبات ما بين

20-2 جزء بالمليون. وهو من العناصر البطيئة الحركة داخل النبات، لذلك يؤدي نقصه إلى عدم ترحيله من الأجزاء المسنة إلى الأجزاء الحديثة، ولذلك تظهر أعراض نقصه على الانسجة حديثة النمو أولاً.

2-6-11- البورون B: يمتص النبات البورون على صورة جزيئات حامض البوريك H_3BO_3 من محلول التربة، والبورون من العناصر غير المتحركة داخل النبات مما يؤدي إلى ظهور أعراض نقصه أولاً على الأجزاء حديثة السن. ويتراوح تركيز البورون داخل النبات ما بين 6-50 جزء بالمليون.

2-6-12- الموليبدنم Mo: يمتص النبات الموليبدنم على صورة موليبيدات MoO_4^- وينافسه في عملية الامتصاص أيون الكبريتات، بينما يشجع الفوسفات من امتصاصه، والموليبدنم متوسط الحركة داخل النبات، ولا يتجاوز تركيزه في النبات عادة جزء واحد بالمليون. ويرجع ذلك إلى الانخفاض الشديد جداً للموليبدنم في محلول التربة. ويعكس باقي المغذيات الأخرى فمن الممكن أن يتراكم داخل النبات بتراكيز كبيرة دون أن يؤدي ذلك إلى سميته للنبات.

جدول (2-6) يبين صورة العنصر التي يمتصها النبات وتركيزه في المادة الجافة

العنصر Element	الرمز الكيميائي Chemical Symbol	شكل الامتصاص Form Available	تركيزه في المادة الجافة (%)	حركته في النبات
العناصر الكبرى				
الكربون	C	CO ₂	45	متحرك
الهيدروجين	H	H ₂ O	6	متحرك
الأكسجين	O	O ₂ , H ₂ O	45	متحرك
النيتروجين	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1.5	متحرك
الفوسفور	P	HPO ₄ ²⁻ H ₂ PO ₄ ⁻	0.2	متحرك
البوتاسيوم	K	K ⁺	1	متحرك
الكالسيوم	Ca	Ca ⁺⁺	0.5	غير متحرك
المغنيزيوم	Mg	Mg ⁺⁺	0.2	متحرك
الكبريت	S	SO ₄ ²⁻	0.1	بطئ
العناصر الصغرى				
الحديد	Fe	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	0.01	غير متحرك
المنجنيز	Mn	Mn ⁺⁺	0.005	غير متحرك
الزنك	Zn	Zn ⁺⁺	0.002	متحرك
النحاس	Cu	Cu ⁺ , Cu ⁺⁺	0.0006	غير متحرك
البورون	B	H ₃ BO ₃	0.002	غير متحرك
الموليبدنيوم	Mo	MoO ₄ ²⁻	0.00001	متحرك

المصدر: (Salisbury and Ross 1992)

2-7- امتصاص العناصر المغذية Nutrients Uptake

تعرف التغذية Nutrition بأنها عملية إمداد النبات وامتصاصه للمغذيات Nutrients اللازمة للمحافظة على حياته ونمو. ولقد شغل موضوع امتصاص العناصر المغذية ودخولها النبات اهتمام العديد من الباحثين والعلماء وقدمت مجموعة من النظريات التي تفسر آلية امتصاص العناصر المغذية. ويعتبر مفهوم جاهزية العناصر المغذية Nutrients Availability في التربة للامتصاص من قبل النبات من أكثر المواضيع أهمية في مجال الخصوبة والتسميد، حيث أنه يجب أن تزود النباتات بكمية كافية من العناصر المغذية المختلفة خلال موسم نموها، ولهذا السبب فإنه لا بد من المحافظة على تركيز العناصر المغذية في محلول التربة عند مستوى مناسب للنمو النباتي. ومن هنا نجد أن جاهزية Availability العنصر المغذي لا تعتمد فقط على تركيزه في محلول التربة في أي فترة زمنية، بل تعتمد أيضاً على قدرة التربة على المحافظة على هذا التركيز. ولاشك أن مقدرة التربة على تنظيم Buffering تركيز العنصر الغذائي في محلول التربة هو العامل الأهم في جاهزية العنصر الغذائي وقابليته لإفادة النبات. عموماً تكون العناصر المغذية التي تحتاجها النباتات بكميات كبيرة متواجدة في محلول التربة بتركيز صغيرة نسبياً، وتطبق هذه الحالة على الفوسفور والبوتاسيوم بشكل خاص. ولهذا السبب لا بد من التمييز بين مفهومين أو عاملين مهمين في التربة: الأول هو عامل الكمية (Q) Quantity factor، والثاني هو عامل الشدة (I) Intensity factor ويشير عامل الكمية إلى الكمية من العنصر المغذي الموجودة بحالة جاهزة أو قابلة لإفادة النبات Available، بينما يعبر عامل الشدة عن القوة أو الشد الذي تحتفظ بموجبه التربة بالعنصر الغذائي. ولا شك أن إدخال عامل الشدة في جاهزية العناصر المغذية يساعد كثيراً في تكوين صورة أدق عن حالة العناصر الغذائية في التربة. فالكمية الكلية لعنصر مغذٍ ما لا تعد وحدها مؤشراً على جاهزية هذا العنصر ما لم تعرف القوة أو الشدة التي من خلالها تحتفظ التربة بذلك العنصر. وهذا يشبه إلى حد بعيد جاهزية الماء في التربة، فالكمية الكلية للماء في التربة لا تحدد جاهزيتها بل يتم تحديد ذلك من خلال قوة مسك التربة للماء. وهناك تداخل بين عاملي الكمية والشدة. إن امتصاص جذور النبات لعنصر مغذٍ ما يعتمد أساساً على شدة هذا العنصر أو تركيز في محلول التربة والتي يتم تنظيمها بواسطة الجزء المتحرك Labile pool للعنصر موضوع الدراسة الذي يكون عادة سهل التبادل وعموماً يمثل هذا الجزء من العنصر الغذائي المكون الأساسي لعامل الكمية، مع الإشارة إلى أن هذه الحالة لا تحدث دائماً إذ أن تحرر العنصر المغذي من الأشكال البطيئة الجاهزية يمكن في بعض الأحيان أن يكون مصدراً هاماً في تجهيز العنصر. كما أن حصول هذه الحالة لا يعتمد على العنصر المغذي فقط، بل على ظروف وخصائص التربة أيضاً مثل (pH)، ودرجة الحرارة

ومستوى التهوية والرطوبة وغيرها. وبالإضافة إلى ما سبق يعتمد عامل الكمية أيضاً على حجم التربة الذي يشغله المجموع الجذري للنبات.

2-7-1- آليات امتصاص العناصر الغذائية Nutrient Uptake Mechanisms

منذ بدء اكتشاف أهمية العناصر الغذائية الأساسية للنبات والمحاولات جارية من أجل التعرف على الآلية التي تمتص بموجبها هذه العناصر. ولقد كان الاعتقاد السائد حتى مطلع القرن العشرين أن النبات يمتص العناصر الغذائية بآليات فيزيائية، ثم تبين لاحقاً أن عملية الامتصاص الأيوني تسهم فيها كل من الآليات الفيزيائية والآليات الإيجابية في آن معاً.

2-7-1-1- الامتصاص السلبي Passive Absorption:

لقد وضعت نظريات عدة تفسر الآلية التي تمتص فيها العناصر الغذائية بمعزل عن العمليات الاستقلابية الجارية ضمن النبات، وأبرز هذه النظريات:

أ- اعتراض الجذور والتبادل بالتماس Contact Exchange Theory

الكاتيونات المدمصة على سطوح معقد الادمصاص سواءً كان جذراً أو تربة ليست ثابتة في مكانها بل تتحرك متذبذبة ضمن مجال معين وعندما يحصل تداخل بين مجالي الحركة لكاتيونين مدمصين أحدهما على التربة والآخر على سطح الجذر فإن تبادلًا مباشرًا بين هذين الكاتيونين يمكن أن يحصل.

ب- الانتشار Diffusion:

يقصد بالانتشار Diffusion صافي حركة المواد أو الجزيئات أو الأيونات من الوسط الأعلى تركيزاً إلى الوسط الأدنى تركيزاً. ويعود سبب هذه الحركة إلى الطاقة الحرارية التي تحملها الذرات والجزيئات أو الأيونات. بناءً على هذا القانون فإنه يمكن للأيونات الموجودة في التربة أن تنتقل من نقطة إلى أخرى- بوجود الماء طبعاً- تبعاً لمنحدر تركيزها أي تنتقل من النقطة التي يكون فيها التركيز عالياً إلى النقطة التي يكون فيها التركيز منخفضاً. ويحصل الانتشار عندما يكون تركيز الأيون على سطح الجذر أعلى أو أخفض من تركيزه في (محلول التربة) أو المحلول المغذي حيث يكون باتجاه الجذر عندما يكون التركيز على سطح الجذر منخفضاً ويعيداً عن الجذر عندما يكون التركيز على سطح الجذر مرتفعاً مقارنةً بمحلول التربة. وفي كافة الأحوال يزداد معدل سرعة الانتقال كلما كان الفرق بالتركيز كبيراً.

ت- التدفق الكتلي Mass Flow

يمكن للأيونات أن تنتقل في التربة باليتين فيزيائيتين مختلفتين هما: الانتشار والتدفق الكتلي Mass Flow ويحصل التدفق الكتلي في التربة عندما تنتقل كتلة المياه من نقطة إلى أخرى داخل التربة كنتيجة للضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن ضغط عمود أو كتلة الماء، وقد يحدث نتيجة للجاذبية الأرضية. وبهذه الطريقة يمكن للأيونات أن تنتقل مع تيار الماء من التربة إلى

جذور النبات. وتتوقف كمية المغذيات التي تصل الجذر بهذه الطريقة على معدل جريان الماء، أو على معدل استهلاك الماء من قبل النبات ومتوسط تركيز العنصر المغذي في الماء. ويمكن أن يرتفع مستوى تركيز بعض العناصر المغذية حول الجذر أو ينخفض أو أنه يبقى كما هو، وهذا يتوقف على التوازن القائم بين معدل تزويد الجذر بالعنصر المغذي المعني من خلال التدفق الكتلي ومعدل الامتصاص من قبل النبات.

يؤدي التدفق الكتلي دوراً مهماً في حالة العناصر المغذية المتواجدة في محلول التربة بتركيز عالية، وعندما يكون معدل النتج عالياً، فتحت هذه الظروف تنتقل كميات ملموسة من الماء إلى الجذر حاملة معها العناصر المغذية المختلفة.

2-1-7-2- الامتصاص الفعال Active Absorption

لا تستطيع الآليات السلبية إعطاء تفسير شامل لعملية الامتصاص الأيوني، يوجد حالياً اتجاهان رئيسيان لتفسير الانتقال أو الامتصاص الفعال للعناصر الغذائية، يفسر الاتجاه الأول امتصاص الأيونات من خلال ارتباطها بحامل معين Carrier Theory بينما يعتقد الاتجاه الثاني بأن الامتصاص الأيوني يتم من خلال الضخ الأيوني عبر الغشاء الخلوي بوجود مضخات خاصة بالأيون Ionic pumps

أ- نظرية الحامل The Carrier Theory

تفترض هذه النظرية بأن الغشاء الخلوي Plasmalemma يحتوي على جزيء معين قادر على نقل الأيونات من خارج الخلية إلى داخلها عبر هذا الغشاء ولقد سمي هذا الجزيء بالحامل (الناقل) Carrier و يعتقد بأن الحامل يمتلك موقعاً رابطاً Binding site ترتبط به الأيونات المنقولة، أو أن هذه الأيونات ترتبط بالحامل في ذلك الموقع. كما يعتقد أيضاً بوجود حامل خاص بكل أيون أو عنصر غذائي، مما يعني أن هناك مواقع ربط خاصة بكل عنصر غذائي. إن تخصص المواقع الرابطة بربط أيونات معينة دون غيرها، وبالتالي تخصص حامل معين بأيون معين يؤدي إلى تقديم نظرية في تغذية النبات في غاية الأهمية، ألا وهي نظرية الاختيار Selectivity Theory التي تعني أن النبات قادر على اختيار العناصر الغذائية والتحكم بها، بحيث يسمح بمرور ما يحتاجه ويمنع مرور ما لا يحتاجه. مما لا شك فيه أن انتقال العناصر الغذائية بواسطة الحامل يحتاج فيزيولوجياً إلى طاقة (ATP) سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.

ب- الضخ الأيوني Ion Pumps

الخلية تحمل شحنات سالبة ناتجة عندما أصبح يعرف الآن بمضخة توليد الإلكترونات Electrogenic pump، حيث تقوم هذه المضخة بنقل الشحنات أو بتعبير أدق صافي الشحنات Net charges عبر غشاء الخلية.

2-7-1-3- الامتصاص الطاقى والامتصاص اللاطاقى

يتطلب طاقة وعادة يكون باتجاه منحدر الجهد الكهركيماوي. ويعتقد أن الأيونات في أي محلول تكون عادة تحت تأثير ظاهرتين فيزيائيتين تنتج الظاهرة الأولى عن منحدر الجهد الكيماوي Chemical potential gradient، بينما تنتج الأخرى عن منحدر الجهد الكهربائي Electrical potential gradient حيث تنتقل الأيونات تلقائياً.

تبعاً لمنحدر الجهد الكيماوي من المحلول ذي التركيز الأيوني العالي إلى المحلول ذي التركيز الأيوني المنخفض. أما الأيونات المعرضة لمنحدر الجهد الكهربائي فإن الموجبة الشحنة منها تتجذب نحو الجهد الكهربائي السالب، بينما تتجذب السالبة منها نحو الجهد الكهربائي الموجب. ويتوحد المنحدرين يكون انتقال الأيونات من نقطة إلى أخرى معتمداً على منحدر الجهد الكهركيماوي.

ومن المعلوم أن الخلية الحية تكون مشحونة بشحنات سالبة مقارنة بالمحيط الخارجي وبالتالي فإن أي انتقال للأيونات من خارج الخلية إلى داخلها يجب ألا يأخذ بعين الاعتبار الفرق في التركيز بين داخل الخلية وخارجها فقط، بل كذلك منحدر الجهد الكهربائي الذي يتأثر بسيادة الشحنات السالبة داخل الخلية مقارنة بخارجها، ويكون الانتقال من المنطقة ذات الجهد الكهركيماوي العالي إلى المنطقة ذات الجهد الكهركيماوي المنخفض. أما إذا حصل العكس فإن الانتقال يتطلب صرف طاقة وعندئذ يدعى بالانتقال الطاقى ويتوقف الانتقال بمجرد الوصول إلى حالة توازن كهركيماوي بين الخلية وخارجها.

2-7-2- العوامل المؤثرة في امتصاص العناصر المغذية Factors Affecting

Nutrients Absorption:

يتأثر امتصاص النبات للعناصر الغذائية بمجموعة كبيرة من العوامل التي يمكن وضعها في مجموعتين رئيسيتين هما مجموعة العوامل الداخلية، ومجموعة العوامل الخارجية. فالتباين الملاحظ بين الأنواع النباتية والأصناف فيما يخص امتصاص العناصر المغذية يعود أساساً إلى الاختلاف في التركيب الوراثي، إذ يشكل التركيب الوراثي للنبات أحد أهم العوامل الداخلية المسؤولة عن امتصاص النبات للعناصر المغذية. وبالإضافة للعوامل الداخلية، يتأثر امتصاص النبات أيضاً بمجموعة من العوامل الخارجية (البيئية) كالحرارة والضوء وغاز ثاني أكسيد الكربون ودرجة التفاعل وضغط الأوكسجين.

• **الحرارة Temperature:** يزداد امتصاص النبات للعناصر المغذية مع ارتفاع درجة الحرارة ضمن الحدود الفيزيولوجية. ويؤدي ارتفاع درجة الحرارة 40 م° إلى انخفاض ملحوظ في معدل الامتصاص عند معظم الأنواع النباتية، ويعزى هذا الانخفاض إلى تعطيل النشاط الأنزيمي المسؤول عن ذلك، يضاف إلى ذلك أن درجات الحرارة المرتفعة تزيد من نفاذية

الأغشية الخلوية للأمان مما يؤدي إلى تسربها إلى خارج النبات. أما انخفاض درجة الحرارة فيؤدي إلى انخفاض وتيرة التفاعلات الحيوية المتعلقة بالامتصاص، كما أنه يعمل على زيادة لزوجة الأغشية الخلوية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض معدل الامتصاص.

• **الضوء Light:** يؤثر الضوء في امتصاص العناصر الغذائية بصورة غير مباشرة من خلال تأثير في مختلف العمليات الفيزيولوجية الجارية في النبات، وعلى رأسها عملية التركيب الضوئي. ولقد لوحظ أن النباتات الخضراء ينخفض معدل امتصاصها للعناصر الغذائية عند وضعها في الظلام، بينما يزداد هذا المعدل عند إعادتها للضوء الطبيعي. فتوفر الضوء يعد أساساً لإنتاج الطاقة التي تؤثر بدورها في عملية الامتصاص

• **غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂:** كما هو معروف يؤدي غاز ثاني أكسيد الكربون دوراً أساسياً في العمليات الحيوية التي تتم داخل النبات فهو يثبت بصورة كيميائية في مركبات عضوية من خلال عملية التركيب الضوئي. ومما لا شك فيه أن كل ما يؤثر إيجاباً في عملية التركيب الضوئي يزيد من معدل امتصاص العناصر المغذية عموماً. بالمقابل لوحظ أن زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في وسط النمو يمكن أن يقلل من امتصاص النبات للعناصر المغذية، ربما للتأثير السلبي لزيادة تركيز هذا الغاز في نشاط أنزيم السيتوكروم المؤكسد.

• **الأوكسجين Oxygen:** يعد وجود الأوكسجين ضرورياً لتقديم الطاقة اللازمة لعملية الامتصاص الأيوني الغني بالطاقة في النباتات الراقية. فباعتبار أن جزيء (ATP) يتولد من خلال عمليتي التنفس والتركيب الضوئي، ونظراً لكون عملية التركيب الضوئي لا تتم في الجذور، فإن المصدر الأكثر أهمية لتوليد الطاقة في الجذور هو التنفس. ومن هنا تبرز أهمية الأوكسجين في الامتصاص الأيوني فلقد لوحظ أن عملية امتصاص النبات للأيونات المختلفة تنخفض بشدة وقد تتوقف عند حصول نقص شديد في الأوكسجين في المحاليل المغذية، أو عند سيادة الظروف اللاهوائية.

• **تفاعل التربة (pH):** يمكن لتفاعل التربة أن يؤثر في امتصاص العناصر المغذية بطرائق شتى، إذ يؤثر بشكل مباشر في نمو النبات، كما يؤثر بشكل غير مباشر عبر تأثيره في نشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة. حيث تنمو الفطور بصورة جيدة في التربة الحامضية، بينما يكون نمو البكتريا على أشده في التربة المتعادلة والمائلة نحو القلوية.

يؤثر تفاعل التربة في عملية التجوية Weathering التي تكون شديدة في التربة الحامضية مما يؤدي إلى تحرر الكاتيونات من الوحدات البنيوية لفلزات الطين، كما يؤثر pH في قابلية الأملاح المعدنية للذوبان، وبالتالي في جاهزية الأيونات الناتجة عن تفكك هذه الأملاح للنبات إذ تكون أملاح الكربونات والكبريتات والفسفات على سبيل المثال أكثر قابلية للذوبان في الوسط الحامضي مقارنة بالوسط القلوي. ويؤثر pH الوسط أيضاً في طبيعة الشوارد السائدة.

ولتفاعل التربة تأثير بالغ الأهمية في امتصاص النبات للعناصر الصغرى من خلال تأثيره في ذوبان المركبات الحاوية على هذه العناصر. كما يؤثر في ادمصاص هذ العناصر على سطوح غرويات التربة. ويمكن القول إن أملاح جميع العناصر الصغرى باستثناء الموليبدنم يزداد ذوبانها مع انخفاض pH التربة وبالتالي تزداد جاهزيتها للنبات، وعلى العكس من ذلك تزداد انحلالية أملاح الموليبدنم في الوسط القلوي. ومن جهة أخرى يمكن القول أن الأيونات السالبة كالنترات والفوسفات تمتص بكميات أكبر في الوسط المائل للحموضة، بينما يزداد امتصاص الأيونات الموجبة في الوسط المتعادل والمائل للقلوية. ويمكن أن يعزى ذلك إلى تأثير المنافسة على مواقع الامتصاص على الجذور بين أيون الهيدروجين والكاتيونات الأخرى من جهة، والمنافسة على الامتصاص بين أنيون الهيدروكسيل والأنيونات الأخرى من جهة ثانية. وتجدر الإشارة إلى أن التأثيرات السابقة لتفاعل الوسط يمكن أن تلاحظ ضمن المجال الفيزيولوجي للنبات (9 - 4 pH) وأن انخفاض pH الوسط عن (4) أو ارتفاعه عن (9) سوف يؤدي إلى تخريب الأنسجة النباتية وكذلك الحوامل الأيونية، مما يؤدي في النهاية إلى تثبيط عملية الامتصاص.

• **الفعل المتبادل:** يتأثر امتصاص أيون معين بوجود أيونات أخرى في الوسط المغذي، حيث يمكن أن يزداد امتصاص هذا الأيون أو ينقص بتأثير وجود أيون ما أو غيابه (شكل 2-2). و يعتقد أن هذا العملية تحصل تحت تأثير مجموعة من العوامل المتداخلة مثل ارتباط الأيون بالعمليات الاستقلابية والشحنة الكهربائية للأيون المرافق ونصف قطر الأيوني وتركيزه. يقال إن هناك تضادا Antagonism بين عنصرين مختلفين عندما يخفض أحدهما امتصاص النبات للعنصر الآخر، وأن هناك تآزراً Synergism بين عنصرين مختلفين عندما يشجع وجود أحدهما امتصاص العنصر الآخر. و يعتقد أن التضاد يحصل بين العناصر المتقاربة كيميائياً، أو التي تمتص من قبل النبات بآليات متشابهة. فمثلاً يتأثر امتصاص أيون الكلور (Cl^-) بوجود أيون البروم (Br^-) وأيون اليود (I^-)، في حين لا يتأثر امتصاص النبات لهذا الأيون عند وجود أيون النترات (NO_3^-) أو الفوسفات ($H_2PO_4^-$). كما يتأثر امتصاص أيون الفوسفات سلباً بوجود كل من أيونات السلفات (SO_4^{2-}) نظراً لوجود تنافس بينهما. ومن ناحية أخرى هناك تضاد بين الكاتيونات القاعدية (Na^+, K^+) فقط لوحظ انخفاض معدل امتصاص أحدها عند زيادة تركيز الآخر، الأمر الذي يعزى إلى التنافس على مواقع الربط في الحوامل. ومن المؤكد أن امتصاص الصوديوم ينخفض كثيراً تحت تأثير منافسة البوتاسيوم له بينما لم يلاحظ تأثير يذكر للصوديوم في امتصاص البوتاسيوم. كما أن هناك تضاداً بين الكاتيونات القاعدية الأرضية يشمل كلاً من الكالسيوم و الباريوم و السترونسيوم. أما عند وجود الكاتيونات القاعدية الأرضية والكاتيونات القاعدية معاً في الوسط المغذي فإن هناك ميلاً لزيادة

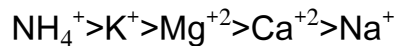
امتصاص الكاتيونات القاعدية (البوتاسيوم) بوجود بعض الكالسيوم أو المغنزيوم، بينما يقل امتصاص الكاتيونات القاعدية الأرضية (الكالسيوم والمغنزيوم) بوجود تراكيز عالية من الكاتيونات القاعدية. امتصاص البوتاسيوم يزداد بوجود تراكيز منخفضة من الكالسيوم، وينخفض بوجود تراكيز عالية من الكالسيوم، ويعرف هذا التأثير المزدوج للكالسيوم في امتصاص البوتاسيوم بتأثير فيت، كما يعتقد أن امتصاص النبات للمغنزيوم يتأثر عكسياً بوجود الكالسيوم.

ويمكن أيضاً أن تحفز بعض الأيونات كالنترات والفوسفات والسلفات امتصاص أيونات أخرى من خلال تأثيرها في عمليات الاستقلاب، فلقد تبين أن امتصاص النبات للنترات مثلاً ينخفض بشدة عند غياب أيونات الفوسفات نظراً لتأثير الأيونات الأخيرة في اصطناع المركبات العضوية التي يدخل النتروجين في تركيبها، كما تبين أن النبات يتوقف عن امتصاص أيون البوتاسيوم عند غياب أيون النترات أو بعض الأيونات الأخرى الأساسية في العمليات الاستقلابية.

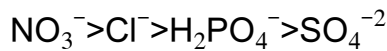
يعتقد أن الفعل المتبادل بين الأيونات يرتبط أساساً بالتخصص في مواقع الربط على الحوامل. فإذا كان هناك عدد كافٍ من هذه المواقع فمن المحتمل أن لا يكون هناك تداخل أو تنافس بين الأيونات، حيث يمكن للأيونات التي تتبادل على المواقع الرابطة في الحوامل أن تمتص بالسرعة والكفاءة القصوى. كما يكون امتصاص أيون ما سريعاً وبمعزل عن التأثير بالأيونات الأخرى عندما تكون مواقع الربط لهذا الأيون عالية التخصص به.

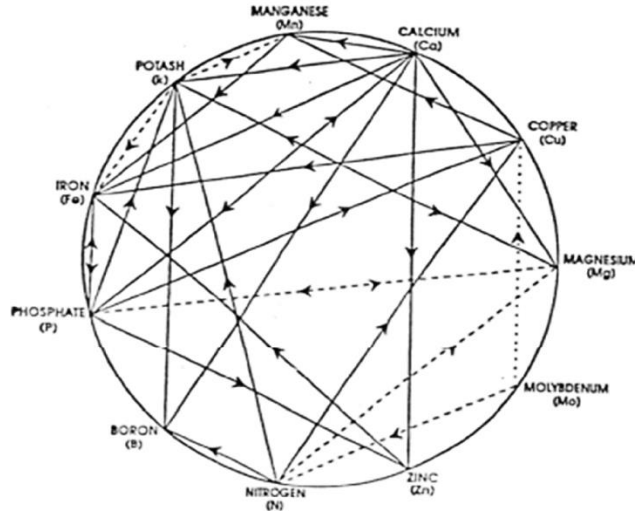
وعلى صعيد آخر يمكن أن يكون التضاد بين الأيونات تضاداً تنافسياً ينتج في غالب الأحيان عن التنافس بين الأيونات التي لها آلية الامتصاص نفسها من قبل النبات، كما يمكن أن يكون التضاد بين الأيونات وظيفياً أو استقلابياً كما هو الحال بين أيوني الهيدروجين و الكالسيوم.

لا بد من الإشارة أخيراً إلى أن سرعة امتصاص أيون ما تتوقف إلى حد بعيد على شحنة هذا الأيون فالشوارد الأحادية أكثر قابلية للامتصاص من الشوارد الثنائية، وهذه بدورها أكثر من الثلاثية. كما أن سرعة امتصاص الكاتيونات عموماً أكبر من سرعة امتصاص الأنيونات شريطة تحقيق الاتزان الأيوني بين الشحنات الموجبة والسالبة. ومن أجل الكاتيونات الأكثر تواجداً في محلول التربة يمكن أن يعبر عن سرعة الامتصاص وفق التالي:



أما الأنيونات الأكثر تواجداً في محلول التربة، فيمكن التعبير عن سرعة امتصاصها وفق التالي:





شكل (2-2): علاقات الإيزان بين العناصر (مخطط Mulder's)

• التركيز الأيوني Ionic Concentrating

من البديهي أن تزداد الكمية الممتصة من أيون ما بزيادة تركيزه في المحلول الخارجي (محلل التربة)، فالعلاقة بين التركيز الأيوني والامتصاص علاقة طردية ولكن إلى حد معين من التركيز. ويمكن القول إن العلاقة بين التركيز الأيوني والامتصاص أشبه بخط منح منها بخط مستقيم، فالزيادات في التركيز لا تقابلها زيادة متساوية في الامتصاص، و يعتقد أن زيادة تركيز أيون ما في المحلول الخارجي يؤثر في آلية نقله بواسطة الحامل بصورة مشابهة لتأثير زيادة تركيز المادة المتفاعلة في الوسط، حيث تزداد فرص نقل الأيون على الحامل بصورة كبيرة بزيادة تركيزه. وقد تختلف العلاقة بين التركيز الأيوني والامتصاص باختلاف نوع الأيونات، فامتصاص السلفات والفوسفات مثلاً يكون في المحاليل الممددة لهذه الأيونات متناسباً مع لوغاريتم تركيزها في المحلول، بينما يصبح مستقلاً تماماً عن تركيزها في الوسط في المحاليل المركزة لهذه الأيونات.

2-8- الوظيف الفيزيولوجية Physiological Functions للعناصر

الغذائية في النبات:

2-8-1- النتروجين N:

- 1- يدخل في تركيب الكلوروفيل لذلك فإن نقصه يؤدي إلى اصفرار الأوراق.
- 2- يعد بمثابة حجر الأساس في بناء البروتينات والأحماض النووية كونه يدخل في تركيب الحموض الأمينية.
- 3- ضروري من أجل استقلاب الكربوهيدرات.
- 4- يدخل في تركيب الأميدات مثل الأسبارجين والغلوتامين، ولهذا أهمية في تخليص النبات من سمية الأمونيا.

5- يدخل في تركيب الأنزيمات والفيتامينات والهرمونات ومركبات حفظ الطاقة مثل $NADPH_2$, ATP, $NADH_2$.

6- يدخل في تركيب مشتقات الأمينات مثل الكولين Choline الذي يشتق منه منظم النمو Cycocol (CCC) المستخدم في تقليل رقاد القمح.

7- يشجع نمو المجموع الجذري وتطوره.

8- يحسن من جودة الخضار الورقية ومحاصيل الأعلاف، مما يساعد على امتلاء الحبوب ورفع محتواها من البروتين.

2-8-2- الفوسفور P:

1. يدخل في تركيب بعض المركبات الغنية بالطاقة مثل (ADP, ATP) وفي

2. تركيب المرفقات الأنزيمية مثل (NAD, NADP).

3. يدخل في تكوين الأحماض النووية (DNA , RNA) ويؤدي تبعاً لذلك دوراً كبيراً في انقسام الخلايا النباتية.

4. يدخل في تركيب الفوسفوليبيدات الضرورية لتكوين الأغشية الخلوية.

5. يخزن الفوسفور في البذور و الحبوب بصورة عضوية (فييتين Phytin) تستخدم لتأمين حاجة البادرات من الفوسفور بعد الإنبات مباشرة ريثما تتشكل جذور قادرة على تأمين الفوسفور للنبات من وسط النمو.

6. يعد الفوسفور ضرورياً لتشكل الثمار أو السنابل . ويسرع من نضج الثمار بطريقة غير مباشرة من خلال تخفيضه للكميات الممتصة من النتروجين مما يساعد على انخفاض معدل النمو الخضري ونضج الثمار مبكراً.

7. يؤدي دوراً مهماً في استقلاب الكربوهيدرات فأول المركبات الناتجة عن التركيب الضوئي هو acid Phosphoglyceric حمض الغليسريك الفوسفوري.

8. يعد مكوناً أساسياً للسكريات الفوسفورية مثل Glucose -1-phosphate و

Fructose -6-phosphate

2-8-3- البوتاسيوم K:

1. ينظم محتوى النبات من الماء من خلال رفع الضغط الأسموزي للخلايا مما يسمح بالحصول على كمية أكبر من الماء والاحتفاظ به. ويعزى ذلك إلى سيطرته على آلية فتح الثغور التنفسية وإغلاقها.

2. يساعد على انتقال الكربوهيدرات من مناطق اصطناعها إلى الأجزاء النباتية الأخرى وبخاصة أعضاء التخزين كالجذور في الشوندر السكري.

3. ينشط عمل عدد كبير من الأنزيمات أكثر من 40 أنزيم أهمها: Synthetase, Transferase, Dehydrogenase, Kinase, Nitrate reductase
4. يساعد في تمثيل البروتينات من خلال عملية إرجاع النترات واستخدام النشادر الناتج في بناء الأحماض الأمينية.
5. يزيد من مقاومة النبات للأمراض كصدأ النجيليات اللفحة المتأخرة على البطاطا وذبول القطن كما يقلل الإصابة بمرض تبقع أوراق التبغ.
6. يزيد من متانة الجدر الخلوية مما يسهم في التقليل من تعرض النباتات للضجعان.
7. يحسن الاستفادة من الضوء خلال الطقس البارد ويزيد من قدرة النبات على تحمل البرودة من خلال تأثير في تنشيط الأنزيمات الناقلة للكربوهيدرات التي تفقد نشاطها في ظل ظروف البرودة.
8. يرفع مقاومة النبات للجفاف والملوحة من خلال تأثيره في زيادة تركيز العصارة الخلوية.
9. يساعد على زيادة مساحة الأوراق من خلال دوره في زيادة كفاءة ومعدل عملية التمثيل الضوئي ومحتوى النبات من الكربوهيدرات، وبمساهمة البوتاسيوم في تنشيط الأنزيمات في مختلف مراحل النمو فإنه يساعد في الحفاظ على أكبر عدد ممكن من الأوراق النباتية بحالة نشطة حتى نهاية موسم النمو مما يؤثر على زيادة الإنتاج وتحسين نوعيته ومحتواه من الكربوهيدرات.

2-8-4- الكالسيوم Ca:

- 1- يدخل في تركيب الصفحة الوسطى للجدار الخلوي على شكل بكتات كالسيوم، مما يساعد على زيادة متانة هذا الجدار. كما يساهم في تشكيل العديد من المركبات المخيلية Chelates التي تكسب الخلية المرنة وبالتالي تكون الخلايا قوية من جهة، ومرنة من جهة أخرى مما يجعل النبات أقل عرضة لتأثير الرياح الأمر الذي يقلل من تعرض المحاصيل النجيلية للرقاد.
- 2- يقوم الكالسيوم بتعديل الحموضة العضوية الناتجة عن أحماض الأوكزاليك والستريك والطرطريك عن طريق الاتحاد مع أنيونات هذه الأحماض وتشكيل رواسب بلورية تتجمع في الفجوات الخلوية غالباً.
- 3- يعد هذا العنصر ضرورياً لانقسام الخلايا الميرستيمية ونمو حبوب اللقاح ويؤدي نقصه إلى تلون القمم النامية باللون البني.
- 4- يساهم في نقل الكربوهيدرات من أماكن اصطناعها في الأوراق إلى أماكن تجمعها في الدرنات كما هو الحال في البطاطا، أو في الجذور كما هو الحال في الشوندر السكري على سبيل المثال.

5- ضروري للنباتات البقولية إذ يلعب دوراً مهماً في تكوين العقد الجذرية وزيادة كفاءتها في تثبيت النتروجين الجوي.

6- يسهم الكالسيوم مع العناصر الأخرى B, Mn, Cl, Na, K في تنظيم الجهد الأسموزي للخلية النباتية.

7- يشترك الكالسيوم مع المغنيزيوم في تكوين مركب الفيتين Phytin من خلال تفاعله مع حمض الفيتيك. ويعد هذا المركب المصدر الأساسي للفسفور أثناء مرحلة إنبات البذور وتشكل البادرات.

8- يسهم في تنظيم pH العصارة الخلوية من خلال تشكيله لمركب فوسفات الكالسيوم.

9- يؤدي دوراً مهماً في الحد من سمية المعادن الثقيلة Heavy metals والألمنيوم في ظروف الترب الحامضية من خلال المنافسة على الامتصاص من قبل النبات، وعلى مواقع التبادل على سطوح غرويات التربة.

2-8-5- المغنيزيوم Mg

1- يدخل مع النتروجين في تكوين جزيء الكلوروفيل بنسبة تقدر 2.7% ولا يمكن للنباتات الخضراء القيام بعملية التمثيل الضوئي بدونه.

2- يعزز المغنيزيوم من قدرة النبات على امتصاص الفوسفور، كما ينشط حركة هذا العنصر في النبات من خلال قيامه بدور حامل للفوسفور، وله دور هام في تحويل الفوسفور المعدني الممتص إلى فوسفور عضوي.

3- يساهم في نقل المواد الكربوهيدراتية من الأوراق إلى باقي الأجزاء النباتية.

4- يلعب دوراً في اصطناع البروتينات وفي إرجاع النترات في النبات، كما يحفز التثبيت التكافلي للنتروجين الجوي بواسطة نباتات العائلة البقولية.

ينشط عمل عدد من الأنزيمات مثل Enolase , Pyruvic corboxylase والأنزيمات المسؤولة عن حلمهة (ATP) .

2-8-6- الكبريت S

1- يعد الكبريت مكوناً لمعظم المركبات العضوية قصيرة السلسلة في الخلايا النباتية.

2- يدخل في تركيب الأحماض الأمينية الكبريتية كالميثيونيم والسيستئين والسيستين.

3- يؤدي دوراً هاماً في تشكيل السلاسل متعددة البيبتيد التي تشكل البروتينات الكبريتية عن طريق تشكيل رابطة سلفاهيدريل SH.

4- أحد مكونات بعض الفيتامينات مثل فيتامين (B1) الثيامين و (H) البيوتين

5- يدخل في تركيب بعض الزيوت الطيارة المسؤولة عن الطعم والرائحة للجنس *Allium* كالبصل والثوم، كما تدخل في تركيب بعض المواد الأخرى مثل ثيوغلوكوزيدات ومشتقاتها، وزيت الخردل كما في العائلة البقولية.

6- أحد مكونات أنزيم الفيرودوكسين الضروري لعملية التمثيل الضوئي في النبات.

7- يساهم في بناء العقد الأزوتية في نباتات العائلة البقولية، وبالتالي يزيد من تثبيت الآزوت الجوي.

2-8-7 الحديد Fe

1- يؤدي دوراً هاماً في عمليات التركيب الضوئي، بالرغم من عدم دخول الحديد في تركيب جزيء الكلوروفيل، إلا أنه مهم في تخليق والحفاظ على هذه المادة الخضراء داخل النبات وعلى ذلك فنقصه يؤدي إلى ظهور الشحوب الخضري ويظهر الاصفرار على النبات.

2- يدخل في تركيب بعض الأنزيمات كإنزيمات التنفس وأنزيمات السيتوكروم في السلسلة التنفسية *Haem enzyme systems* ومنها *Catalase* , *Peroxidase* و *Cytochrome oxidase*. ويمثل اشتراك الحديد في تكوين هذه المركبات أهمية خاصة في عمليات الأكسدة وهو أحد الأدوار الهامة في عمليات الميتابوليزم بالخلية.

3- يؤدي دوراً هاماً في اصطناع البروتينات، حيث يلاحظ انخفاض نسبة الآزوت البروتيني نسبة إلى الآزوت الكلي في النباتات التي تعاني من أعراض النقص.

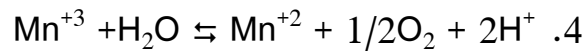
4- يؤدي دوراً هاماً في تنشيط أكسدة الفوسفوسكريات.

2-8-8 المنغنيز Mn

1. يساهم المنغنيز في العديد من العمليات الحيوية داخل النبات ، حيث يلعب دوراً مباشراً في عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد حيث يُمثل المنغنيز أحد العوامل المسببة لظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحويل الحديدوز إلى حديديك وهذه الصورة تُعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية.

2. للمنغنيز علاقة بتكوين الكلوروفيل، حيث تتأثر البلاستيدات الخضراء بنقص المنغنيز.

3. كذلك وجد أن المنغنيز ضروري لانتشار جزيء الماء أثناء عملية التمثيل الضوئي (Hill's reaction) كما في المعادلة (تفاعل هيل) حيث يقوم بأكسدة جزيء الماء في وجود الضوء والكلوروفيل إلى أيونات الأيدروجين والأكسجين ثم تُختزل أيونات المنغنيز باستقبالها لأيونات الهيدروجين.



5. يلعب المنغنيز دوراً هاماً في تمثيل النيتروجين داخل النبات. حيث يعد أحد مكونات الأنزيمات التي ترجع النترات إلى نترات، وكذلك الأنزيمات التي ترجع النترات إلى الجذر - NH₂ لكون هذا الجذر الأميني هو الأساس في اصطناع الأحماض الأمينية والبروتينات.

2-8-9- الزنك Zn

1. يقوم بدور هام جداً في تشكيل التربتوفان الضروري لأوكسينات النمو
2. يؤدي دوراً كبيراً في بناء الكلوروبلاست
3. يؤدي دوراً مهماً في إدارة استخدام الفوسفور في النبات.
4. أحد أهم العناصر الضرورية لتمثيل الكربوهيدرات واصطناع البروتينات
5. يدخل في تركيب العديد من الأنزيمات الخاصة وخاصة أنزيم بوليميرازم، يؤدي دوراً مهماً في تحولات الحمض الريبسي النووي RNA.

2-8-10- النحاس Cu

1. يؤدي دوراً هاماً في زيادة صلابة جدر الخلايا النباتية ويساهم في الاصطناع الخلوي للليغنين.
2. له دور هام في تثبيت الآزوت الجوي في العقد الآزوتية.
3. يساهم بشكل كبير في مرحلة الإزهار والعقد وتشكل الثمار.
4. يقوم بدور هام في تمثيل الكربوهيدرات واصطناع السكريات.
5. يدخل في تركيب ثلاثة أنزيمات هي: بولي فينول أوكسيداز Polyphenol ولاكاز Laccase أسكوربيك أسيد أوكسيداز Ascorbic acid Oxidas.

2-8-10- البورون B

1. يؤدي دوراً هاماً في انتقال السكريات من الأوراق إلى أماكن التخزين (جذور - درنات - ثمار)
2. يقوم بدور هام في زيادة صلابة الجدر الخلوية من خلال دورة في اصطناع الليغنين والمواد البكتينية
3. يساهم البورون في تنظيم حركة الماء والأملاح المعدنية في الخلية
4. يؤدي دوراً هاماً في الانقسام والتمايز الخلوي وفي مرحلة العقد والإزهار وتشكل الثمار في النبات.
5. يقوم بدور هام بالإشراف على تصنيع الحمض الأميني (اليوراسيل) الضروري لتشكيل RNA.

2-8-11- الموليبدنم Mo

1. يؤدي دوراً مهماً في عمليات التمثيل الغذائي في اصطناع ونشاط حمض الاسكوربيك.

2. يدخل في تركيب أنزيم النتروجيناز Nitrogenase الضروري لتثبيت الآزوت الجوي والذي يؤدي دوراً هاماً في نباتات العائلة البقولية
3. ارتفاع تركيز في النبات يعيق نشاط أنزيمات السايتركروم أو أكسيداز التي تنشط النحاس بسبب علاقة التضاد بين المولبدنم والنحاس.
4. يساهم في مختلف التحولات الأنزيمية في النبات وخاصة أنزيم نترات ريدوكتاز Nitrate reductase حيث يؤدي نقص المولبدنم إلى تراكم النترات وعدم تحولها إلى أحماض أمينية وبروتينات.
5. يؤدي دوراً مهماً كحامل للإلكترون لمختلف العمليات الحيوية في النبات من خلال قدرته على تغيير رقم أكسده بين الخماسي والسداسي.

الفصل الثالث - تصنيف الأسمدة وأنواعها

Classification of fertilizers and their types

الفصل-3- الباب-1- مفاهيم ومصطلحات Concepts and Terminology

3-1-1- السماد Fertilizer: كل مادة تحتوي على عنصر غذائي واحد أو أكثر وتساهم في تغذية النبات وزيادة خصوبة التربة. ومن أجل تعريف أكثر شمولية للسماد ونتيجة التطور الهائل في مجال صناعة الأسمدة واستخدام المستخلصات الحيوية، والعضوية، والمعدنية، ومنظمات النمو في مجال خصوبة وتسميد الأراضي وتغذية النبات، يمكن تعريف السماد بأنه كل مادة يؤدي استخدامها إلى تغذية النبات أو تزيد من خصوبة التربة أو تعمل على تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة. أي أنها تساهم بشكل مباشر (بما تحتويه من عناصر) أو غير مباشر (من خلال تأثيرها في خواص التربة) في زيادة إتاحة العناصر الغذائية للنبات، كما أنها تحسن من ظروف امتصاص النبات للعناصر الغذائية وبالتالي تشجع وتنظم النمو المثالي للنبات النامي. وللتفريق ما بين المحسنات والأسمدة فالمحسنات هي مواد تؤدي إلى تغيير أو تحسين بعض خواص التربة الكيميائية أو الفيزيائية وفي الوقت نفسه من الممكن أن تضيف بعض العناصر المغذية للنبات وتكون مصدراً سمادياً، أما السماد فههدفه الرئيس إضافة العناصر المغذية للنبات، وهناك الكبريت الزراعي والمخلفات العضوية التي يمكن أن تكون أسمدة ومحسنات في ذات الوقت.

3-1-2- العناصر المغذية للنبات Plant Nutrient: هي أحد مجموعة العناصر المصنفة كعناصر ضرورية لنمو النبات، سواءً كانت عناصر كبرى رئيسية (N,P,K) أو ثانوية (Ca, Mg, S) أو كانت عناصر صغرى (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo).

3-1-3- العناصر السمادية الغذائية Fertilizer Nutrient: هي مجموعة العناصر الضرورية لنمو وتغذية النبات وتدخل في تركيب السماد. أو هي أحد المواد المغذية الكبرى الرئيسية الثلاث للنبات (K,N,P) وفي الولايات المتحدة أية مادة مغذية.

3-1-4- العناصر السمادية الكبرى Macronutrients Nutrient: وهي العناصر التي تدخل في تركيب السماد و يحتاجها النبات بكميات كبيرة وتشمل عناصر سمادي كبرى أساسية (N, P, K) وعناصر كبرى ثانوية (Ca, Mg, S).

3-1-5- العناصر السمادية الصغرى Nutrient Micronutrients: وهي العناصر التي تدخل في تركيب السماد و يحتاجها النبات بكميات قليلة وتشمل (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo).

3-1-6- الوحدة السمادية Fertilizer unit: هي 1 % من الطن، أو 10 كغ، وعليه فإن طناً من سماد سلفات النشادر (21% نتروجين) يحتوى على 21 وحدة نتروجين أي 210 كغ N/طن.

3-1-7- المعادلة السمادية Fertilizer Formula: هي الكميات الفعلية من المركبات الداخلة في تركيب طن من السماد المركب، وقد يعبر هذه الكميات كنسب مئوية أيضاً، ويطلق على مصادر العناصر السمادية في السماد المركب اسم المواد الحاملة Carriers.

3-1-8- مواد الأسمدة Fertilizer Materials: العناصر الغذائية دوماً هي من العوامل المحددة لنمو النبات، وتحت الظروف الطبيعية يتحقق التوازن الغذائي للعناصر بالاعتماد على دورة العنصر في الطبيعة لتلبية احتياجات النبات. هذا التوازن يختل عندما يبدأ النبات بالنمو، حيث تقوم التربة بتزويد النبات بالعناصر الغذائية، وهذا الجزء الممتص أي الذي استتفز من التربة لا يعاد تدويره كونه قد أزيل من التربة خلال نمو المحاصيل وحصادها. ولهذا يجب تجهيز التربة بالعناصر الغذائية، وهذا التجهيز تتنوع مصادره وأشكاله، حيث يضم الأسمدة الكيميائية، السماد الحيواني، السماد الأخضر. والتجهيز يجب أن يعتمد على تحليل التربة، كونه الأساس في تحديد نوعية السماد وكميته.

3-1-9- السماد أحادي العنصر الغذائي (Single nutrient fertilizer): هو السماد الذي يحتوي على عنصر غذائي واحد. وقد تسمى أيضاً الأسمدة المفردة غير الممزوجة (Straight fertilizers)، وتسمى أيضاً بأسمدة العناصر البسيطة، وتشتمل على (الأسمدة النتروجينية، الفوسفاتية، البوتاسية، أسمدة المغنيزيوم، وأسمدة الكالسيوم بكامل مواصفاتها الطبيعية (الفيزيائية) والكيميائية ومحتواها من العناصر الغذائية المحددة). وهذه الأسمدة تجهز النبات بعنصر غذائي رئيسي كالنتروجين أو الفوسفور أو البوتاسيوم. وقد تسمى أسمدة صرفة أو نقية "Pure Fertilizers" ومنها أسمدة النتروجين مثل اليوريا وكبريتات الأمونيوم والأمونيا وأسمدة الفوسفور مثل السوبرفوسفات وحامض الفوسفوريك و أسمدة البوتاسيوم مثل كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم.

3-1-10- الأسمدة المركبة (Compound Fertilizers): وهي الأسمدة التي تحتوي على أكثر من عنصر غذائي سواء كانت هذه العناصر من العناصر الكبرى أو الصغرى. والأسمدة المركبة توجد إما في صورة صلبة أو سائلة وأكثر الأسمدة شيوعاً هي ما بين كل من (النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) والتي يعبر عنها بالرمز (NPK). وفي هذه الأسمدة المركبة نجد أن كل حبة تمثل تركيب السماد ككل (NPK) ويضاف عليها في بعض الأحيان العناصر الثانوية مثل (المغنيزيوم والكبريت) وكذا الصغرى (حديد، زنك، منغنيز، نحاس، بورون) بنسب صغيرة. وتختلف المراجع في تعريف الأسمدة المركبة حيث يمكن تعريفها أيضاً بأنها الأسمدة

الحاوية على مادتين سماديتين أو أكثر من المواد المغذية (ليس الولايات المتحدة الأمريكية)، أي أنها الأسمدة التي تحوي على عنصرين أو ثلاثة من العناصر الغذائية الرئيسية الكبرى (النتروجين و الفوسفور و البوتاسيوم). ومن الأمثلة على هذه الأسمدة أسمدة فوسفات الامونيوم و نترات البوتاسيوم و فوسفات البوتاسيوم و السمد المركب NPK. وهناك تسميات لاتزال موجودة مثل السمد البسيط والذي يشمل السمد الحاوي على عنصر واحد أو أكثر في حبيبة سمادية واحدة و السمد المركب ويشمل مزج أو خلط سمادين أو أكثر خطأً كيميائياً أو خطأً فيزيائياً. والبعض يعرف الأسمدة المركبة Compound Fertilizer: بأنها ناتجة عن خلط أكثر من سماد خطأً كيميائياً أما الأسمدة المزيجة أو المخلوطة Mixed Fertilizers فهي عبارة عن عملية خلط فيزيائي لسمادين أو أكثر.

3-1-11- الأسمدة المخلوطة (الممزوجة) Mixed Fertilizer: إن هذا المصطلح يتنوع معناه ويختلف من بلد لآخر، ففي الولايات المتحدة الأمريكية يعني هذا المصطلح مادتين أو أكثر مزجتا مع بعض، وفي بعض البلدان الأخرى تعني الأسمدة المركبة والمشكلة بواسطة الخلط الميكانيكي بدون تفاعلات كيميائية. وهذه الأسمدة تحوي أكثر من عنصر غذائي ناتجة عن خلط عدد من الأسمدة الصرفة أو المركبة وبنسب محددة وثابتة. كما تعرف الأسمدة المخلوطة Blended Fertilize وهي خليط فيزيائي بسيط من المواد السمادية الجافة، ومحتويات الأسمدة الخليطة يمكن أن تكون مواد منفردة مثل اليوريا أو كلوريد البوتاسيوم، ويمكن أن تكون مواد محببة لأسمدة مركبة خلطت معاً، أو يمكن أن تكون من الاثنين معاً، في الأسمدة المخلوطة الجزئية المنفردة تبقى منفصلة في الخليط. وتسمح الأسمدة الخليطة بمدى واسع من الدرجات والرتب السمادية أن تستعمل لجعلها من الممكن أن تكون سماداً ملبياً لتوصيات تحليل التربة.

3-1-12- الأسمدة المركبة Complex Fertilizer: هذا المصطلح في بعض البلدان يعني الأسمدة المركبة المشكلة نتيجة لمزج عناصر ومكونات تتفاعل كيميائياً. وبعض المؤلفين يستعملون هذا المصطلح فقط لفوسفات الأمونيوم ولنتروفوسفات.

3-1-13- السمد التركيبي Synthetic Fertilizer: وهو سماد ذو نوعية ممتازة ومواصفات عالية مثل أسمدة المخلبيات Chelates التي تستعمل مع العناصر المغذية الصغرى مثل Zn-DTPA ، Fe-EDDHA ، Fe-EDTA.

3-1-14- الأسمدة المعدنية (الكيميائية) أو غير العضوية Mineral or Chemcal or inorganic fertilizers: هي مجموعة الأسمدة التي تتكون من أملاح العناصر الغذائية الضرورية لتغذية النبات، ولا تحتوي على الكربون العضوي أو تحتويه بنسب أقل من الحد المسموح به في الأسمدة العضوية. كما يمكن تعريفها بأنها المنتج المصنع الحاوي على عنصر مغذٍ واحد أو أكثر من العناصر الأولية. وإن عملية التصنيع عادة تتضمن وتشمل تفاعلات

كيميائية يمكن أن تتكون من تكرير وتنقية وعمليات فيزيائية أخرى لمواد موجودة في الطبيعة مثل أملاح البوتاسيوم ونترات الصوديوم. وفي بعض البلدان فإن مصطلح الأسمدة الكيميائية أو المعدنية أو الأسمدة غير العضوية، يستخدم لتمييز المنتج المصنع من المادة العضوية الطبيعية للنبات أو الحيوان حيث أن الأخيرة تدعى بالأسمدة العضوية. والسماذ الكيميائي (Chemical fertilizers) من الممكن أن يكون طبيعياً أو صناعياً. علماً أنه توجد بعض الأسمدة المعدنية على شكل مركبات عضوية مثل اليوريا إلا أنها ليست مركبات طبيعية بل تصنيعية.

3-1-15- السماذ الكيميائي (المعدني) الطبيعي (Natural inorganic fertilizers): يضم المواد مثل (Chilean nitrate) هو نترات الصوديوم (NaNO_3) ويعرف أيضاً نترات الصودا الطبيعية (Natural Nitrate of Soda) ويرمز له (NNS) وهو يستخرج من مناجمه في صحراء شمال شيلي وهذه المناجم هي الترسبات الوحيدة لهذا الملح المعدني في العالم. ومن المواد أيضاً الصخور الفوسفاتية (Rock phosphate).

3-1-16- السماذ الكيميائي الصناعي (Syuthetic inorganic fertilizers): مواد مصنعة مثل اليوريا وكبريتات الأمونيوم وفوسفات الأمونيوم والسوبر فوسفات، وتوجد هذه الأسمدة بتراكيب ونسب مختلفة. والسماذ المصنع يحتوي على عنصر مغذي واحد أو أكثر من العناصر الأولية، إن عملية التصنيع عادة تتضمن وتشمل تفاعلات كيميائية، وفي بعض البلدان فإن مصطلح الأسمدة الكيميائية، أو الأسمدة المعدنية أو الأسمدة غير العضوية، يستخدم لتمييز المنتج المصنع من المادة العضوية الطبيعية للنبات أو الحيوان حيث إن الأخيرة تدعى بالأسمدة العضوية.

3-1-17- العناصر على ملصق الأسمدة (Nutrients on fertilizers label): العناصر يرمز لها على ملصق الأسمدة الموجود على العبوة السماذية للنتروجين (N) والفوسفور (P_2O_5) والبوتاسيوم (K_2O)، وهذه تعرف بصورة الأوكسيد لكل من الفوسفور والبوتاسيوم، وفي بعض الحالات العناصر ربما يرمز لها في كلا الصورتين.

3-1-18- الدرجة أو الرتبة (تحليل) (Fertilizer grade or analysis): إن درجة السماذ هو محتواه من المواد المغذية و المعبر عنها بنسب مئوية للوزن من N و P_2O_5 و K_2O . ومثال على ذلك، فإن الدرجة (10-15-18) تدل على أن السماذ يحتوي على 18% K_2O و 15% P_2O_5 و 10% N. وقد يعبر عن الدرجة استناداً على أساس نسبة العناصر وليس أكاسيدها، وفي هذه الحالة فإن الدرجة (10-15-18) سوف تصبح (10-6.5-14.9). الأعداد التي تمثل الدرجة يفصلها عن بعضها شارحة (hyphens)، وتدرج دائماً بالتسلسل N, P, K. مثال: ملصق على عبوة سماذية درجة السماذ 0-28-28 هذا يعني أن 100 كغ من السماذ تحتوي 28 كغ نتروجين و 28 كغ فوسفور ولا يحتوي السماذ بوتاسيوم. معظم دول العالم

تستخدم نظام الثلاثة أرقام للتعليم والذي يوضح محتوى N,P,K وفي التسلسل والصورة (N, P₂O₅, K₂O) والأرقام الثلاث في هذا النظام ترمز لنسبة العناصر، ومثال على ذلك فإن السماد 12-24-12 يحتوي (12%N, 24% P₂O₅, 12% K₂O). وأن 200 كغ من 12-24-12 تحتوي 24 كغ N و 48 كغ P₂O₅ و 24 كغ K₂O. ولمقارنة (N-P₂O₅-K₂O) مع N-P-K، فإن علامة N-P₂O₅-K₂O هي نظام تقليدي موروث (Traditional) يعود إلى القرن التاسع عشر عند أول ظهور للأسمدة الكيميائية المتطورة. المحتوى N-P قدر بحرق (Oxidizing) السماد ومن ثم يقاس P₂O₅ الناتج ويسمى حامض الفوسفوريك أو خامس أكسيد الفوسفور (phosphorus pentoxide) و K₂O يسمى البوتاس (Potash) أو أكسيد البوتاسيوم (potassium oxide). إن نظام العلامات (N-P₂O₅-K₂O) يسمى بصورة الأكاسيد، وفي الوقت الحاضر القليل من الدول قد تحولت إلى صورة العنصر (N,P,K) في الرمز لمحتوى السماد من المغذيات ولمستواها. وفي بعض الحالات يعطي المصنق درجة السماد بصورتي العنصر و الأوكسيد. إن مجموع نسب العناصر الثلاثة (N-P₂O₅-K₂O) في السماد لا تساوي 100 بل ولا تقترب منها، والسبب الرئيسي لذلك هو أن العناصر (N, P, K) يجب أن ترتبط مع بعضها بوساطة حامل (carrier) كان يكون الكبريت أو الكالسيوم أو الأوكسجين أو الهيدروجين لتصبح ثابتة (stable) وسهلة الاستعمال (usable). والسبب الآخر هو أن بعض الأسمدة تحتوي مادة مألثة مثل الرمل، وكذلك قد يضاف مادة محسنة (conditionning agents) لتحسين نوعية تداول السماد. إن تحليل السماد تعبر عن النسبة المئوية لكل من النيتروجين (N)، والفوسفور في صورة (P₂O₅)، والبوتاسيوم في صورة (K₂O) في السماد المركب، ويعبر عنها بثلاثة أرقام، مثل (5-10-5) NPK: حيث تشير الأرقام إلى النسب المئوية لكل من النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم في السماد على التوالي، وقد يوجد أحياناً رقم رابع يشير إلى النسبة المئوية للمغنيسيوم في صورة (Mg O) مع عناصر صغرى إليها مثل (الحديد- زنك- منجنيز- نحاس- بورون- موليدنم) وقد تكون هذه العناصر في صورة مخليبية أو غير مخليبية. والسماد المركب قد يكون ذا تحليل منخفض إذا كان مجموع النسب المئوية لعناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم به 20% أو أقل، وقد يكون ذا تحليل مرتفع إذا زاد مجموع هذه النسب عن 50%. التعبير عن محتوى الأسمدة النيتروجينية من النيتروجين كان ولا يزال N أما الأسمدة الفوسفاتية فيعبر عن المحتوى أما P أو P₂O₅ وعن محتوى البوتاسيوم في الأسمدة البوتاسية أما K أو K₂O والاصح هو التعبير بشكل N و P و K وفي كل الأحوال التحويلات من صيغة إلى أخرى كما موضح ادناه وهذه القيم ناتجة من الأوزان الذرية والجزئية (الجدول 3-1).

جدول (1-3): معامل تحويل العناصر إلى صورة أكاسيد وبالعكس

من	الى	عامل التحويل	من	الى	عامل التحويل
Ca	CaO	1.4	CaO	Ca	0.714
P	P ₂ O ₅	2.291	P ₂ O ₅	P	0.436
N	NO ₃	4.43	NO ₃	N	0.226
N	NH ₄	1.286	NH ₄	N	0.778
N	NH ₃	1.214	NH ₃	N	0.824
K	K ₂ O	1.21	K ₂ O	K	0.83
Mg	MgO	1.5	MgO	Mg	0.667
S	SO ₄	3.667	SO ₄	S	0.273

3-1-19- نسبة السماد (Fertilizer ratio): هي النسبة المئوية لوزن العناصر N-P₂O₅-K₂O وتحسب بقسمة الأرقام على أصغر رقم فيها. ومثال على ذلك استعمال السماد 10-20-10، فبالنسبة للسماد هي (10/10-20/10-10/10) = (1-2-1). الوزن المتساوي المعطى يمكن أن يحتوي على كميات مختلفة من العناصر الحقيقية المغذية للنبات. ومثال ذلك 100 كغ من 10-30-10 تحتوي على 10 كغ و 30 كغ و 10 كغ و 7 كغ، بينما 100 كغ من سماد 7-21-7 تحتوي على 7 كغ و 21 كغ و 7 كغ و 1 كغ، ونلاحظ أن السمادين يضمنان ذات النسبة 1-3-1 ولكن يحتويان على درجة سماد مختلفة (10-30-10) مقارنة مع (7-21-7). إذن الكمية الكلية للسماد المراد تجهيزه لتغذية النبات تختلف. وفهم النسبة مفيد جداً عندما نحاول اختيار السماد الذي يتلاءم مع التوصية السمادية بعد تحليل التربة. ومثال ذلك إذا كان تحليل التربة قد أوصى إضافة 30 كغ N و 60 كغ P₂O₅ و 30 كغ K₂O لكل هكتار، فإن النسبة في هذه التوصية هي 1:2:1، وهذا يعني بأن أي سماد يحمل هذه النسبة يمكن استعماله لتجهيز المطلوب من العناصر من التوصية السمادية بالكمية الصحيحة مثل إضافة 300 كغ/هـ من السماد ذي الدرجة 10-20-10 أو 250 كغ/هـ من السماد 12-24-12. ومن هنا نسبة السماد تعني نسبة العناصر السمادية الثلاثة (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم) إلى بعضها البعض في السماد المركب، فمثلاً عندما يكون تحليل السماد 5-10-5 تكون نسبته السمادية 1-2-1. وتتوقف النسبة السمادية التي يوصى بها على العوامل التالية: مرحلة نمو النبات (نمو خضري-زهري-ثمري) أو بداية الزراعة (مرحلة نمو الجذور وبداية النمو الخضري)، نوع المحصول المزروع: حيث تزيد نسبة الأزوت للمحاصيل الورقية، ونسبة الفوسفور والبوتاسيوم للمحاصيل الثمرية، ونسبة البوتاسيوم للمحاصيل الجذرية والورقية والثمرية والدرنية، طبيعة التربة: تزيد نسبة البوتاسيوم في الأراضي الرملية، وتزيد نسبة الفوسفور في الأراضي الثقيلة، وتقل نسبة الأزوت في الأراضي العضوية، كمية ونوع

الأسمدة المستخدمة: تجب مراعاة زيادة نسبة النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم عندما تكون الأرض حديثة العهد بالتسميد، أي لم يسبق تسميدها كثيراً من قبل، وكذلك عند استعمال الأسمدة العضوية (الأراضي الجديدة).

3-1-20- الأسمدة المحببة (Granular Fertilizer): هي أسمدة تأخذ شكل ذرات أو دقائق أو حبيبات وتقدر أبعادها من 1-4 مم وبشكل عام إن مصطلح (حبيبية) لا يشير إلى معنى خاص بتحضير المادة وفق حجم معين. فالحجم المرغوب به يمكن أن يستحصل عليه إما بتكتيل الدقائق الصغيرة مع بعضها ثم غربلتها، أو عن طريق الضبط والتحكم في أثناء عملية التبلور، أو عن طريق فصل الحجوم المختلفة للمادة المطحونة أو بأية طريقة أخرى.

3-1-21- الأسمدة غير الحبيبية أو البودرة (Non Granular Fertilizer): هي أسمدة تحتوي على دقائق ناعمة ودقيقة جداً مع دقائق خشنة أبعادها لا تزيد عن 3 مم.

3-1-22- الأسمدة المكورة Periled Fertilizer: هي نوع من الأسمدة لها شكل قريب من الكروي وتنتج من تصلب القطرات الصغيرة الحرة المتساقطة في برج التجفيف.

3-1-23- الأسمدة المغلفة المغلفة (Coated Fertilizer): هي الأسمدة الحبيبية التي غلّقت وغطيت بغطاء رقيق من مادة ما مثل الطين، وذلك لمنع التجبّل والتكتل وللتحكم بدرجة الذوبان.

3-1-24- الأسمدة المحسنة (Conditioned Fertilizers): هي الأسمدة التي تعامل بمواد إضافية، وذلك لتحسين حالتها الفيزيائية ولمنع التجبّل والتكتل، وهذه المواد المضافة قد تستعمل كقشرة تغطية، أو متحدة ومندمجة مع السماد.

3-1-25- الأسمدة البينية Intermediate Fertilizer: يمكن أن نصنف ضمن هذا التعريف، الأمونيا، وحمض الفوسفور، والتي تهدف من ورائها إلى عمليات أخرى إضافية، ومعظم هذه المواد البينية يمكن أن تستعمل مباشرة كأسمدة. فالأمونيا مثلاً يمكن أن تستعمل مباشرة كسماد، أو أن تستعمل كمادة أولية لصناعة اليوريا ونترات الأمونيوم... الخ.

3-1-26- الأسمدة الدكمة Bulk Fertilizer: هي الأسمدة السائبة غير المعبأة في أكياس أو غيرها.

3-1-27- الأسمدة الدكمة الممزوجة Bulk-blend Fertilizer: هي الأسمدة المكونة من حبيبات ذات أحجام متشابهة لنوعين أو أكثر من الأسمدة والتي تخلط مع بعضها البعض لتشكل سماداً مركباً.

3-1-28- السماد السائل Liquid Fertilizer: وهو نوع من الأسمدة المذابة بالماء ويشترط بالأسمدة المستخدمة لهذا الغرض ان تكون ذاتية بشكل تام بالماء وخالية من الشوائب. السماد السائل يستعمل إما رشاً بشكل مباشر على الأوراق أو يضاف مع مياه الري (الري المسمد أو

الرسمة (Fertigation). وقد تسمى الأسمدة المحلولة Solution Fertilizer هي أسمدة سائلة ذائبة كلياً في المحلول ولا تحوي على مواد غير ذائبة.

3-1-29- السماد المعلق Suspension Fertilizer: هو سماد أو مائع يحوي على أجسام صلبة معلقة في سائل، وقد تكون الأجسام الصلبة مواد قابلة أو غير قابلة للانحلال في الماء.

3-1-30- الأسمدة السائلة المائعة Liquid Or Fluid Fertilizer: هو مصطلح عام يشمل الأسمدة سواء كانت كلياً ذائبة أو جزئياً في المحلول. وبناء على هذا التعريف: يعتبر السماد سائلاً إذا كان ذائباً كلياً على شكل محلول رائق، أو إذا كان على شكل سائل يحوي جسم صلب معلق. ويمكن أن تكون منفردة مثل الأسمدة النتروجينية، أو أسمدة مركبة ذات الدرجات السمادية المختلفة.

3-1-31- المحاليل الرائقة النقية clear solutions: في هذه المحاليل تكون العناصر قابلة للذوبان بالكامل في الماء، ومن إيجابياتها أنها سهلة الاستعمال ودرجة ذوبان الفوسفور فيها عالية في الماء، ومن سلبياتها أن عملية تحليلها لمكوناتها تكون منخفضة نسبياً وخاصة عندما تحتوي البوتاسيوم، فضلاً عن أن تكلفة وحدة العناصر منها بشكل عام مرتفعة.

3-1-32- المحاليل المعلقة Suspension solutions وهي سائلة وفيها ذوبانية المركبات عالية جداً، ويمكن تشكيل المحاليل المعلقة بمكونات أعلى بكثير من مكونات المحاليل الرائقة، إلا أنها تحتاج إلى إثارة ورج دائم حتى عند التخزين.

3-1-33- الاسمدة ذات التأثير الحامضي او القاعدي: Acidity or Alkalinity Producing Fertilizers: الأسمدة تكون إما ذات تأثير قاعدي أو حامضي أو متعادل في التربة. فسماد كبريتات الأمونيوم مثلاً يكون تأثيرها حامضياً واليوريا تأثيرها النهائي حامضي على الرغم من رفعها لدرجة تفاعل التربة في البداية وأسمدة النترات عموماً تكون ذات تأثير متعادل إلى قاعدي. ومع أن التغيير في درجة تفاعل التربة غير كبير أحياناً بسبب القابلية التنظيمية العالية للتربة أو ما تسمى بالسعة البفرية إلا أن هذا التغيير مهم حتى لو كان مؤقتاً وفي منطقة المحيط الجذري (الرايزوسفير).

3-1-34- مادة الحشو (المالئة) Filler: هي المادة التي تحقق الوزن المطلوب للسماد الخليط عند إضافتها له، ومواد الحشو مواد خاملة مثل الرمل وغبار النشر وغيرها تضاف لتكملة الوزن للسماد بالطن.

3-1-35- السماد الحيوي Bio Fertilizer: السماد الذي يرتبط باللقاحات الحيوية والمستخلصات النباتية أو بتعبير آخر السماد الذي يعتمد الأحياء المجهرية مثل بكتريا الرايزوبيا والخيوط الفطرية (المايكورايزا).

3-1-36- الاستعمال الأساسي للجوهري للأسمدة Basal Application:

تستعمل الأسمدة لتزويد النبات بجزء أو كل من حاجاته خلال فترة نموه. والأسمدة يمكن أن تستعمل قبل الفلاحة (الزراعة) أو خلالها أو المشاتل.

3-1-37- الاستعمال المباشر Direct Application : هذا المصطلح يشير إلى استعمال

مادة أولية مثل الأمونيا، أو خامية مثل الفوسفات الخام كسماد بدون أية عمليات أخرى إضافية، أو استعمال الأسمدة الصرفة (غير الممزوجة) مثل ثلاثي سوبر فوسفات أو اليوريا لوحدها مباشرة ودون استعمالها مع الأسمدة المركبة.

3-1-38- توزيع الأسمدة Fertilizer Distribution: وهو مصطلح عام يخص عمليات

النقل والتخزين والتسويق للأسمدة، بما في ذلك كل العمليات التي تجري بعد خروج السماد من المصنع وقبل وصوله إلى المزرعة.

3-1-39- تطبيقات الأسمدة Fertilizer Application: هو مصطلح عام يشير إلى حالة

وضع السماد في أو على التربة في أية واحدة من النماذج والأنماط المتعددة.

3-1-40- مادة الأسمدة المحببة Granulated Fertilizer Materials: مواد صلبة

خليطة من أسمدة متجانسة تنتج بشكل رئيس في منظومات أو مصانع تحبيب الأمونيوم من خلال خلط مواد أولية أو دمجها. المواد المحببة هي رتب أو درجات من N-P أو N-P-K كل جزيئة سماد منتظمة الحجم تحتوي على كل العناصر المذكورة في درجة السماد. وهي متجانسة ولا يوجد فصل بين العناصر المضافة في المعالجة اليدوية والنقل والاستعمال والنشر والتوزيع وفي امتصاص جذور النبات لها كمجموعة كاملة.

3-1-41- العنصر المتاح Avalibility elmeant: ويسمى أيضاً المتيسر أو القابل للإفادة

أو الصالح أو الجاهز، وهو يمثل مجموع صور العنصر في التربة التي يستطع النبات الاستفادة منها وله القدرة على امتصاصها. وغالباً تشمل هذه الصور الشكل الذائب في محلول التربة، و الشكل المدمص القابل للتبادل على سطح غرويات التربة.

اختصارات الأسمدة: وهي عبارة عن أحرف لاتينية تدل على نوع السماد، وهذه الاختصارات مبينة في (الجدول 3-2).

الجدول (2-3): اختصارات الاسمدة

اختصارات الاسمدة		
تحليل أو درجة السماد	الاختصار	اسم السماد
% 34-33	AN	نترات الأمونيوم Ammonium nitrate
30-10-0 to 18-36-0	ANL	نترات الأمونيوم الكلسية Ammonium nitrate Limestone
20.5-28% N	APN	نترات فوسفات الأمونيوم Ammonium Phosphate nitrate
16-20-0	APS	سلفات فوسفات الأمونيوم Ammonium Phosphate Sulfate
21% N	AS	سلفات الأمونيوم Ammonium Sulfate
26%N	ASN	نترات سلفات الأمونيوم Ammonium Sulfate nitrate
15% N	CNa	نترات الكالسيوم Calcium nitrate
20.5-28% N	CAN	نترات الأمونيوم الجيرية Ammonium nitrate Calcium carbonate
18-46-0	DAP	ثنائي فوسفات الأمونيوم Di ammonium Phosphate
11-55-0	MAP	أحادي فوسفات الأمونيوم Mono ammonium Phosphate
60-62% K ₂ O	MOP	كلوريد البوتاسيوم Muriate of potash (potassium chloride)
50 % K ₂ O	SOP	سلفات البوتاسيوم Sulfate of potash (Potassium Sulfate)
16-20% P ₂ O ₅	SSP	سوبر فوسفات عادي Single Superphosphate
44-48% P ₂ O ₅	TSP	سوبر فوسفات ثلاثي Triplesuperphosphate
45-46% N	U	اليوريا Urea
28-32% N	UAN	يوريا نترات الأمونيوم Urea ammonium nitrate (Solution)
10-34-0	APP	أمونيا الفوسفات المتعددة Ammonium Polyphosphate (Solution)
0-55-37	KMP	ميتا فوسفات البوتاسيوم Potassium meta phosphate
See NK, MKP	KP	فوسفات البوتاسيوم Potassium phosphate
0-47-31	MKP	أحادي فوسفات البوتاسيوم Monopotassium phosphate
13-44-0	NK	نترات البوتاسيوم Potassium nitrate

المصدر: كاخيا، كتيب الاسمدة

الفصل-3- الباب-2- الصفات الفيزيائية والكيميائية للأسمدة

Physical and chemical properties of fertilizers

3-2-1- الصفات الفيزيائية للأسمدة

:physical properties of fertilizers

3-2-1-1- امتصاص الرطوبة والاحتفاظ بها **Hygroscopicity**: كل الأسمدة بدرجة عالية أو منخفضة تمتص وتحتفظ بالرطوبة، وبعض الأسمدة تمتص الرطوبة عند الدرجات المنخفضة من الرطوبة النسبية للهواء أكثر من غيرها، وامتصاص السماد للرطوبة يحصل عندما يزيد ضغط بخار الماء في الهواء عن ضغط بخار الماء للسماد. يؤثر امتصاص الرطوبة في أثناء النقل والتخزين سلباً في الصفات النوعية للأسمدة، حيث تصبح الجزيئات ناعمة الملمس ولزجة وتزداد قابليتها للتكتل ويزداد حجم الجزيئات وتبدأ بالتكسر وتقل متانتها وشدة تحملها ويتغير لونها، كما يتكون الغبار وتزداد الدقائق الناعمة، ويضاف إلى ذلك فقدان نترات الأمونيوم، وتتأثر نوعية الانتشار سلباً حيث تعمل على انسداد الأجهزة، وتصبح الأجهزة والأسمدة خارج المواصفات، ويكون خليط السماد أكثر احتفاظاً بالرطوبة من السماد المفرد.

3-2-1-2- التكتل أو التحجر (**Caking**): تتكلس وتتلبد معظم الأسمدة خلال عملية التخزين. وهذا التكتل يتشكل نتيجة تكون جسور بلورية قوية وقوى لصق بين الحبيبات، وتتشرك العديد من الميكانيكيات في تكتل الحبيبات والمهمة منها هي التفاعلات الكيميائية في المنتج النهائي، وتحلل وتفكك وإعادة تبلور للأملاح السماد على سطح الجزيئات وقوى اللصق الشعرية بين السطوح. ويتأثر تكتل حبيبات السماد بعدة عوامل منها رطوبة الهواء، الحرارة وضغط المحيط الخارجي، ومحتوى السماد من الرطوبة، وشكل الجزيئات ومتانتها. والتركيب الكيميائي للسماد ومدة التخزين. ميل السماد ونزاعته إلى التكتل تبقى منخفضة إذا كانت هذه العوامل تحت السيطرة، فضلاً عن ذلك هناك الحاجة في كثير من الأوقات لإضافة المواد المانعة للتكتل. ونجد أن هناك ميلاً قليلاً لبعض الأسمدة للتكتل ومنها سماد نترات الكالسيوم، لكن الميل يكون كبير في بعض الأسمدة ومنها نترات الأمونيوم واليوريا. ويؤدي تغليف الأسمدة إلى خفض معدل امتصاص السماد للماء.

3-2-1-3- شكل الجزيئات والتوزيع الحجمي (**Particle shape and size distribution**)

(**distribution**): إما أن تكون حبيبات السماد ذات سطح ناعم وزجاجي أو أن تكون ذات سطح خشن بدرجات مختلفة. كما أن لون سطح الجزيئات يمكن أن يكون مختلفاً تبعاً للمواد الخام المستعملة في التصنيع أو تعود إلى الصبغات المعدنية أو العضوية المضافة لتلوين الجزيئات. إن التوزيع الجزيئي مهم في انتشار الصفات وعزل الميول للانفصال الحبيبي. و

بشكل خاص إذا كان المكون يتألف من عدة مخاليط. كما أن حجم جزيئات مواد الأسمدة له أهمية في الظروف الحقلية وأثناء النقل والتخزين و الاستخدام، وحقلياً حجم جزيئات المواد قليلة الذوبان مثل الصخور الفوسفاتية يكون عاملاً محدداً وحرماً للعمليات الحقلية وكذلك لسهولة التعامل مع السماد، حيث أن هذه المواد يجب أن تتعم بدرجة كبيرة جداً حتى نضمن ذوبانيتها، أما بالنسبة لمعظم الأسمدة القابلة للذوبان وجود المواد الناعمة جداً والتي في أكثر من الأحيان تكون بشكل غبار يمكن أن تتعجن، وبالتالي يكون التعامل معها صعباً. ولهذا تكون للمواد المحببة أحجام معينة لتجنب مثل هذه المشكلات وتحفيز عملية التعامل الملائمة. وبما أنه لا يوجد حجم قياسي ومحدد لجزيئات السماد، فإن معظم جزيئات السماد قد وضع لها حجم يجب أن يمر عبر منخل 6 وبقيد العبور عند المنخل 18. كما أن حجم الجزيئات يكون عاملاً محدداً وحرماً للمواد التي تستخدم في نواتج عملية مزج الأسمدة، لأن الأحجام المختلفة المراد مزجها يحدث لها انفصال وانعزال عند استعمال السماد و نقله أو نشره في الحقل.

3-2-1-4- متانة وقوة الجزيئة والمقاومة الميكانيكية (mechanical particle)

strength and resistance : قوة ومتانة السحق لجزيئات السماد تختلف بشكل كبير بين الأسمدة اعتماداً على التركيب الكيميائي للسماد، و امتصاص الماء له تأثير في معظم الأسمدة، حيث إن الجزيئات يمكن أن تصبح لزجة وتتجه نحو الثقفت. وتعرف المقاومة الميكانيكية للسماد بأنها قدرة السماد على مقاومة الشدود التي تسلط عليه، والمقاومة الميكانيكية تعتمد على تركيب السطح ومتانة الجزيئة.

3-2-1-5- تكوين الغبار (Dust formation): الكمية الكبيرة من غبار السماد تسبب

عدم الارتياح في موقع العمل، ولهذا في معظم البلاد قد منع قانوناً تصاعد غبار الأسمدة في أثناء القيام بعمليات التصنيع و النقل والتحضير والتجهيز.

3-2-1-6- الكثافة الظاهرية (Bulk density): الكثافة الظاهرية أو وزن الحجم كع/م³

تختلف بين أنواع الأسمدة. والاختلافات في التوزيع الجزيئي نتيجة الانفصال تؤثر في الكثافة الظاهرية ومن أجل الانتشار الميكانيكي من المهم أن يكون الاختلاف قليلاً.

3-2-1-7- التوافق (Compatibility) الفيزيائي و الكيميائي: التوافق يعود إلى خلط

مختلف الأسمدة، وإلى التلوث المتبادل، وغيرها من المشكلات في الأمان، و النوعية مثل التكتل وتكون الغبار وفقدان المقاومة الحرارة كما في حالة نترات الأمونيوم.

3-2-2- الصفات الكيميائية للأسمدة

Chemical properties of fertilizers

1- الذوبانية (Solubility): الذوبانية يقصد بها مدى سرعة ذوبانية العناصر الغذائية في محلول التربة وامتصاص النبات له. وبما أن عنصري النتروجين والبوتاسيوم في السماد يذوبان في الماء بشكل كامل فإن ذوبانيتها ليست محط اعتبار لمصادر الأسمدة المعروفة، فقط الفوسفور هو مجال البحث والدراسة بالنسبة للذوبانية (الجدول 3-3)، حيث أن ذوبانية الفوسفور يمكن أن تختلف من 0-100%. وبشكل عام كلما ارتفعت نسبة الذوبانية ارتفعت درجة تأثير المصادر الفوسفاتية على المحاصيل ذات فصل النمو القصير والمحاصيل ذات النظام الجذري قليل الانتشار وكذلك المحاصيل سريعة النمو. ومعظم الأسمدة الفوسفاتية ذات درجة ذوبانية عالية في الماء ماعدا الصخور الفوسفاتية الأولية فهي منخفضة الذوبانية في الماء. وتجدر الإشارة إلى أن الفوسفور الذي يذوب في سترات الأمونيوم يعد فوسفوراً متاحاً للنبات.

الجدول (3-3): ذوبانية الأسمدة في الماء

السماد	عدد أجزاء السماد التي يمكن إذابتها في 100 جزء ماء	السماد	عدد أجزاء السماد التي يمكن إذابتها في 100 جزء ماء
1	البوراكس	118	نترات الأمونيوم
60	كلوريد الكالسيوم	71	سلفات الأمونيوم
0 غير ذواب	أكسيد النحاس	يتحلل	سيناميد الكالسيوم
22	كبريتات النحاس	102	نترات الكالسيوم
29	كبريتات الحديد	23	فوسفات الأمونيوم الأحادية
71	كبريتات المغنيسيوم	43	فوسفات الأمونيوم الثنائية
105	كبريتات المنجنيز	73	نترات الصوديوم
36	كلوريد الصوديوم	13	نترات البوتاسيوم
56	مولبيدات الصوديوم	2	السوبر فوسفات العادي
75	كبريتات الزنك	4	السوبر فوسفات الثلاثي
يتحلل	مولبيدات الأمونيوم	78	اليوريا

المصدر: حسن، 1998 (تكنولوجيا إنتاج الخضار)

2- الأسمدة ودرجة تفاعل التربة: معظم الأسمدة التي تذوب في الماء تغير درجة تفاعل التربة عند الإضافة، قسم يجعلها حامضية، والآخر يجعلها قاعدية خفيفة، الجهد الحامضي أو

القاعدي يعتمد كأساس له كربونات الكالسيوم (الوحدة المستعملة هي باوند مكافئ كربونات الكالسيوم/طن سماد).

تأثير السماد في درجة تفاعل وسط النمو يقدر بواسطة العناصر الغذائية التي يحتويها السماد (خاصة النتروجين) ويعتمد أيضاً على التفاعلات التي تحدث بعد إضافة السماد للتربة، وعموماً نسبة النترات/ الأمونيوم في السماد تحدد معدل التغير في pH الوسط. حيث أن أسمدة الامونيوم تكون حامضية تعمل على خفض pH الوسط، بينما أسمدة النترات تكون قاعدية التأثير تعمل على رفع pH الوسط. كما أن درجة تفاعل pH التربة يمكن أن تتغير بواسطة تفاعل مواد السماد، والتفاعل الأهم هو أكسدة الأمونيوم إلى نترات بواسطة البكتريا. وهذا التفاعل يحصل بغض النظر عن مصدر الأمونيوم، ويمكن ان تعالج حموضة السماد اعتيادياً بإضافة مادة الكلس النقي لإعاقة الحموضة التي تنتج من تفاعل السماد في التربة. ويمكن تقسيم الأسمدة من حيث تأثيرها على pH التربة إلى ثلاثة أقسام كالتالي:

- أسمدة ليس لها تأثير على pH التربة، أي أنها متعادلة.
- أسمدة ذات تأثير حامضي.
- أسمدة ذات تأثير قاعدي.

ويوضح الجدول (3-4) أنواع هذه الأسمدة وكمية كربونات الكالسيوم اللازمة لمعادلة التأثير المماثل الذي يحدثه 100 كغ من السماد في درجة تفاعل التربة. هذا ويجب ألا تكون المفاضلة بين الأسمدة قائمة على أساس التأثير المطلق للأسمدة على حموضة التربة، وإنما على أساس التأثير الحامضي أو القلوي لكل وحدة سمادية (1% من الطن، أو 10 كغ).

للأسمدة التي تذوب بالماء إما تأثير حامضي أو قاعدي في وسط النمو. ولا يمكن معرفة وتحديد كيفية تفاعل السماد وتأثيره في pH الوسط، عن طريق قياس pH السماد السائل المركز في الخزان أو في أنبوب الرش للمرشة. والملصق على عبوة السماد يجب أن يتضمن المعلومات عن تفاعل السماد فيما لو أنه حامضي أو قاعدي باعتماد مكافئ كربونات الكالسيوم (calcium carbonate equivalents) في الطن، والذي يعتبر المقياس النسبي لمقدرة السماد على خفض أو رفع pH الوسط مع الزمن. كذلك معلومات الملصق أيضاً توضح نوعية ونسبة صورة النتروجين في السماد (امونيوم، نترات، يوريا) التي في الكثير من الأحيان هي الدليل الأفضل لحامضية وقاعدية السماد. بشكل عام الامونيوم ذو تفاعل حامضي قوي يخفض pH الوسط. وهذا يسبب امتصاص جذور النبات السريع للأمونيوم وفرز حامض (H^+ ايون). والبكتريا في الوسط تحول الامونيوم إلى نترات وتحرر حامض أيضاً (ايونات الهيدروجين المولدة للحموضة). اليوريا أيضاً تخفض من pH الوسط ولكن بدرجة أقل مما هو عليه مع الأمونيوم. من الضروري أن ندرك بأن الأمونيوم واليوريا في الظروف الباردة والرطوبة تكون أقل تأثيراً في درجة تفاعل

الوسط وقد تصبح سامة. أما النترات فلها تأثير قلوي (منخفض - متوسط) في pH الوسط، حيث النترات ترفع درجة التفاعل فقط عندما تمتصها الجذور وبهذا فان تجهيز النباتات الصغيرة أو الواقعة تحت شد غذائي بالنترات سيكون له تأثير قليل في pH الوسط.

جدول (3-4): أنواع هذه الأسمدة وكمية كربونات الكالسيوم اللازمة لمعادلة التأثير المماثل الذي يحدثه 100 كغ من السماد في درجة تفاعل التربة.

السماد	نسبة النتروجين بالسماد %N	كمية كربونات الكالسيوم التي تكفي لإحداث تغير في pH مماثل لما يحدثه 100 كغ من السماد
سيامنيد الكالسيوم	22	63
نترات الكالسيوم	15.5	20
نترات البوتاسيوم	13	23
نترات الصوديوم	16	29
نترات الأمونيوم	33.5	60
فوسفات الأمونيوم	11	59
كبريتات الأمونيوم	20.5	110
اليوريا	46.6	84

المصدر: النعيمي، 2019 (المرشد الحسابي والمعرفي لخط الأسمدة السائلة والصلبة)

- ويمكن أن نلخص أهم تأثيرات الأسمدة النيتروجينية في درجة تفاعل التربة في النقاط الآتية:
- كل أسمدة الأمونيوم باستثناء سماد نترات الأمونيوم مع الكلس لها تأثير حامضي تدريجي، وهذا بسبب أن تحول الامونيوم إلى نترات يتحرر عنه أيونات الهيدروجين المولدة للحموضة (H^+) والشيء نفسه مع اليوريا ومعظم أسمدة NP, NPK.
 - أسمدة النترات التي تكون فيها النترات مرتبطة مع قاعدة قوية يكون تأثيرها قاعدياً خفيفاً مثل (calcium nitrate, potassium nitrate, sodium nitrate) .
 - إن الاستمرار باستخدام الأسمدة المولدة للحموضة لعدة سنوات قد يؤدي إلى خفض pH التربة إلى الدرجة التي يتطلب عندها الحاجة إلى إضافة الكلس ما لم تكن التربة شديدة القاعدية. والدرجة التي تنخفض إليها pH تعتمد على كمية السماد المضاف و نوعه وعلى السعة التنظيمية للتربة أي عدد الشحنات السالبة على سطوح غرويات التربة وعلى السعة التبادلية الكاتيونية للتربة. فالترب ذات المحتوى العالي من معادن الطين والمادة العضوية تكون سعتها التنظيمية عالية وتكون أكثر مقاومة لتغير pH التربة من الترب الرملية.
- وبالنسبة للأسمدة لباقي الأسمدة يمكن أن نلخص تأثيرها في pH التربة بالآتي:

- تفاعل مادة السوبر فوسفات تغير من pH التربة بشكل مؤقت حيث يخفض التفاعل الاساس من pH التربة حول جزيئة السماد ولكن التأثير المتبقي residual effect للسوبر فوسفات يغير قليلاً من pH التربة.
- أسمدة البوتاسيوم المنفردة المعروفة هي أملاح ذات تأثير متعادل وليس لها أي تأثير على pH التربة ومنها (potassium chloride, potassium sulfate).

3- الاملاح الذائبة Soluble Salt:

إن ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في محلول التربة يمكن أن يؤدي إلى توقف إنبات البذور، كما أنه يؤثر سلباً على نمو النباتات وقد تموت تحت ظروف الإجهاد المحلي العالي. وتأخذ مشكلة الملوحة مدى أكثر أهمية تحت ظروف المناطق الجافة ونصف الجافة، حيث كمية الأمطار غير كافية لغسيل الأملاح المتراكمة في قطاع التربة. وبما أن الأسمدة في معظمها هي أملاح فمن المتوقع أن تؤثر على ملوحة التربة، لذا فقد تم اعتماد دليل ملوحة الأسمدة (SI) Salt Index. لبيان أثرها على التربة، ويعرف الدليل المحلي للمادة السمادية بأنه نسبة الزيادة في الضغط الأسموزي للمحلول المحلي الناتج عن ملح معين إلى الضغط الأسموزي لذات الوزن من NaNO_3 الذي قيمته النسبية 100 (relative value of 100)، وقد تم اختيار نترات الصوديوم كمقياس أو أساس (standard) كونه 100% يذوب بالماء، وهو سماد نتروجيني معروف وواسع الاستخدام. وفي أدناه قيم دليل الملوحة لبعض الأسمدة المعروفة (الجدول 3-5). إن المحتوى من الأملاح هو أحد الصفات الحرجة للأسمدة التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند إضافتها إلى التربة وخاصة قرب البذور أو في أخاديد (furrow placement)، ودليل الملوحة (SI) Salt Index هو تقدير لتركيز الأملاح التي يحدثها السماد في محلول التربة. إن إضافة الأسمدة كماً ونوعاً يحدد مدى التأثير الذي يمكن أن تحدثه من ناحية الملوحة من خلال رفع الضغط الاسموزي لمحلول التربة، فالأسمدة ذات الدليل المحلي المنخفض عندما تضاف قرب البذور يكون لها تأثير قليل على إنبات البذور (نوع السماد). إلا أن إضافة تراكيز عالية قريباً جداً من البذور أو النباتات النامية أي على شكل حزم أو ملامسة لها قد تسبب ضرراً للنبات (كمية السماد). وبشكل عام فإن الأسمدة في الظروف الطبيعية إذا ما وزعت بشكل منتظم وبالمستويات الموصى بها، لا تنتج أملاحاً ذائبة بتركيز عالية تضر بالنبات.

الجدول (3-5): قيم دليل الملوحة (SI) لبعض الأسمدة المعروفة

دليل الملوحة الجزئي	دليل الملوحة SI	التحليل	نوع السماد	
0.572	47.1	82% N	الأمونيا اللامائية	الأسمدة النتروجينية
1.618	74.4	46% N	اليوريا	
3.252	88.3	21% N, 24% S	سلفات الأمونيوم	
3.059	104	34% N	نترات الأمونيوم	
7.533	90.4	12% N, 26% S	أمونيا ثيو سلفات	
0.39	7.8	20% P ₂ O ₅	سوبر فوسفات	الأسمدة الفوسفاتية
0.224	10.1	45% P ₂ O ₅	تريل سوبر فوسفات	
0.405	26.7	10% N, 50% P ₂ O ₅	أحادي فوسفات الأمونيوم	
0.405	29.2	11% N, 52% P ₂ O ₅	أحادي فوسفات الأمونيوم	
0.456	29.2	18% N, 46% P ₂ O ₅	ثنائي فوسفات الأمونيوم	
1.613	-	54% P ₂ O ₅	حمض الفوسفوريك	
1.754	-	72% P ₂ O ₅	حمض الفوسفوريك	
0.097	8.4	52.2% P ₂ O ₅ , 34.6 K ₂ O	أحادي فوسفات البوتاسيوم	الأسمدة البوتاسية
0.852	42.6	50 % K ₂ O, 18% S	سلفات البوتاسيوم	
2.72	68	25 % K ₂ O, 17% S	ثيو سلفات البوتاسيوم	
1.219	69.5	13% N, 44% K ₂ O	نترات البوتاسيوم	
1.936	116.2	60% K ₂ O	كلوريد البوتاسيوم	
0.17	7.2	-	2-20-20	الأسمدة السائلة الشائعة
0.22	8.5	-	3-18-18	
0.32	11.5	-	6-24-6	
0.3	13.8	-	6-30-10	
0.48	16.7	-	9-18-9	
0.455	20	10% N, 34% P ₂ O ₅	أمونيا بولي فوسفات	
0.79	27.5	-	4-10-10	
2.25	63	39% Ammonium+31 Urea	28% N	
2.221	71.1	44% Ammonium+35 Urea	32 % N	

المصدر: illinois Bulletin, 2010

الفصل 3-3-3- الباب 3- تصنيف الأسمدة Classification of Fertilizers

3-3-1- مقدمة: سوف نحاول ذكر أكثر من تصنيف للأسمدة، نظراً لاختلاف المراجع في معايير التصنيف، وتباين مفاهيم التعبير عن مصطلحات التسميد من بلد آخر، وكذلك بسبب صناعة أسمدة ومستخلصات جديدة، ناهيك عن وجهات النظر التي تعطي مفهوم السماد شمولية، حيث أنها تنظر إلى الأسمدة على أنها مواد تضاف للتربة لتحسين بيئة النمو أو تكملة ما ينقص التربة من عناصر غذائية أو تعويض العناصر المزالة من التربة عن طريق الفقد أو استهلاك النبات لها وذلك لإمداد النبات باحتياجاته من العناصر الغذائية بهدف زيادة نمو النبات وبالتالي زيادة المحصول وتحسين جودته. ويوضح التعريف السابق أن التسميد الأرضي لا يعنى إضافة مواد كمصدر للعناصر الغذائية فقط كما كان يفهم قديماً وهو ما يطلق عليها أسمدة مباشرة Direct Fertilizers ويطلق عليها البعض أسمدة نباتية Plant Fertilizers مثل سلفات النشادر. أما حديثاً فيطلق على أي مادة تحسن بيئة نمو النبات وبالتالي تزيد صلاحية العناصر الموجودة بها أصلاً اسم سماد أو أسمدة غير مباشرة Indirect fertilizers مثل إضافة الجير للأراضي الحامضية لرفع رقم pH الذي يزيد صلاحية المركبات الفوسفاتية غير الذائبة والموجودة بالتربة أصلاً، كذلك إضافة الكبريت إلى التربة القاعدية والذي أيضاً يساعد على زيادة صلاحية الفوسفور والعناصر الصغرى الموجودة بالتربة أصلاً كذلك إضافة الجبس للأراضي القلوية يحسن من صفاتها وبالتالي امتصاص العناصر الغذائية الموجودة بالتربة أو المضافة.

3-3-2- تصنيف الأسمدة:

هناك منظمة عالمية تعنى بتصنيف وتسميات الأسمدة وهذه المنظمة تسمى المنظمة العالمية للتقييس "International organization of standards" وتعنى بالمواصفات الكيميائية للأسمدة والمبيدات، وهناك كتاب يصدر عن هذه المنظمة يدعى الكيمائيات الحقلية Fields Chemicals. وطبقاً للتصنيف الدولي للأسمدة تصنف الاسمدة إلى (علي، 2007):

1- الأسمدة العضوية Organic Fertilizers:

وتشمل جميع المصادر الطبيعية الحاوية على C،H، N،O ولها تقسيمات مختلفة ومنها:

أ- تقسيم الأسمدة العضوية على أساس محتواها من العناصر الغذائية:

- أسمدة النتروجين العضوية: مثل الدم المجفف.
- أسمدة الفوسفور العضوية: مثل العظام.
- أسمدة النتروجين والفوسفور: مثل الدم والعظام.
- أسمدة النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم العضوية: مثل سماد الدواجن.

- ب- التقسيم على أساس الحجم والتأثير في خواص التربة ومن هذه التقسيمات:
- الأسمدة العضوية غير الحجمية: Non Bulky Organic Fertilize: وهي أسمدة ذات تأثير قليل في خواص التربة الفيزيائية ومنها الدم المجفف.
 - الأسمدة العضوية الحجمية Bulky Organic Fertilizers: وهي الأسمدة ذات التأثير الكبير في خواص التربة الفيزيائية ومنها أسمدة الأغنام والدواجن والكومبوست (الأسمدة المتخمرة).
- ت- تصنيف الأسمدة العضوية إلى: أسمدة نباتية وأسمدة حيوانية وأسمدة مخلفات المدن والمصانع.
- 2- الأسمدة الكيميائية Chemical fertilizers: تسمى الأسمدة غير العضوية أو المعدنية أو الصناعية وتكون فيها الأسمدة على هيئة أملاح غير عضوية وتشمل هذه الأسمدة:
- أسمدة النتروجين الصرفة: أسمدة تحوي على النتروجين بكمية محددة ومعلنة وقد تحوي شوائب اقل من 1 % ومن الأمثلة على هذه الأسمدة نترات الأمونيوم ونترات الكالسيوم ونترات الصوديوم وكلوريد الأمونيوم.
 - أسمدة الفوسفور الصرفة: أسمدة تحوي على الفوسفور بكمية محددة ومعلنة وقد تحوي شوائب أقل من 1% ومن الأمثلة على هذه الأسمدة حامض الفسفوريك والسوبر فوسفات الثلاثي والأحادي.
 - أسمدة البوتاسيوم الصرفة: أسمدة تحوي على البوتاسيوم بكمية محددة ومعلنة وقد تحوي شوائب اقل من 1% ومن الأمثلة على هذه الأسمدة كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم.
 - أسمدة النتروجين والفوسفور المركبة: أسمدة تحوي على النتروجين والفسفور ولا تحوي على البوتاسيوم مثل فوسفات أحادي الأمونيوم وفوسفات ثنائي الأمونيوم وفوسفات اليوريا.
 - أسمدة النتروجين و البوتاسيوم المركبة: أسمدة تحوي على النتروجين و البوتاسيوم مثل نترات البوتاسيوم.
 - أسمدة الفوسفور والبوتاسيوم المركبة: أسمدة تحوي على الفوسفور والبوتاسيوم مثل فوسفات أحادي البوتاسيوم وفوسفات ثنائي البوتاسيوم.
 - أسمدة النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم المركبة: مثل سماد K-P-N.
 - أسمدة الكالسيوم أو المغنيزيوم أو الكبريت: وهي أسمدة تحوي على واحد أو أكثر من هذه العناصر المغذية للنبات ولا تحوي على النتروجين أو البوتاسيوم أو الفوسفور مثل كبريتات الكالسيوم أو كبريتات المغنيسيوم أو الكبريت.

• **أسمدة العناصر المغذية الصغرى للنبات:** وهي الأسمدة التي تحوي على العناصر المغذية الصغرى للنبات مثل أسمدة كبريتات الحديد أو كبريتات الزنك أو كبريتات المنغنيز أو الأسمدة التركيبية أو المخليبية.

كما يمكن تصنيف الأسمدة وفق أسس ومعايير مختلفة (النعيمة، 2018؛ الصيرفي والغمري، 2003) وهي:

تبعاً لطريقة التفاعل: أسمدة مباشرة مثل اليوريا وسوبر فوسفات و سلفات بوتاسيوم، أسمدة غير مباشرة : مثل الجير والكبريت والجبس.

تبعاً لنوع المركب الكيميائي: أسمدة عضوية مثل السماد البلدي والكومبوست، أسمدة معدنية مثل الأسمدة النيتروجينية (الأمونيا) و الأسمدة الفوسفاتية (سوبر فوسفات الكالسيوم) و الأسمدة البوتاسية (سلفات بوتاسيوم و كلوريد بوتاسيوم).

تبعاً لسرعة التأثير:

- أسمدة سريعة التأثير: وهي صالحة للامتصاص فور إضافتها للتربة مثل أسمدة NPK.
- أسمدة بطيئة التأثير: وهي صالحة للامتصاص بعد تحولها في التربة مثل الأسمدة بطيئة

الذوبان

تبعاً للكمية التي يحتاجها النبات من العناصر الغذائية:

أسمدة عناصر كبرى مثل (N, P, K, Ca, Mg, S) ، أسمدة عناصر صغرى مثل (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo)

كما يمكن تصنيف الأسمدة الى أنواع كما يلي:

النوع الأول- عدد العناصر الداخلة في تركيب السماد:

أسمدة منفردة Straight Fertilizers، أسمدة خليطة Mix Fertilizers وللمقارنة بشكل سهل بينهما: السماد المنفرد يحتوي على عنصر واحد مثل اليوريا %46 N والسوبر فوسفات الأحادي يحتوي الفوسفور فقط %16 P. أما السماد الخليط فيحتوي على عنصرين مثل ثنائي فوسفات الأمونيوم (%18 N, %46P) .

النوع الثاني- تبعاً لمحتواها من العناصر الكبرى الرئيسية NPK: أسمدة كاملة (Complete

Fertilizers)، أسمدة غير كاملة (Incomplete Fertilizers) وللمقارنة بشكل مبسط السماد

الكامل يحتوي على العناصر الغذائية الرئيسية الثلاثة وهي N,P,K مثل (20-20-20)، أما

السماد غير الكامل فلا يحتوي على العناصر الثلاثة الرئيسية NPK (20-0-0, 12-0-44).

النوع الثالث- تبعاً لمصدر السماد: أسمدة عضوية (Organic Fertilizers)، أسمدة غير

عضوية معدنية (Inorganic Fertilizers) وللمقارنة الأسمدة العضوية مع المعدنية بشكل

ميسر فإن: السماد العضوي مصدره النبات أو مادة حيوانية ويحتوي على مركبات الكربون ومن

مميزات هذه الأسمدة تحرر العناصر الغذائية ببطء، وليست سهلة الغسل من التربة، وتزود وسط النمو بالمركبات العضوية، أما العيوب صعوبة الحصول عليها وغير معقمة، وذات محتوى منخفض من العناصر الغذائية، وباهظة الكلفة. أما الأسمدة المعدنية أي غير العضوية فمصدرها ليس النبات ولا الحيوان بل هي عبارة عن منتجات كيميائية، ومن مميزات أنها ذات محتوى جيد من العناصر الغذائية، ومن السهولة الحصول عليها، ومن عيوبها عدم احتوائها على مواد عضوية.

النوع الرابع-تبعاً لدرجة ذوبانية السماد:

أسمدة ذائبة (Soluble Fertilizers) ، أسمدة غير ذائبة (Insoluble Fertilizers) وللمقارنة بينها فالسماد الذائب يذوب في الماء ويضاف كمحلول سائل مع ماء الري أو بطريقة الحقن بماء الري (Fertigation). أما الأسمدة غير الذائبة فهي تضم الأسمدة المحببة والأسمدة المحررة للعناصر الغذائية ببطء التي تضاف الى وسط النمو للنبات. الأسمدة المحببة غير مكلفة نسبياً ومن السهل الحصول عليها. أما الأسمدة المحررة للعناصر ببطء فهي مكلفة كونها مغلقة ومنتظمة في تحرير العناصر الغذائية لفترة زمنية معينة.

النوع الخامس: تبعاً للحالة الفيزيائية للأسمدة (Physical Forms)

- معظم الأسمدة تكون بصورة حبيبية: وهذا يرمز إلى كونها أسمدة تضاف للتربة، وبعض الأسمدة الحبيبية مثل نترات الأمونيوم واليوريا سهلة الذوبان في الماء ويمكن رشها على النباتات بتراكيز مخففة جداً أو تضاف مع الماء إلى التربة.
- الأسمدة السائلة: بعضها يضاف إلى التربة مثل الأسمدة الحبيبية، لكن في معظمها تحتوي على NPK إضافة إلى العناصر الصغرى، وهذا يرمز إلى كونها أسمدة تضاف إلى النبات بطريقة الرش (application foliar) وهي بشكل عام غالية الكلفة لإرتفاع محتواها من العناصر.
- أسمدة بصورة مسحوق سهلة الذوبان في الماء تحتوي NPK مع أو بدون العناصر الصغرى، وهي أيضاً ترمز إلى كونها أسمدة تضاف إلى النبات بطريقة الرش.

كما أن بعض المراجع تصنف الأسمدة حسب حالتها الفيزيائية إلى:

أسمدة صلبة (محببة و بودرة). أسمدة سائلة (رائقة ومعلقة). أسمدة غازية (مائية ولا مائية).

ويمكن تصنيف الأسمدة تبعاً للمواصفات القياسية:

1- الاسمدة الكيميائية Chemical Fertilizers: وتسمى أيضاً الأسمدة المعدنية أو غير العضوية، وهي مجموعة الأسمدة التي تتكون من ملح أو أملاح العناصر المعدنية الضرورية لتغذية النبات، ويمكن أن تحتوي على عناصر شيلاتية مضافة، ولا تحتوي على الكربون العضوي أو تحتويه بنسب أقل من الحد المسموح به في الأسمدة العضوية. علماً أنه توجد ركببات

عضوية تصنف على أنها أسمدة كيميائية (معدنية) مثل اليوريا وسياميند الكالسيوم، وذلك لكونها تصنع كيميائياً و ليست مركبات طبيعية. وبالمقابل توجد أسمدة طبيعية (توجد بشكل طبيعي على هيئة ترسبات) إلا أنها تصنف كأسمدة معدنية لا أسمدة عضوية مثل نترات تشيلي (نترات الصوديوم) ونترات الكالسيوم وكذلك صخر الفوسفات، وذلك لأن هذه الأسمدة لا تحتوي على الكربون العضوي بل هي عبارة عن مركبات كيميائية.

والأسمدة الكيميائية تقسم تبعاً لتصنيف العناصر الغذائية السمادية إلى:

• أسمدة العناصر الكبرى الرئيسية N,P,K

• أسمدة العناصر الكبرى الثانوية Ca, Mg, S

• أسمدة العناصر الصغرى Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo

وأسمدة العناصر الكبرى تقسم تبعاً لعدد العناصر الكبرى الرئيسية NPK إلى:

• أسمدة بسيطة **Simple Fertilizers**: هي مجموعة الأسمدة التي تحتوي على عنصر سمادي واحد من العناصر السمادية الكبرى الرئيسية N-P-K. وتشمل الأسمدة النتروجينية و الفوسفاتية والبوتاسية.

• أسمدة مركبة **Compound Fertilizers**: هي مجموعة الأسمدة التي تحتوي على أكثر من عنصر سمادي من العناصر السمادية الأساسية الكبرى N-P-K ويمكن أن تحتوي على العناصر الثانوية الكبرى وعناصر صغرى بنسب غير ضارة بالنبات. والأسمدة المركبة هي التي تنتج من الاتحاد الكيميائي أو الخلط الميكانيكي للأسمدة البسيطة.

2- **الأسمدة العضوية Organic Fertilizers**: هي مجموعة الأسمدة التي يدخل في تركيبها الكربون العضوي ويمكن تصنيفها إلى:

• **أسمدة عضوية ذات منشأ حيواني**: وتشمل الأسمدة البلدية (روث حيوانات المزرعة مع الفرشة و زرق الدواجن والطيور).

• **أسمدة عضوية ذات منشأ نباتي**: ويعد البتموس (التورب والخث والتورب المخصب) والكومبوست في حكم هذه الأسمدة.

• **أسمدة عضوية ذات طبيعة مخلبية (شيلاتية)**.

3- **الأسمدة الحيوية**: مختلف أشكال الأسمدة التي تتضمن الأحياء الدقيقة أو مكوناتها أو مفرزاتها.

الفصل الرابع - طبيعة الأسمدة الكيميائية ومواصفاتها

Nature and characteristics of chemical fertilizers

أسمدة العناصر الكبرى الرئيسية

Major macro element fertilizer

الفصل -4- الباب -1- النتروجين Nitrogen في التربة والنبات وأسمدته

4-1-1- مقدمة: يعد النتروجين بوصلة التسميد وجوهرة الإنتاجية، وما الخضار في الطبيعة إلا فعل النتروجين في النبات، إذ لا نبات وإلا ويحتاجه بكميات ملموسة، ويندر ألا يستجيب لإضافته تسميداً، فهو أكثر العناصر الغذائية الضرورية للنبات امتصاصاً واحتياجاً، لكن هذا العنصر نادر الوجود في الصخور والفلزات المكونة للتربة، كما أنه يتعرض للفقد وبكميات ملموسة وبطرائق شتى تطايراً ورشاً مما يفاقم من مشكلة هذا العنصر في التربة. وبالرغم من أن النتروجين يشكل أكثر من ثلثي الهواء الجوي، وهذا قانون الطبيعة، إلا أن النبات يبقى عاجزاً عن امتصاصه والاستفادة منه بالصورة الغازية إلا ما تيسر عقداً جذرية أو تثبيثاً حرراً بمقادير على قياس النوع النباتي.

4-1-2- دورة النتروجين The Nitrogen Cycle

يطلق على التداخل بين الأشكال المختلفة للنتروجين في التربة والنبات والحيوان والغلاف الجوي تعبير دورة النتروجين Nitrogen Cycle. يصل النتروجين إلى التربة الزراعية من خلال الأسمدة المعدنية التجارية، وبقايا ومخلفات المحاصيل، والسماذ العضوي، والنترات والأمونيوم المحمولة بمياه الأمطار والتلوج. إضافة إلى ذلك تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة أن تضمن النتروجين الجوي في مركبات متاحة للنبات. مقابل ذلك تفقد التربة النتروجين نتيجة الإزاحة (الإزالة أو الامتصاص) من قبل النباتات النامية Plant uptake، وعن طريق الغسل Leaching، والانجراف Erosion، و بأشكال غازية مختلفة.

يتحول النتروجين في المركبات العضوية إلى مركبات أمينية بسيطة $R-NH_2$ أولاً، ومن ثم إلى أمونيوم NH_4^+ ، وأخيراً إلى نترات NO_3^- ، وتتعرض النترات المتشكلة للامتصاص الحيوي من قبل النبات أو الكائنات الحية الدقيقة أو لفقد بالغسل أو التحول إلى غاز والفقد من التربة بعملية عكس النترجة Denitrification ويطلق على التحولات التي تقود إلى تحول النتروجين من صورة عضوية إلى صورة معدنية اسم معدنة النتروجين Nitrogen Mineralization في حين تدعى العملية التي يتحول من خلالها النتروجين من صورة معدنية إلى صورة عضوية اسم التسكين الحيوي للنتروجين Nitrogen Immobilization.

4-1-3- تثبيت النيتروجين الجوي Nitrogen Fixation:

4-1-3-1- تثبيت البيولوجي للنيتروجين الجوي Biological Nitrogen Fixation

(N₃): الآزوت عنصر خامل، ويدخل بصعوبة في ارتباطات كيميائية مع العناصر والمواد الأخرى، ويتطلب الحصول على النشادر (NH₃) صناعياً اعتباراً من الآزوت الجوي درجة من الحرارة تبلغ 500م° الى جانب ضغط عال (350 ضغط جوي). يتحقق مثل هذا التفاعل في الأحياء الدقيقة المثبتة للآزوت الجوي في الشروط العادية، وهذا ما يدعو إلى البحث عن جملة الوسائط التي يستطيع الكائن الدقيق بموجبها امتصاص الآزوت الجوي وتثبيته. تستطيع بعض الأحياء الدقيقة أن تقوم بتثبيت الآزوت الجوي، وهناك مجموعتان من الأحياء الدقيقة تقومان بهذه العملية الأولى تعيش بشكل حر في التربة والثانية تعيش بشكل تكافلي مع النباتات.

أ- التثبيت الحر (اللاتعايشي) للنيتروجين Non Symbiotic Nitrogen Fixation

إن الآزوت الجوي الغازي لا ينتهي عملياً، ويوجد فوق الكيلو متر المربع الواحد من الأرض حوالي 8 ملايين طن من الآزوت في الهواء، وهذا ما يكفي لإعطاء محاصيل جيدة ولمدة ملايين السنين، إلا أن معظم النباتات لا تستطيع أن تستخدم هذا الآزوت. وعلى أساس وجود شواهد تدل على وجود تفاعلات تغني التربة بالأزوت استطاع العالم (برتلو) أن يثبت أن كمية الآزوت تزداد بالتربة العادية وتفقد التربة هذه الخاصية عند تعقيمها، يدل هذا على أن زيادة الآزوت في التربة تتعلق بشكل كبير بنشاط الأحياء الدقيقة فيها. كما استطاع العالم ونوجرادسكي أن يبرهن قدرة عدد من الأحياء الدقيقة اللاهوائية على تثبيت الآزوت الجوي. تتم آلية التثبيت الحر للآزوت بواسطة كائنات حية دقيقة تعيش في التربة و تمتص الآزوت الجوي لبناء بروتين جسمها، ومن المادة العضوية تحصل على الطاقة اللازمة لها. وتقوم بهذه العملية أنواع مختلفة من البكتريا من مجموعة الآزوتوباكتر Azotobacter الهوائية و Colstridium اللاهوائية، كما تقوم الطحالب الخضراء المزرقة بتثبيت الآزوت الجوي. وبما أن الطاقة اللازمة لتثبيت الآزوت الجوي أكبر مما يلزم لاستعمال الآزوت الأمونياكي أو النتراتى لذا فإن الكائنات الحية الدقيقة لا تثبت الآزوت الجوي عند توافر كميات مناسبة من الآزوت المتاح في التربة. ونحن هنا أما أحياء دقيقة متميزة من الناحية الفيزيولوجية إلا أنها غير متخصصة وبالتالي فإن وفرة أعداد كبيرة منها في تربة ما لا يعتبر دلالة على أن عملية تثبيت الآزوت تجرب فيها بنشاط.

ب- التثبيت التعايشي للنتروجين Symbiotic Nitrogen Fixation

تتشكل على جذور بعض النباتات البقولية وتحت تأثير مجموعة من البكتريا عقد جذرية يتم فيها تثبيت الآزوت الجوي، وقد تم اكتشاف علاقة تكافلية بين البكتريا والنبات اذ تستمد البكتريا المركبات العضوية من النبات ويحصل النبات على الآزوت من البكتريا. تنتسب النباتات البقولية إلى رتبة Leguminosae التي تضم عدداً من العائلات وتشكل العقد الجذرية على أنواع العائلة الفراشية Papilionaceae وينتسب إلى العائلة البقولية أكثر من 10000 نوع ويستعمل في الزراعة أكثر من 200 نوع، وتلعب هذه النباتات دوراً كبيراً في إغناء التربة بالأزوت ، وفي إمداد الإنسان والحيوان بغذاء مرتفع القيمة . لقد عرف دور النباتات البقولية في إخصاب التربة منذ آلاف السنين وأتى ذكر ذلك في الكتابات الصينية القديمة، إلا أن العالم بيرنك (1888) كان أول من عزل من العقد الجذرية لمجموعة النباتات البقولية البكتريا الخاصة والتي تنتسب إلى الجنس Rhizobium وتختلف بكتريا العقد الجذرية عن بعضها اختلافاً بسيطاً ولذلك ينظر إليها كمجموعة واحدة من الأحياء الدقيقة المتقاربة والجدول (1-4) يبين كمية النتروجين المثبتة بواسطة بعض الأنواع البقولية.

جدول (1-4): كمية النتروجين المثبتة بواسطة بعض الأنواع البقولية.

المحصول	كغ/هـ سنوياً
البرسيم الحجازي	450-50
البرسيم	300-50
البازلاء	140-30
اللوبياء	116-58
الترمس	100-50
الفاصولياء	71-30
فول الصويا	160-58
الفول	148-51

المصدر: عودة وشمشم، 2011 (خصوبة التربة وتغذية النبات)

4-1-3-2- التثبيت غير البيولوجي للنتروجين الجوي Non Biological Nitrogen

Fixation (N₃): يتحد الآزوت الجوي مع الأكسجين أثناء البرق ويشكل أكاسيد الآزوت التي تذوب في مياه الأمطار وتنقل إلى التربة ، وتقدر هذه الكمية سنوياً بنحو 3-5 كغ/هـ في المناطق الرطبة وهي أقل من ذلك بكثير في المناخات الجافة. كما يمكن أن ينتقل الآزوت مع الأمطار والتلوج من المحيط وخاصة في مناطق التلوث الصناعي وتقدر هذه الكمية بحدود 10 كغ/هـ ويمكن أن ترتفع إلى 50 كغ/هـ حسب درجة التلوث.

4-1-4- Nitrogen in Soil: النروجين في التربة:

المصدر الأصلي للنروجين في التربة هو الهواء الجوي، فالنروجين يكون 79.8% من حجم الهواء الجوي، ولكن الاستفادة من نروجين الجو يقتصر على أنواع قليلة جداً من الكائنات الحية الدقيقة، أما بقية الأحياء فإنها تستخدم النروجين في صورة مركبات عضوية أو معدنية. ولا تحتوي الصخور النارية على الآزوت بنسبة تذكر بينما يوجد ما يعادل 95% من آزوت التربة بالشكل العضوي. يتراوح محتوى الطبقة السطحية للتربة المعدنية من النروجين بين (0.5-0.02%) وبمتوسط قدره 0.15% ويتأثر محتوى التربة من النروجين بمجموعة من العوامل أهمها المناخ (Cl) والغطاء النباتي (V) والطبوغرافيا (T) ومادة الأصل (P) وعامل الزمن (t) فهذه العوامل تعد دالة لمحتوى التربة من النروجين، حيث:

$$N = f (Cl, T, V, P, t, \text{ect.})$$

4-1-4-1- العوامل المؤثرة في نسبة النروجين في التربة:

- **المناخ:** يتمثل من خلال الهطولات المطرية والحرارة حيث تؤثر في نشاط الأحياء الدقيقة وفي نمو النبات، لذا تزداد نسبة الآزوت بارتفاع معدل الرطوبة لأنها تؤثر في معدل الإنتاج النباتي من جهة وفي سرعة تحلل المواد العضوية من جهة أخرى. فارتفاع كمية الهطل المطري يزيد من الغطاء النباتي والمادة العضوية الناتجة عنه وبالتالي يؤدي إلى زيادة الآزوت العضوي في التربة، وتكون هذه الزيادة أكبر إذا ارتفعت معدلات الأمطار كثيراً لأن ذلك يضعف من نشاط الأحياء الدقيقة التي تحلل المادة العضوية فتزداد بذلك كمية الآزوت العضوي أيضاً. وتعمل درجات الحرارة المرتفعة على تقليل كمية النروجين الكلية لأنها تعمل على تحلل المادة العضوية.
- **الغطاء النباتي:** يؤثر في كمية النروجين الكلية، فقد وجد أن النسبة المئوية للآزوت في تربة المروج والأعشاب تكون أكبر من تربة الغابات، ويرتبط هذا بكمية الدبال المتكونة تحت الغطاء النباتيين المذكورين، إذ تكون أكبر تحت الغطاء العشبي مقارنة بالغابي.
- **خصائص التربة:** تتأثر نسبة النروجين في التربة بحجم الحبيبات الأولية ودرجة النفاذية والمسامية وظروف التهوية. عادة يكون محتوى التربة الخفيفة القوام (الرملية) من النروجين أخفض من محتوى التربة الثقيلة القوام (الطينية) ويزداد محتوى التربة من النروجين في الطبقة السطحية للتربة نتيجة لتراكم المادة العضوية فيها ثم ينخفض هذا المحتوى بشكل ملموس مع العمق في القطاع الأرضي.

- **الطوبوغرافيا:** كلما كان سطح الأرض مستوياً كلما ازدادت كمية المياه النافذة في التربة و ازداد محتواها من الرطوبة تبعاً لذلك مما ينعكس زيادة في الغطاء النباتي بينما ينخفض محتوى التربة من النتروجين في المناط المنحدرة بسبب الانجراف Erosion المائي والهوائي الذي تتعرض له الطبقة السطحية من التربة.

4-1-4-2- تحولات المركبات النتروجينية في التربة بواسطة الأحياء الدقيقة

يعتبر الآزوت عنصراً أساسياً لنمو المحاصيل وعلى الرغم من وجوده بكميات كبيرة في الهواء، وفي التربة بشكل مركبات عضوية مختلفة إلا أن النباتات لا تستفيد رئيسياً وبصورة مباشرة إلا من الصيغة المعدنية لمركبات الآزوت. أما احتياطي التربة من عنصر الآزوت فيكون على شكل دبال. وتقوم الأحياء الدقيقة بتحويل المواد الآزوتية إلى مركبات أمينية ثم إلى أمونيوم لا يلبث أن يتحول إلى نترات ثم إلى نترات. تمتص النباتات كلاً من النترات والأمونيوم لتتحولاً من جديد إلى مركبات عضوية مثل البروتينات والحموض الأمينية وغيرها. وتعود هذه المركبات من جديد إلى التربة على صورة بقايا عضوية نباتية أو حيوانية . يتعرض قسم من النترات الناتجة إلى الفقد إما عن طريق الرش مع مياه الري والأمطار أو نتيجة تحولها إلى أشكال غازية تنطلق إلى الهواء الجوي . ويمكن تلخيص التحولات التي تطرأ على المواد الآزوتية في التربة:

4-1-4-2-1- معدنة النتروجين (النشطرة) (Mineralization (Ammonification) إن

معدنة النتروجين تعني تحول النتروجين من الشكل العضوي إلى الأشكال المعدنية أو بتعبير آخر إلى الأشكال الجاهزة للامتصاص من قبل النبات. ويشترك في هذه العمليات عدد كبير من الأحياء الدقيقة المتواجدة في التربة. تحتل البروتينات المقام الأول بين مركبات الخلية، حيث تشكل 50% من وزن الخلية الجاف. وعند دخول هذه البروتينات في التربة مع البقايا النباتية والحيوانية والميكروبية الميتة، تتعرض إلى التحلل من قبل الأحياء الدقيقة وينطلق الآزوت منها على شكل نشادر ولذا تسمى عملية معدنة الآزوت بالنشطرة Ammonification. حيث يتكون جزيء البروتين من سلسلة طويلة وغير متفرعة من الحموض الأمينية المرتبطة مع بعضها، وتتعرض للتحلل بواسطة الأنزيمات الخارجية التي تفرزها الأحياء الدقيقة مما يؤدي إلى تشكل الحموض الأمينية ثم يتم نزع النشادر من الحموض الأمينية. و إن الأمونيوم الناتج من هذه العملية من الممكن أن تتعرض إلى:

- يتحول إلى نترات NO_2 ونترات NO_3 بعملية تسمى النترجة Nitrification
- يمتص بشكل مباشر من قبل النبات Uptake
- يثبت في أجسام الأحياء الدقيقة بعملية تسمى التمثيل Immobilization
- يثبت داخل طبقات معادن الطين بعملية تسمى تثبيت الامونيوم Fixation
- يدمص على سطوح الغرويات Adsorption

• يتحول الأمونيوم إلى أمونيا بعملية تسمى التطاير Volatilization

4-1-4-2-2- التآزت أو النتجة Nitrification

إن النشادر الناتج عن عملية النشدر في التربة يتأكسد بسرعة إلى نترات، وقد أطلق على هذه العملية اسم التآزت، وهي تتم وفق مرحلتين الأولى تحول النشادر NH_4^+ إلى نترت NO_2^- والثانية تحول النترت إلى ونترات، وكان أول من أشار إلى أن الأحياء الدقيقة في التربة مسؤولة عن هذه العملية العالم باستور، ولكن أول من عزل بكتريا التآزت هو العالم الروسي نوجرادسكي الذي بين وجود مجموعتين من بكتريا التآزت، تحقق إحدى المجموعتين أكسدة النشادر إلى نترت وأهم كائنات هذه المجموعة هي بكتريا النتروزوموناس Nitrosomonas، بينما تحقق المجموعة الثانية أكسدة النترت إلى نترات NO_3^- وأهم كائنات هذه المجموعة هي بكتريا النيتروباكتر Nitrobacter.

4-1-4-2-3- تسكين الآزوت (التمثيل) Nitrogen Immobilization

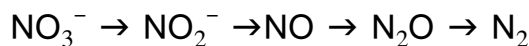
تنمو الأحياء الدقيقة بشكل كثيف، ضمن شروط محددة في التربة وعند توفر الآزوت بصيغة معدنية قابلة للامتصاص من قبل الأحياء الدقيقة يتحول الآزوت المعدني إلى آزوت بلازمي في الخلايا، ويدعى هذا التحول بالتسكين، ويمكن أن نلاحظ ذلك إذا ما أدخلنا إلى التربة بقايا نباتية أو أسمدة عضوية كربوهيدراتية. ونتيجة لعملية التسكين تصبح التربة فقيرة بالأزوت القابل للامتصاص من قبل النبات، مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل الزراعية، وبهذا الشكل فإن عملية تسكين الآزوت عبارة عن عملية معاكسة لمعدنة الآزوت. إن تحول المركبات الآزوتية باتجاه المعدنة أو التسكين يحددها بشكل كامل نسبة الآزوت والكربون في المواد العضوية الداخلة إلى التربة، فعندما تكون نسبة C/N ضيقة في المواد العضوية فإن تحللها يؤدي إلى تجمع النشادر في التربة، وعند إضافة مواد ذات نسبة C/N واسعة، فإن الأحياء الدقيقة تستخدم الآزوت الموجودة بالتربة مما يؤدي إلى تثبيت الآزوت المعدني في جسم الأحياء الدقيقة.

4-1-4-2-4- عكس النتجة (التآزت) Dinitrification

تجري في التربة الزراعية مجموعة من التفاعلات تتحول بموجبها الصيغ الآزوتية المؤكسدة (نترات، نترت) إلى صورة مرجعة على شكل أكسيد آزوت أو آزوت حر، وهذا يؤدي إلى فقد ملموس لعنصر الآزوت في التربة مما يفقد النباتات مصدراً غذائياً هاماً.

إن إرجاع النترات والنترت إلى آزوت غازي يحدث نتيجة تفاعلات مباشرة أو غير مباشرة، وتتم عملية عكس التآزت المباشرة بواسطة تفاعلات بيولوجية تقوم بها الأحياء الدقيقة (Micrococcus, Pseudomonas, Bacillus, Achromobacter). أما عملية عكس

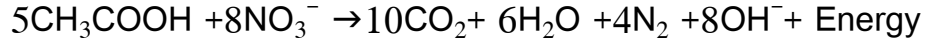
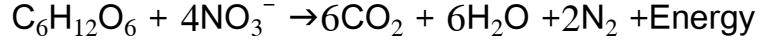
التآزت غير المباشرة فتتحقق بواسطة تفاعلات كيميائية.



فبعد سيادة الظروف الهوائية في التربة تستخدم الكائنات الحية الدقيقة أوكسيجين الهواء الأرضي في أكسدة المادة العضوية:



أما في حال نقص الأوكسجين أو عند غيابه كلياً فإنها تستخدم أوكسجين النترات في هذه العملية

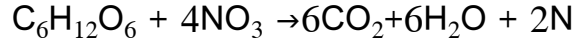


4-1-4-2- العوامل التي تؤدي الى فقد النتروجين التربة:

أ- امتصاص النبات **Plant Uptake**: يمتص النبات الآزوت على صورة شوارد أمونيوم NH_4^+ ونترات NO_3^- ، ومعظم النباتات تفضل الآزوت على شكل نترات. وتقدر كمية الآزوت التي تمتصها المحاصيل ما بين 50 و 250 كغ/هـ في السنة. وهي تشكل عادة ما بين 1-2% من كمية الآزوت الكلية الموجودة في التربة.

ب- الغسل **Leaching**: إن أكثر أشكال الآزوت فقداً من التربة هو النترات، فالآزوت العضوي غير قابل للذوبان، كما أن شاردة الامونيوم NH_4^+ تدمص على المعقدات الغروية للتربة.

ت- عكس التآزت **Denitrification**: اختزال النترات إلى أوكسيد نتروز و نترجين حر، حيث إنه تحت الظروف غير الهوائية تنشط بعض الكائنات الحية الدقيقة فتستعمل أوكسيجين النترات بدلاً من أوكسيجين الهواء الأرضي وفق المعادلة التالية.



ث- تطاير الأمونيوم **Ammonia Volatilization**: يتم فقد الأمونيا على صورة غاز عند تسميد التربة بأسمدة أميدية (اليوريا)، والأمونيا السائلة وأملاح الأمونيوم، والأسمدة العضوية ويتأثر فقد النشادر بالتطاير بالعوامل التالية:

• نوع السماد النتروجيني المضاف

• يزداد الفقد بارتفاع الرقم الهيدروجيني

• يزداد الفقد بارتفاع درجة الحرارة

ج- فقد الآزوت بالانجراف **N - losses by Erosion**: تتوقف كمية الآزوت الفاقدة بالانجراف على المناخ ونوع التربة والغطاء النباتي والتضاريس وتتراوح ما بين (1-50) كغ/هـ.

4-1-4-3- تثبيت الأمونيوم **Ammonium Fixation**

يتعرض كاتيون الأمونيوم الناتج عن عملية النشرة أو المتحرر من الأسمدة المضافة للتربة للتثبيت **Fixation** بواسطة المكونات اللاعضوية (فلزات الطين) النتروجينية والعضوية للتربة. و

يعتقد أن (5-20%) من محتوى التربة الكلي من النتروجين يكون مثبتاً في التربة على شكل أمونيوم وأن هذا الشكل من النتروجين Slowly available يكون بطيء الإفادة للنبات.

4-1-3-4-1- التثبيت بواسطة فلزات الطين

هناك العديد من فلزات الطين (2:1) لديها القدرة على تثبيت كاتيونات الأمونيوم والبوتاسيوم، ويعد فلز الفرميكيوليت Vermiculite من أكثر هذه الفلزات ميلاً للتثبيت يليه فلز الأيلليت فالمسكتيت. وتتم هذه العملية بأن تدمص كاتيونات الأمونيوم و البوتاسيوم بشكل غير قابل للتبادل على السطوح الداخلية لفلزات الطين آنفة الذكر كون قطرها الأيوني يسمح لها بالدخول بين طبقات الفلز. وتتحرر الكاتيونات المثبتة ببطء لتمتص حيويًا من قبل النباتات الراقية والكائنات الحية الدقيقة.

يتأثر تثبيت الأمونيوم في التربة بعوامل عديدة أهمها:

1- العمق: يكون تثبيت الأمونيوم بواسطة فلزات الطين أعلى عموماً في الطبقة تحت السطحية للتربة مقارنة بالطبقة السطحية لارتفاع محتوى الطبقة تحت السطحية من الطين. فبينما تقدر الكمية المثبتة من الأمونيوم بحوالي (8%) من النتروجين الكلي في الطبقة السطحية للتربة قد تصل هذه النسبة إلى حوالي (40%) في الطبقة تحت السطحية.

2- الزمن: يكون تثبيت الأمونيوم في أعلى معدل له بعد إضافة الأمونيوم مباشرة، ويقل معدل التثبيت مع مرور الزمن حتى الوصول إلى نقطة الاتزان.

3- الكمية المضافة من الأمونيوم: تزداد الكمية المثبتة من الأمونيوم بزيادة الكمية المضافة أو المتحررة منها لكن النسبة المئوية للكمية المثبتة تتخفض.

4- التجفيف: تزداد الكمية المثبتة من الأمونيوم مع جفاف التربة، ويفسر ذلك بازدياد تركيز الأمونيوم في محلول التربة بانخفاض رطوبتها. كما أن جفاف التربة يترافق مع نقصان المسافة البينية بين الوحدات البلورية لفلزات الطين لفقدائها الماء، مما يزيد من الكمية المثبتة من هذا الكاتيون.

5- نسبة الطين ونوع فلز الطين السائد: تزداد قدرة التربة على تثبيت الأمونيوم بازدياد محتواها من الطين، وبخاصة فلزات الطين من نموذج (1:2) كالفرميكيوليت والأيلليت والمسكتيت.

4-1-3-4-2- التثبيت بواسطة المادة العضوية

يمكن لكاتيون الأمونيوم أن يتفاعل مع المادة العضوية في التربة ليشكل مركبات مقاومة للتفكك الحيوي. ويعتقد أن عملية التثبيت هذه تحصل بفعل انجذاب كاتيون الأمونيوم إلى المجموعات الوظيفية الكربوكسيلية والفينولية المتأينة عند قيم مرتفعة من pH (وسط قاعدي). ويعتقد من ناحية أخرى أن زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يمكن أن يقلل من كمية الأمونيوم المثبتة. ويفسر ذلك بادمصاص بعض نواتج تحلل المادة العضوية على السطوح الداخلية لفلزات

الطين ما يقلل من فرص دخول الأمونيوم إلى مواقع التثبيت على السطوح الداخلية لهذ الفلزات. وفي كافة الأحوال لا يمكن اعتبار تثبيت الأمونيوم بواسطة المادة العضوية عملية ضارة كون النتروجين الأمونيومي المثبت عضوياً يتحرر ببطء بشكل متاح للنبات عبر عملية المعدنة.

4-1-5- Nitrogen in Plant: النترجين في النبات

تمتص النباتات الآزوت على شكل نترات أو نترت، ويمكنها أن تمتص بعض أشكال النتروجين المعقدة كالبيوريا و الأحماض الأمينية. وبالرغم من أن النترات هي الصورة الأيونية المفضلة لدى أغلب النباتات فإن بعض النباتات تستعمل الأمونيوم عند توفره مثل الأرز، في حين يسبب السمية لبعض النباتات مثل البطاطا والبندورة، إن إضافة الاسمدة الأمونياكية إلى التربة الحامضية قد يسبب السمية أيضاً. وتجدر الإشارة هنا إلى أن أيون الأمونيوم يدخل بعد امتصاصه مباشرة في تفاعلات بيوكيميائية مع الأحماض العضوية لتكوين الأحماض الأمينية، في حين لا بد لأيون النترات أن يرجع إلى أمونيا أولاً قبل استخدامه في تصنيع الأحماض الأمينية.

يتركز الآزوت عادة في الأوراق والبذور والحبوب، في حين تنخفض نسبته في الجذور، لذلك فإن السمية تختلف في النبات حسب الأجزاء، كما تختلف أيضاً باختلاف النباتات، وتتراوح نسبة الآزوت في النباتات على أساس الوزن الجاف بين أقل من 1% إلى نحو 4% ويرتبط محتوى النبات من البروتين بكمية الآزوت الموجودة، فعند انخفاض كمية الآزوت يقل محتوى النباتات من البروتين.

إن الآزوت مادة أساسية في اصطناع البروتينات، حيث توجد علاقة بين كمية الآزوت الممتصة وبين كمية اليخضور والبروتينات المصنعة في النبات، وبالمقابل يؤدي نقص الآزوت إلى تراكم المواد غير الأزوتية في النبات.

4-1-5-1- تأثير النتروجين في كربوهيدرات النبات:

تؤثر كمية الآزوت المتاحة في التربة على كمية الكربوهيدرات المختزنة في النبات، فنقص الآزوت يجعل من المستحيل على النباتات استعمال الكربوهيدرات في اصطناع المواد البروتينية مما يؤدي إلى تراكم المواد الكربوهيدراتية في النبات، وبالعكس فإن توافر الآزوت بكميات كبيرة يؤدي إلى استعمال الكربوهيدرات في تكوين المواد الأولية. كما أن توافر الآزوت بكميات مناسبة يؤدي إلى استعمال الكربوهيدرات في النمو الخضري بدلاً من توضعها في النبات لزيادة سماكة جدر الخلايا، لذلك فزيادة الآزوت تعمل على تكوين نباتات غضة عالية الاحتواء على مواد بروتوبلازمية، كثيرة الماء قليلة الاحتواء على المادة الجافة.

4-1-5-2- تأثير الآزوت في نمو المجموع الجذري

تشجع زيادة تركيز الآزوت في التربة نمو المجموع الخضري أكثر من نمو المجموع الجذري، ويعود ذلك إلى زيادة استعمال الكربوهيدرات في الجزء الهوائي وقلة انتقالها إلى الجذور، لذلك يفضل تسميد المحاصيل الجذرية والدرنية في المراحل الأولى للنمو حتى يتكون الجزء الخضري ثم لا بد من إيقاف التسميد الآزوتي كي تتحول الكربوهيدرات المصنعة إلى الجذور.

4-1-5-3- تأثير النتروجين في مقاومة النباتات للأمراض:

يزيد توفر كمية كافية من الآزوت قدرة النباتات على مقاومة الأمراض حيث أن وجود الآزوت بكميات كافية يؤمن النمو الجيد للنباتات، وأن النباتات القوية تستطيع مقاومة الأمراض بشكل أكبر. لكن بالمقابل زيادة الآزوت تؤدي إلى كثافة النمو مما يزيد الرطوبة الجوية المحيطة بالنبات وبالتالي تشجع نمو الفطريات الممرضة، كما أن زيادة الآزوت يؤدي إلى تشكل طبقة كيتيكل رقيقة تستطيع هيفات الفطر اختراقها بسهولة لتصل إلى عصارة نباتية غنية بالآزوت، وهذا يساعد على شدة انتشار الفطر.

4-1-5-4- تأثير الآزوت في النضج:

تعمل زيادة الآزوت في التربة على تأخير موعد النضج النباتي، وخاصة عند إضافته في المراحل الأخيرة لنمو النبات، ويتوقف تأثير الآزوت في نضج المحصول على عدة عوامل منها درجة توفره في التربة و موعد الإضافة و توافر العناصر الغذائية الأخرى. وبالعكس يسرع نقص الآزوت من نضج بعض النباتات، بسبب انخفاض مساحة المسطح الورقي.

4-1-6- الأسمدة النتروجينية:

4-1-6-1- تركيز النيتروجين في الأسمدة

يتراوح تركيز النتروجين عادة في الأسمدة من 1% إلى 80% وزناً. وتحتوي الأسمدة العضوية الطبيعية على ما يتراوح من 1% إلى 15% من النتروجين. وتكون المواد العضوية التي تتضمن أقل من 1% من النتروجين منخفضة جداً في تركيز النتروجين عموماً ولا يتم اعتبارها أسمدة. ويحتوي البروتين النقي حوالي 16% من النتروجين، لذا تكون المواد ذات تركيز نيتروجين أعلى من 16% مواد مصنعة. ويعتبر تركيز 16% من النتروجين منخفضاً للأسمدة الكيميائية في العصر الحديث.

4-1-6-2- مصادر النتروجين السمادي:

- العضوية: وتشمل مخلفات الأغنام والخيول والأبقار والمجازر ومصانع الأغذية وبقايا النباتات في الحقل والأسمدة الخضراء.
- الأسمدة النيتروجينية الطبيعية: أملاح نترات الصوديوم والكالسيوم والمغنيزيوم.

- الأسمدة الصناعية: بشكل عام يمكن تقسيم الاسمدة النتروجينية إلى أسمدة أمونياكية أو حاوية على الأمونيوم وأسمدة نتراتية أو حاوية على النترات.

4-1-6-3- أنواع الأسمدة النتروجينية:

- الأسمدة النتراتية: تحتوي النتروجين على صورة نترات ومن هذه الأسمدة نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ ونترات الصوديوم $NaNO_3$.
- الأسمدة الأمونيومية: تحتوي النيتروجين على صورة أملاح الأمونيوم NH_4Cl والأمونيا الذائبة والأسمدة النتروجينية السائلة (الماء الأموني، الأمونيا اللامائية أو الخالية من الماء).
- الأسمدة النتراتية الأمونيومية: تحتوي النتروجين على صورة أمونيا ونترات ومنها نترات الأمونيوم NH_4NO_3 .
- الأسمدة الأميدية: تحتوي النتروجين على صورة أميدية منها اليوريا $Co(NH_2)_2$.

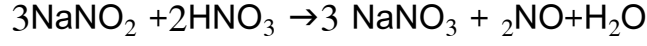
4-1-3-6-1- الأسمدة النتراتية:

بعد تحضير حمض النتريك من أكسدة الأمونيا أصبح من السهل تحضير أي سماد نتراتي، وقد يستخدم حمض النتريك كسماد ذائب في ماء الري بالتقطيط. وتعتبر جميع الأسمدة النتراتية ذائبة في الماء. وتختلف الأسمدة النتراتية في تأثيرها حسب نوع الكاتيون المرافق، وهذا إما أن يكون كالسيوم أو أمونيوم. والأسمدة النتراتية لا تصلح للأراضي الغدقة كما لا تصلح النترات لتسميد الأرز، إذ تحت هذه الظروف يفقد النتروجين بالتطاير. وداخل النبات تختزل النترات إلى أمونيا بمشاركة الأنزيمات التي تحتوي على العناصر الصغرى من المولبدنيوم والنحاس والحديد والمنجنيز، ويؤدي نقص المولبدنيوم إلى توقف عملية الاختزال ويقل الاستفادة النبات من النترات وهذا يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة منها داخل أنسجته وهذا لا يضر النبات إلا أن تراكمه يضر الإنسان والحيوان الذي يأكله على صورة خضروات أو أعلاف. وإذا كانت التربة الزراعية حامضية فإن نتروجين النترات يكون أفضل في تغذية النبات عن نتروجين الأمونيا. ومن أنواع أسمدة النترات:

أ- نترات الصوديوم ($NaNO_3$) Sodium Nitrate:

الخواص: نترات الصوديوم من الأسمدة الطبيعية يوجد في صورة صخور من معدن نترات الصوديوم في منطقة شيلي Chile ولهذا يطلق عليه نترات الصودا الشيلي كما يمكن تصنيعه. يحتوي على 15-16% N في صورة نترات NO_3^- و 26% صوديوم، قاعدي التأثير، حبيباته صلبة، لونه أبيض، جيد الذوبان في الماء، يتميع في الظروف العادية لذلك يجب حفظه داخل عبوات جيدة الإغلاق، والنبات يمتص أيون النترات NO_3^- ويترك كاتيون الصوديوم Na. ويمكن أيضاً إضافة أسمدة نترات الصوديوم في سطور ومع البذور.

التصنيع: يصنع سماد نترات الصودا الشيلي من الخام الطبيعي (الملح الصخري) المنتشر في شيلي، كما يمكن تصنيعه من تفاعل حمض النتريك مع الصودا الكاوية أو كربونات الصوديوم: ويصنع كما في المعادلات الآتية:

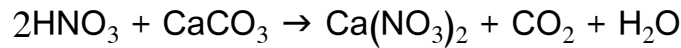


ب- نترات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:Calcium Nitrate

الخواص: نترات الكالسيوم (نترات الجير) سماد نتروجيني نتراتي يحتوي على 13-15 % N في صورة نترات NO_3^- ويحتوي على 19 % كالسيوم، سهل الذوبان في الماء، تأثيره قاعدي على التربة، سريع الغسيل من التربة لعدم امتصاصه على سطح معقد التبادل سالب الشحنة لكونه أنيون، وهو ملح بلوري أبيض اللون، حبيباته صلبة، جيد الذوبان في الماء ويتميع في الظروف العادية لذلك يجب حفظه داخل عبوات جيدة الإغلاق ولتقليل امتصاصه للرطوبة يخلط مع مواد كارهة للماء وعادةً يمزج أثناء التصنيع مع نترات الأمونيوم. والنبات يمتص أيون النترات NO_3^- ويترك كاتيون الكالسيوم Ca الذي يظل في التربة فيحسن وجوده التربة الحامضية. وبسبب خواصها الفيزيائية غير الجيدة فهي غير ملائمة للإضافة في سطور.

التصنيع:

يتم تحضير سماد نترات الكالسيوم بإضافة حمض النتريك إلى الحجر الكلسي حيث يتحول إلى نترات كالسيوم عندما يذوب الحجر الجيري و تضاف كمية من النشادر ثم حامض النتريك لمعادلة المحلول. حيث ينتج هذا السماد من معادلة 40-48% حمض النتريك مع كربونات الكالسيوم:



تفاعل نترات الصوديوم والكالسيوم في التربة:

بعد الأضافة مباشرة تذوب هذه الأسمدة بسهولة وسرعة، النترات تبقى بشكل متحرك ولا تتعرض إلى أي امتصاص كيميائي أو فيزيوكيميائي أو بتعبير آخر لا تدمص بالتربة ولذا تكون معرضة للفقدان بالغسل لاسيما تحت ظروف المناطق الممطرة والاستوائية أو الري الثقيل في المناطق المروية. وهنا تأتي أهمية وقت إضافة السماد وتجزئة اضافته. أسمدة نترات الصوديوم والكالسيوم أسمدة قاعدية من الناحية الفسيولوجية لأن النبات يمتص النترات بكميات أكبر من الكالسيوم والصوديوم ولذا تبقى هذه الأيونات بالتربة وتزيد من قاعدتها. الشوندر السكري والمحاصيل الجذرية عموماً تستجيب لإضافة نترات الصوديوم لحاجتها للصوديوم والتأثير هنا في كمية ونوعية الإنتاج. كما أن نترات الكالسيوم مهمة في الترب الحامضية. ومع هذا نترات الصوديوم غير مفضلة في الترب الملحية والصودية. وبشكل عام أسمدة النترات وعلى الرغم من كونها

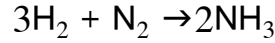
أسمدة جيدة المواصفات إلا أنها محدودة الاستعمال ومحرمة الاستعمال في بعض الدول لأن النترات تدخل في صناعة البارود (الأسلحة) وهناك متطلبات خاصة للنقل والخبز خوفاً من الانفجار. كما أن هذه الأسمدة تمتص الرطوبة بدرجة عالية ولذا يجب أن تحفظ في أكياس لا تسمح للماء بالدخول ومدعمة بمواد خاصة.

4-1-6-3-2- الأسمدة الأمونيومية (الأمونيا)

كل الأسمدة الأمونيومية قابلة للذوبان في الماء وجميعها أيضاً تتأزت بسرعة لحد ما تحت ظروف الأراضي الحامضية الخفيفة والمتعادلة منتجة النترات. كما أنها تتشابه في أثرها على النبات، ولكن يعود الفرق بينها إلى أثرها على حموضة التربة. إن استخدام هذه الأسمدة في الأراضي ذات السعة التبادلية المنخفضة يقلل من احتجاز الأمونيا ويجعل السماد سهل الحركة في الأرض مما يجعل استفاة النباتات منه عالية على ألا يضاف بكميات كبيرة. كما أنه يستخدم في الأراضي الكلسية ذات رقم pH مرتفع حيث أن تأثيره حامضي بشرط أن يوضع على عمق من سطح الأرض، واستخدام أسمدة الأمونيا يكون أفضل من أسمدة النترات في التربة المتعادلة، كما أن وجود وفرة من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنزيوم تكون ظروف أفضل لاستخدام الأمونيا. ومن أنواع أسمدة الأمونيوم:

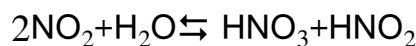
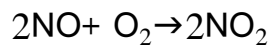
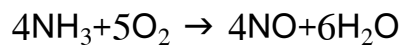
أ- الأمونيا اللامائية (الغازية): (NH_3^+) Anhydrous Ammonia

التصنيع: تعد الأمونيا الحجر الأساس لمعظم الأسمدة النتروجينية المصنعة أو المشتقة كيميائياً. إن معظم الأمونيا تنتج من تفاعل غاز النتروجين وغاز الهيدروجين كما يأتي:



النتروجين يحصل عليه من إمرار الهواء الجوي في فرن التسخين والهيدروجين بالأساس طبيعي وجز منه من غازات الفرن الغنية بالميثان وغاز الميثان يحوي 50 % هيدروجين. غازات النتروجين والهيدروجين النقية (بنسبة حجم نتروجين إلى ثلاثة حجوم هيدروجين) تضغط بالتدريج تحت ضغط عالٍ وتوضع في المرمدة بوجود المادة المساعدة. الحرارة المستعملة من 500 - 1200 درجة مئوية والضغط بحدود 500 ضغط جوي (50000 كيلو باسكال) وبوجود الحديد عاملاً مساعداً.

الأمونيا المصنعة تستخدم في إنتاج أملاح الأمونيوم وحامض النتريك. حامض النتريك الذي يعد الأساس في صناعة أسمدة النترات يصنع من أكسدة الأمونيا مع الأوكسجين وكما في التفاعلات الآتية:



الخواص: وهي أسمدة عالية المحتوى من النتروجين (82% N) في صورة أمونيا NH_4^+ وتعد من أكثر الأسمدة استخداماً في الدول المتقدمة، وهي غازية تحفظ في خزانات Tanks أو حاويات Containers تحت ضغط لذا تكون سائلة Liquid Ammonia ولكن ليست مائية، عديمة اللون، سامة لكل من الإنسان والحيوان في التراكيز العالية، نفاذة الرائحة، سهلة الذوبان في الماء مكونة كاتيون الأمونيوم، وعند إضافتها للتربة تكون في صورة غاز أخف من الهواء لذا لا بد أن تكون اضافتها للتربة عن طريق الحقن وتحت سطح التربة في وجود نسبة من الرطوبة بالتربة، وذلك حتى لا تفقد بالتطاير وبهذا نزيد من كفاءة استخدام النتروجين.

كيفية الإضافة للتربة:

حاويات السماد تكون مزودة بعداد للتحكم عن طريق صنوبر بمقدار السماد المضاف عن طريق محاقن متصلة بأسلحة المحراث لإضافتها تحت التربة، و متصل بأسلحة لتغطية الفجوات الناتجة بالتربة ولا بد من أن تكون التربة ذات رطوبة مناسبة حتى يتحول غاز الأمونيا إلى كاتيون أمونيوم يسهل ادمصاصه على معقد التبادل بالتربة، حتى نقلل الفقد إلى أقل قدر ممكن.

ب- الأمونيا المائية (المسيلة): Aqua Ammonia

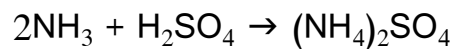
الخواص: نسبة العنصر الفعال تتراوح 10-40% في صورة أمونيا NH_4^+ ، سهل الذوبان في الماء، هو سماد في صورة سائلة، يحفظ في أوعية تحت الضغط العادي لتقليل الفقد ورفع كفاءة السماد. وتستعمل للإضافات المباشرة أو لإنتاج أسمدة سائلة أخرى. وتضاف تحت سطح التربة أو مع ماء الري.

التصنيع: يطلق عليها ماء الأمونيا وهي ناتجة عن إذابة غاز الأمونيا في الماء وهي ليست لها نسبة ثابتة ولكن تتوقف على معدل إضافة سماد غاز الأمونيا إلى الماء.

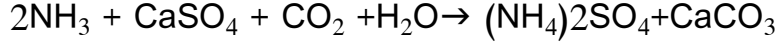
ث- كبريتات الأمونيوم (سلفات الأمونيوم Ammonium Sulfate $(NH_4)_2 SO_4$):

الخواص: نسبة المادة الفعالة فيه 21% N في صورة أمونيا NH_4^+ ، ويحتوي السماد المصنع على 24% S (كبريت) لذلك يعتبر مصدراً جيداً لتغذية النبات بالكبريت، سهل الذوبان، بلورات صلبة تشبه بلورات السكر، قليل التميؤ في الظروف العادية ويحتفظ بقدرة حبيباته على التناثر بشكل جيد، يدمص على سطح معقد التبادل السالب الشحنة، تأثيره حامضي على التربة لذا يصلح في الترب مرتفعة pH، ويمكن خلطه مع سماد سوبر فوسفات و سلفات البوتاسيوم ولا يخلط مع نترات الكالسيوم. وهو من أقدم الأسمدة النتروجينية وأكثرها انتشاراً لأهميته.

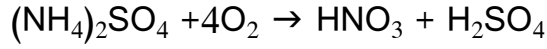
التصنيع: ينتج من معادلة حمض الكبريت مع الأمونيا الغازية كما في المعادلة الآتية:



وتفصل بالطرد المركزي وتجفف ومن الممكن تعويض حمض الكبريت بالجبس. حيث يصنع بطريقة أخرى أيضاً من تفاعل الأمونيا الغازية مع الجبس:



وهو من الأسمدة المولدة للحموضة وقليل التعرض للفقد بالتطاير. وهذا السماد له صفات فيزيائية جيدة إذ إنه لا يتكتل أثناء التخزين، ويكمن استعمال المسمدة بكفاءة في إضافته لا سيما أن امتصاصه للرطوبة قليل. ويكون تفاعل كبريتات الأمونيوم في التربة (الأكسدة البيولوجية) وفق التالي:



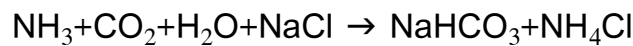
هذه الأحماض الناتجة تتعادل في التربة بدخولها بتفاعلات مع البيكربونات في محلول التربة والأيونات الموجبة في معقد الادمصاص والتي تنتهي بانخفاض pH التربة. وعموماً النباتات تأخذ الأمونيوم بكميات أكبر وأسرع من الأيونات السالبة ومن ثم تزداد الحامضية.

ت- كبريتات الأمونيوم والصوديوم (NH₄)SO₄ - Na₂SO₄):

سماد حمضي يحتوي على 16 % نيتروجين وهو ملح متبلور أصفر اللون لا يتميع، ويحتوي على 9% ثاني أكسيد الصوديوم.

ث- كلوريد الأمونيوم (Ammonium Chloride NH₄Cl):

سماد ذو تأثير فيسيولوجي حامضي، يحتوي على 24 - 26% نيتروجين وهو ملح متبلور أبيض اللون جيد الذوبان في الماء وله صفات تخزينه جيدة ولا يتكتل. ويحتوي على 67% Cl (كلور) لذلك فإنه غير ملائم للاستخدام تحت المحاصيل الحساسة للكلور مثل العنب والحنطة السوداء والتبغ والقنب وغيرها. ويرجع التأثير الحمضي للأشكال الثلاثة السابقة إلى أن النبات يمتص بسرعة كميات كبيرة من كاتيون الأمونيوم NH₄ ويترك انيونات الكبريت SO₄ أو الكلور Cl اللذين يتراكمان في التربة ويتسببان في تأثيرها الحمضي. وهو ناتج ثانوي لصناعة الصودا:

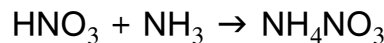


4-1-3-3-3- الأسمدة النتراتية الأمونيومية:

أ- سماد نترات الأمونيوم (Ammonium Nitrate NH₄NO₃):

يعتبر من الأسمدة التي لم تعرف إلا بعد الحرب العالمية الثانية وهو من المواد المحظورة استخدامها في بعض الدول إلا تحت احتياطات أمنية مشددة لأنه يعتبر مادة مؤكسدة خطيرة، كما أن تخزينه لا بد أن يكون تحت ظروف معينة حتى نتجنب حدوث حرائق وأضرار من زيادة الضغط في المخازن وارتفاع درجة الحرارة ولأن السماد يحدث له تعجن Caking لامتنصاصه الرطوبة الجوية ويصعب تداوله لأبد عند تصنيعه أن يتم تغليفه ببعض المواد التي تحسن من صفاته ليسهل التعامل معه مثل المواد السليكاتية .

التصنيع: يحضر السماد بمعادلة الأمونيا بحمض النتريك



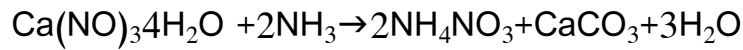
الخواص: يحتوي على 33-35% N نصف النتروجين الموجود به على صورة نترات NO_3^- ونصفه الآخر على صورة أمونيوم NH_4^+ وكلا الصورتين صالحتان للامتصاص ويحتفظ هذا السماد بالصفات الإيجابية لأسمدة النترات والأمونيوم حيث يكون نصف النتروجين على شكل نترات سهلة الحركة والنصف الآخر على شكل أمونيوم قليل الحركة، لونه أبيض، السماد في صورة حبيبات صلبة حجمها 1-3 ملمتر بيضاء أو صفراء اللون قابلة للتميع لذلك يجب أن تخزن داخل عبوات محكمة الإغلاق، سهل الذوبان بالماء وجاهزته عالية للنبات، وهو ملائم لمعظم المحاصيل. تأثيره حامضي على التربة. بعد انتشار اليوريا قل استخدامه لحد ما لكنه ضروري لإنتاج محاليل الأسمدة.

ولكن هذا السماد شديد القابلية للانفجار عند سوء التخزين كما يساعد على الاشتعال عند وجود الحرائق. قد يضاف له بعض المواد لتحسين خواصه وتداوله ومن هذه المواد الكبريت والمغنيزيوم وكربونات الكالسيوم والكاولين وهذه المواد تقلل الذوبان بدرجة بسيطة، مما يقلل فقد السماد وبالتالي زيادة كفاءته. وقد وجد أن إضافة كربونات الكالسيوم بنسبة 60-100% من وزن نترات الأمونيوم تقلل من خطر الانفجار والحرائق إلى حد كبير. ويعرف السماد في هذه الحالة باسم نترات النشادر الجيري. ويلاحظ أنه في الأراضي الرملية يسهل فقد النترات منها مع الري إلى أعماق أبعد من مدى قدرة جذور النباتات على الحصول عليها إلا إذا استخدمت طرق الري الحديثة التي تقنن كمية الماء وتزيد من استفادة الجذور منها وبالتالي من السماد المضاف إلى هذا الماء.

ت- نترات الجيري النشادرية Lime Ammonium Nitrate ($NH_4NO_3-CaCO_3$) أو النتروشوك:

التصنيع: توجد عدة طرق منها :

- إضافة كربونات الكالسيوم بنسبة 40% إلى محلول سماد نترات الأمونيوم قبل عملية التحبيب
- طريقة ODDA حيث تصنع من نترات الكالسيوم:



الخواص

نسبة النتروجين 26% ، درجة ذوبانه أقل من نترات الأمونيوم، أكثر أمناً عند تداوله.

4-1-3-6-4- الاسمدة الاميدية:

أ- سماد اليوريا $CO(NH_2)_2$ ويحتوي على 46% نيتروجين وبالتالي هي أغنى المواد الصلبة بعنصر الآزوت، والسماد على شكل بلورات ناعمة بيضاء جيدة الذوبان في الماء قابلة للتميع،

وفي الوقت الحالي أمكن إنتاج بلورات لا تتميع وتحفظ بقابليتها للتناثر. اليوريا سهلة التداول والاستعمال كما تعد مادة أولية مهمة في الصناعات الكيميائية.

ويمكن تحضير اليوريا بتفاعل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون تحت ضغط مرتفع وفي وجود عامل ملامسة مناسب وحرارة مناسبة ويراعى عدم ارتفاع درجة الحرارة أكثر من اللازم حتى لا تتكون مادة البيوريت في اليوريا والتي إذا وجدت بكمية كبيرة نسبياً تؤدي إلى تلف للنباتات النامية:



وهي ذات تفاعل قاعدي في البداية إلا أنها في النهاية ذات تأثير حامضي بعد حدوث عملية النترجة وتحول الأمونيوم إلى النترات. تتحلل اليوريا مائياً عند إضافتها للتربة بواسطة أنزيم اليورياز (وهو أنزيم موجود في معظم الترب ولا توجد حاجة لإضافته) خلال بضعة أيام معطية كربونات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ التي تحلل بدورها لتعطي غاز النشادر وبيكربونات الأمونيوم وغاز ثاني أكسيد الكربون، لأن اليوريا بالأصل سماد عضوي إلا إنها مصنعة و بعد التحلل تسلك اليوريا سلوك الأمونيوم. اليوريا من الأسمدة المعرضة للفقد بالتطاير وللتقليل من هذا الفقد تضاف اليوريا بشكل حزم (تلقيم) ويضاف الماء (الري) بعد التسميد. كما يمكن تقليل الفقد باستخدام مثبطات اليوريا الذي يؤخر من تحلل اليوريا ويقلل من التطاير. وهنا الجدوى الاقتصادية يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار. وهناك مادة سامة تسمى البيوريت biuret تتكون مع اليوريا أثناء التصنيع والتخزين غير الجيد وارتفاع درجات الحرارة وهذه المادة يجب ان لا تتجاوز نسبتها 1% في اليوريا إلا أن نسب بحدود 1.5% مقبولة عالمياً لليوريا التي تضاف إلى التربة و بحدود 0.25% لليوريا التي تضاف رشاً على الجزء الخضري لاسيما للمحاصيل الحساسة.

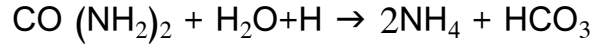


وقد اكتسبت اليوريا شهرة كبيرة مؤخراً لعدة أسباب منها: زيادة تركيز عنصر النتروجين بها وسهولة النقل والتخزين والاستخدام لصورتها المحببة granular كما أنها ليست لها طبيعة تآكلية Corrosive مثل نترات الأمونيوم. وهي تامة الذوبان في الماء ويتم تحللها مائياً في الأرض خلال أيام قليلة وفقاً للظروف البيئية المحيطة ومن أهمها : درجة الحرارة وخواص الأرض (مثل رقم الحموضة وكمية المادة العضوية) إلى كربونات أمونيوم وتتحلل بالتالي إلى أمونيا وثاني أكسيد الكربون، وإذا لم تضاف اليوريا عميقة بضع سنتيمترات في الأرض فإن الأمونيا تتطاير ويفقد عنصر النتروجين من الأراضي الرملية حيث تنخفض السعة التبادلية. وإذا كانت الأرض قلوية كالأراضي الجيرية فإن نشاط إنزيم اليورياز Urease اللازم للتحلل المائي لليوريا ينخفض . ويحدث هذا الانخفاض أيضاً حين تزداد درجة الملوحة في الأرض - ينصح بعض الباحثين بإضافة اليوريا في الأراضي الملحية لأنها لا تزيد من الضغط الأسموزي، وسماد

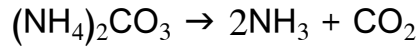
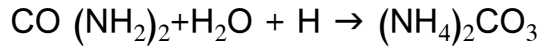
اليوريا هو السماد النتروجيني الوحيد الذي يفضل في التسميد الورقي حيث إنه لا يولد ضغطاً أسموياً عالياً .

سلوك اليوريا في التربة:

عند إضافة اليوريا للتربة تتحلل مائياً كما يأتي:



Or



ودرجة تفاعل التربة (pH) هي المسيطرة والمحددة للتحويل من NH_4 إلى NH_3 وبالعكس. التحلل المائي يتسارع في الترب الدافئة والرطبة والتحول إلى الأمونيوم يتم بحدود 3-4 يوماً. انزيم اليوريز متوافر في معظم الترب وهناك العديد من أحياء التربة المجهرية التي تفرز اليوريز. ولذا يزداد اليوريز مع زيادة نشاط الأحياء المجهرية والمحتوى من المادة العضوية. كذلك وجود النباتات الطرية ينتج كمية وافرة من اليوريز. وعموماً نشاط اليوريز يكون على أقصاه في منطقة المحيط الجذري (الرايزوسفير). عند ارتفاع درجة تفاعل الوسط (pH) لاسيما أعلى من 7.5 فإن تثبيطاً مؤقتاً ممكن أن يحدث لليوريا ناتجاً عن الأمونيا الحرة المتواجدة أحياناً تحت هكذا ظروف وهذا ممكن أن يؤدي إلى تثبيط مؤقت لعملية تحلل اليوريا. بشكل عام تأثير اليوريا يكون قاعدياً في البداية إلا أنه وبمرور الوقت وحدوث عملية النترجة يكون التأثير حامضياً أي التأثير النهائي لإضافة اليوريا للتربة هو حامضي.

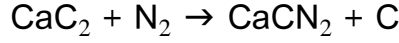
إدارة سماد اليوريا: إدارة جيدة مطلوبة للتقليل من فقد الأمونيا وهناك عدد من الوسائل منها:

- يفضل وضع اليوريا بمسافة عن البذور كي لا يكون هناك تأثير مباشر للأمونيا المتحررة في إنبات البذور والمسافة هنا بحدود 2.5 سم. كما أن كمية اليوريا المضافة قرب البذور يجب أن لا تتجاوز 11 كغ للهكتار لاسيما في الترب الكلسية. ومع هذا يمكن زيادة كمية الإضافة عند توافر ظروف الرطوبة المناسبة.
- خلط اليوريا مع التربة السطحية وإضافة الماء أو الري بعد الإضافة مباشرة يقلل من الفقد بالتطاير.

أ- سيناميد الكالسيوم CaCN_2

هذا السماد كان واسع الانتشار لكن بعد انتشار اليوريا في القرن العشرين أصبح عديم الانتشار رغم أن له تأثيرات جانبية كمبيد فطري وكذلك للحشائش بالإضافة إلى أنه سماد نتروجيني.

التصنيع: يصنع طبقاً لطريقة Frank –caro عند درجة حرارة حوالي 1000م كما يتضح من المعادلة التالية:



الخواص:

نسبة العنصر الفعال به 20% N نسبة الجير الحي CaO أو هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2 20%، نسبة الكربون 12%، حبيبات صلبة في عدة أشكال، لونه أسود لوجود الكربون، ومن خواص السماد أيضاً ارتباط جزيئتين من السيناميد والذي يتكون أثناء التخزين، وهذا المركب له تأثير مثبت على عملية التآزت. السماد له تأثير الجير الحي حيث يؤدي لانتفاخ الجلد، سام عند استنشاقه، يستخدم كمبيد للحشائش لوجود السيناميد السام عند تحول السماد، ويسبب تأثيره الحارق على أوراق الحشائش خاصة عند وجوده في صورة شديدة النعومة ويمتد أيضاً تأثيره على إنبات البذور لذا لا بد أن تتم الزراعة بعد إضافته بحوالي 3 أيام من الزراعة لتجنب تأثير السيناميد السام، يستخدم كمبيد حشري وفطري، يعتبر بطيء التأثير نظراً للفترة التي يحتاجها السماد حتى يصبح النتروجين صالح لامتصاص النبات.

4-1-3-5- محاليل النتروجين Nitrogen Solutions:

هي الأسمدة النتروجينية السائلة (محاليل النتروجين) والتي تحتوي على النتروجين في صورة محلول مائي وتقسم إلي قسمين رئيسيين على أساس وجود أو عدم وجود الأمونيا أو على أساس ضغط بخار الأمونيا في هذه المحاليل.

عموما المحاليل التي تحتوي على أمونيا حرة يطلق عليها Pressure solutions، والتي لا تحتوي على أمونيا حرة يطلق عليها Non- Pressure solutions وتحتوي الثانية على نترات ويوريا. ويمكن أن تحتوي على مركبات أخرى مثل سلفات الأمونيوم ونترات الكالسيوم ويضاف هذا النوع من الأسمدة على سطح أو تحت سطح التربة أما الأولى فهي تضاف بنفس طريقة إضافة الأمونيا الغازية إلى ماء الري أو إلى التربة وهي تحتوي دائما على أمونيا وربما تحتوي على نترات أمونيوم، نترات يوريا، سلفات أمونيوم، نترات كالسيوم. والمحاليل ذات الضغط Pressure solutions أكثر تركيزاً في عنصر النتروجين من المحاليل التي بدون ضغط Non- Pressure solutions فالثانية يصل محتواها من النتروجين إلى (28-32%) ومن خصائص محاليل النتروجين درجة حرارة ترسيب المكونات ويطلق عليها Salting-out temperature وهي تمثل درجة الحرارة التي عندها تتكون بلورات بالمحلول نتيجة انخفاض ذوبان مكونات المحلول مع انخفاض درجة الحرارة، ويلاحظ أن درجة حرارة الترسيب تزداد مع زيادة تركيز النتروجين بالمحلول خاصة بالمحاليل التي بدون ضغط وعند حدوث هذه الظاهرة

تتخفض نسبة النتروجين بالمحلول ولكن بارتفاع درجة حرارة المحلول ومع الرج فإن الأملاح (البورات) المتكونة تذوب.

وتكوين محاليل النتروجين يساعد على زيادة ذوبان كل سماد عما لو تم عمل محلول لكل سماد على حده أي تواجد الأسمدة مع بعضها يزيد كل منهما ذوبان الآخر، فمثلا ذوبان نترات الأمونيوم 118.3 غ/100 مليلتر ماء عند درجة حرارة صفر مئوي (32 فهرنهايت) أما ذوبان اليوريا 78 غ/100 مليلتر ماء عند درجة حرارة 5م (41 فهرنهايت) وعند تواجد الاثنين معا يزداد الذوبان إلى 103 و 130 غ / 100 مليلتر ماء عند درجة حرارة صفر مئوي على التوالي. وهي محاليل محضرة بدون ضغط ومن أكثر الأسمدة النتروجينية السائلة انتشاراً ومن أهم محاسنها:

- أسهل وأمن في النقل والتوزيع.
- ذات قابلية جيدة للخلط مع الأسمدة الأخرى ومع المبيدات.
- تكلفة إنتاجها أقل من الأسمدة الصلبة .

وعموماً تنتج هذه الأسمدة من اليوريا ونترات الأمونيوم والماء وتعرف بـ Urea Ammonium Nitrate (UAN).

وهذه تختلف حسب نوع المركب النتروجيني الموجود ومنها:

- سائل نترات الأمونيوم 20% N
- سائل يوريا - نترات الأمونيوم 32% N
- سائل نترات الأمونيوم الجيري 17% N

4-1-6-3-6-6-مرکبات النتروجين بطيئة التحرر (أو بطيئة الجاهزية أو الذوبان) SRN:
:Slow release N fertilizer

من المعلوم أن جميع الأسمدة النتروجينية المستخدمة في الزراعة قابلة للذوبان بالماء. فالأسمدة النتراتية أو النترات المحولة من الأسمدة الأمونيومية أو من اليوريا عرضة للفقد إما بالغسيل أو نتيجة لعملية عكس التآزت. وللتغلب على مشكلة فقد النتروجين اتجهت المصانع إلى إنتاج مصادر نتروجينية شحيحة الذوبان والتي ينطلق منها النتروجين إما عن طريق الذوبان ببطء أو نتيجة لعمليات التحلل البيولوجي البطيء. ومما يعاب على هذه الأنواع من الأسمدة ارتفاع سعر الكيلو غرام نتروجين بها عن مثيلاتها من الأسمدة النتروجينية غير العضوية.

ويتم الحصول على أسمدة بطيئة التحلل بعدة طرق منها:

- أ- استخدام مركبات قليلة أو شحيحة الذوبان وتحتوى على العناصر الغذائية ومن أمثلتها المخلفات العضوية -مركبات اليوريا فورمالدهيد.
- ب- تغليف الأسمدة العادية بمواد راتنجية - أو شمعية أو بالكبريت المعدني.

ت- إدماج الأسمدة السريعة الذوبان في مركبات شحيحة الذوبان .

ث- وضع الأسمدة السريعة الذوبان في كبسولات من البلاستيك .

وعملية تحلل الأسمدة البطيئة التحلل في الأرض تتوقف على النشاط الميكروبي بالتربة، ولذا فهي تتوقف على الظروف البيئية السائدة من حرارة ورطوبة ورقم الهيدروجيني وكل هذه العوامل تؤثر على درجة التحلل وسرعته معا.

والأسمدة بطيئة التحرر مركبات قليلة الذوبان بالماء ويجب أن تمر بتحلل كيميائي أو حيوي لكي يتحرر النتروجين للنبات. والهدف من تصنيع هذه الأسمدة هو لزيادة كفاءة استعمال الأسمدة النتروجينية والتي يفقد منها الكثير من خلال التطاير وعكس النترجة والغسل. ومن المواد المستعملة للتقليل من فقدان النتروجين أو بتعبير آخر السيطرة على تحرره هي مثبطات النترجة ومثبطات اليوريز أو استخدام مركبات قليلة الذوبان بالماء. ومن أمثلة هذه الأسمدة:

• **مثبطات النترجة Nitrification Inhibitors:** وهي مواد ذات تأثير سمي أو تثبيطي لبكتريا النترجة وبالتالي تعيق عملية النترجة لمدة معينة وتقلل من تحول الأمونيوم إلى النترات وبالتالي تقلل من الفقد بصيغة النترات. ومن أهم شروط اختيار المثبط أن يكون تأثيره نوعياً في أحياء النترجة فقط وكلفته الاقتصادية مناسبة.

• **مثبطات اليوريز Urease inhibitors**

• **مركبات قليلة التحلل بالماء low Water Soluble Compounds:**

ومنها :

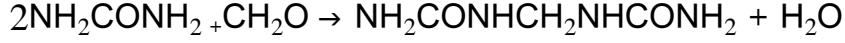
أ- اليوريا المغلفة بالكبريت Sulfur Coated Urea (SCU) يوريا مغلفة بطبقة من الكبريت تحوي 22-38% N. وهي من الأسمدة التي اثبتت كفاءتها لاسيما عندما يكون التغليف جيداً وممكن أن تعد سماداً نتروجينياً وكبريتياً إذ أنها تحوي على 12 - 22 % كبريت. وبعيد إضافة هذا السماد للتربة يبدأ تأكسد الكبريت إلى كبريتات SO_4^{-2} وتتحرر اليوريا ببطء لتتحول بعمليات التحلل المائي والأكسدة الأنزيمية إلى أمونيوم ومن ثم إلى نترات.

ب- **ايزوبيوتيليدين دي يوريا Isobutylidene Diurea (IBDU, 30%N) :**

يحضر هذا السماد من تفاعل اليوريا مع مركب الايزوبيوتيرالدهيد، ويقدر محتواه من النتروجين بـ 32%، ويتميز بانخفاض معدل ذوبانه في الماء، وبإمكانية خلطه مع مواد حاوية على الفوسفور والبوتاسيوم في صورة قابلة للذوبان لتكوين سماد مختلط يحوي على عنصر النتروجين بحالة بطيئة التيسر للنبات.

ت- **اليوريا فورم (اليوريا فورمالدهيد) (Urea Forms (Urea-formaldehydes) :**

ينتج بتكثيف جزيئات اليوريا NH_2CONH_2 مع الفورمالدهيد CH_2O حسب المعادلة الآتية:



ويتصف بكونه أبيض اللون، عديم الرائحة، وتصل نسبة النتروجين في هذا السماد إلى 38% N

4-1-7- مبادئ في التسميد النتروجيني

4-1-7-1- صورة النتروجين Nitrogen form في السماد:

النتروجين الصالح للنبات يتواجد في صورتين هما أمونيومية (كاتيونية) و نتراتية (أنيونية)، ومن الناحية النظرية يفضل الأمونيوم بالنسبة للنبات لأنها تدخل مباشرة في تخليق البروتين، أما النترات فيجب أن تختزل أولاً، أما من الناحية العملية فإن الصورة الأمونيومية تتحول في التربة إلى نترات (التأزت) وهذا يجعل كل الأسمدة النتروجينية متساوية التأثير، لكن الاختلاف بين الصورتين واختيار أحدهما في التسميد يعزى لأسباب أخرى قد تكون للتأثيرات الجانبية الموجودة بالسماد مثل لتأثير الحامضي أو القاعدي.

4-1-7-2- درجة حموضة التربة

رقم حموضة التربة التي يضاف السماد لها هو الذي يحدد الصورة الواجب استخدامها حيث:

- تفضل الصورة النتراتية في الأرض مرتفعة الحموضة pH أقل 5 حيث أنها ترفع رقم حموضة التربة.
- كلا صورتى السماد تقريباً متساويتين في التأثير بالأراضي المتوسطة إلى الخفيفة الحموضة pH (5-7).
- تتفوق الصورة الأمونيومية في الأراضي المتعادلة إلى الخفيفة القلوية حيث أن تأثيرها حامضي على التربة pH (7-7.5).
- لا تستخدم الصورة الأمونيومية في الأراضي المرتفعة القاعدية pH أعلى من 7.5 وذلك لفقدائها في صورة غاز الأمونيا.

4-1-7-3- فقد النتروجين Nitrogen Loss

تساعد الأراضي الرطبة أو الغدقة على فقد النترات في عملية عكس التأزت. تحت ظروف الزراعة بالغمر كما في حالة الأرز وتحت ظروف الغسيل بالأمطار Leaching تكون الصورة النتراتية (أنيون) أسهل في الفقد (لأنها تحمل شحنة سالبة تتنافر مع معقد التبادل السالب الشحنة) عكس الصورة الأمونيومية (كاتيون) التي تمسك على معقد التبادل الذي يحميها من الفقد بالغسيل ولهذا تفضل عند زراعة الأرز. كذلك ارتفاع pH التربة (قاعدي) يؤدي إلى تطاير الأمونيا ويعالج هذا باستخدام طريقة الإضافة المناسبة التي يجب أن تكون في جور أو تكبيش للأسمدة الصلبة.

4-1-7-4 - قوام التربة Soil textuer

فقد النتروجين بالغسيل (الأمطار والري بالغمر) بالأراضي الخفيفة (الرملية) أعلى منه في الأراضي الثقيلة والمتوسطة القوام ويحدث هذا لكلا صورتى عنصر النتروجين ولهذا يجب عدم المغالاة في استخدام مياه الري واستخدام محسنات التربة (الطبيعية والمخلقة) التي تساعد على زيادة قوة حفظ التربة الخفيفة للرطوبة وعدم فقد العناصر الغذائية وإن كان من الناحية العملية يفضل استخدام طرق الري الحديثة أي الري الضغطي (الري بالرش، الري بالتنقيط).

4-1-7-5 - فعالية الأسمدة النتروجينية Action of N Fertilizer:

إن معظم الأسمدة النتروجينية سريعة التأثير، ولكن هذا لا يتمشى مع معدل نمو النبات مما يقلل كفاءة استخدام السماد أو عنصر النتروجين بواسطة النبات ومع ذلك توجد اختلافات بين الأسمدة من حيث سرعة التأثير كما يلي:

الأسمدة النتراتية < الأسمدة الأمونيومية < اليوريا و سيناميد الكالسيوم < الأسمدة بطيئة الذوبان. وفائدة هذه أنه عند ظهور أعراض نقص فجأة لأسباب عديدة قد تكون إحداها زيادة النمو بدرجة كبيرة (زيادة الحاجة للنتروجين) يكون العلاج السريع بإضافة سماد نتروجيني سريع التأثير مثل السماد النتراتي، ولذلك يطلق على الأسمدة النتراتية تعبير أسمدة سطحية (Top Fertilizer) كذلك يمكن أن يكون التأثير الفوري (السريع) عن طريق رش السماد ورقياً. كذلك يلاحظ أن الأسمدة الأمونيومية قد تتساوي في السرعة مع الأسمدة النتراتية لسرعة تحول الأولي في التربة إلي نترات كما ذكر سابقاً، ويفيد هذا أنه عند القيام بوضع برنامج تسميد لابد أن يضاف في أول حياة النبات سماد سريع التأثير وحتى لا يحدث فقد للنتروجين ورفع كفاءة استخدامه يضاف مع السماد السريع التأثير سماد بطئ التأثير حتى يعطي النبات احتياجاته عند جميع مراحل نموه المختلفة ولذلك نجد بعض المصانع تنتج سماداً نتراتياً (سريع) مع سماد بطئ الذوبان.

4-1-7-6 - زيادة كفاءة الأسمدة النيتروجينية Increasing of the efficiency of N

fertilizers.

كما ذكر من قبل إن معظم الأسمدة النتروجينية سريعة التأثير (الفعالية) ولهذا عند إضافتها للنبات يأخذ النبات احتياجاته عند فترة الإضافة وقد يحدث امتصاص ترفي عند هذه الفترة (زيادة امتصاص النيتروجين دون زيادة النمو) وبهذا يحدث فقد لباقي كمية النتروجين عند هذه الفترة مما يقلل كفاءة استخدام النبات للسماد النتروجيني ولا يحصل النبات على احتياجاته من العنصر عند مراحل نموه الفيزيولوجية الأخرى التي هي في حاجة ماسة عندها للنتروجين والتي ذكر بعضها عند الحديث عن الأسمدة بطيئة الذوبان وفيما يلي نعدد الوسائل التي تستخدم لتقليل ذوبان السماد النتروجيني وبالتالي زيادة كفاءة استخدامه:

- ربط السماد النتروجيني الذائب في صورة مركبات حلقيه تقلل من ذوبانه.

- تغليف السماد بطبقة صعبة التحلل حيث لا تتحلل إلا تحت ظروف معينة قد تكون طبيعية أو كيميائية أو ميكروبيولوجية والأخيرة مثل اليوريا المغلفة بالكبريت
- تغليف السماد السريع الذوبان بطبقة تقلل هجرة السماد خارجها عن طريق تغليفه بطبقة بلاستيكية مثقبة أو مادة راتنجية تتحكم في انتشار السماد للخارج أو يحدث انفجار للغشاء المغلف عند الامتصاص الجيد للماء.
- إضافة المواد المثبطة وهي إما مثبطات للتازت أو مثبطات اليورياز والهدف من هذه المثبطات تقليل تكوين النترات أو الأمونيوم على التوالي وبالتالي تقليل وسائل الفقد.
- لارتفاع أسعار الوسائل السابقة رغم أنها فعالة إلا أن أرخص الوسائل هي تقسيم معدلات السماد على مراحل نمو النبات المختلفة.

4-1-7-7- معدل الاستخدام والتأثير المتبقي للأسمدة النتروجينية Utilization rate and Residual effect of N fertilizers

لابد أن يكون القائم بوضع برنامج التسميد على دراية بكفاءة استخدام السماد، لأن ذلك يساعده عند تقدير حاجة التربة للتسميد، بأن يضيف المعدل المطلوب بكمية أكبر طبقاً لمعامل كفاءة الاستخدام، حتى يصل للنبات الكمية المطلوب إضافتها فمثلاً إذا كان المطلوب إضافة 70 كغ نتروجين/هكتار وكانت كفاءة استخدام السماد النتروجيني المضاف أرضي تصل إلي 60% فإن الكمية الواجب إضافتها تساوي:

$$116.6 \text{ كغ نتروجين} = 60 / (100 * 70)$$

كذلك معرف التأثير المتبقي يفيد في تقدير الكمية الواجب إضافتها في العام المقبل حيث كلما زاد التأثير المتبقي قلت الكمية المستخدمة من السماد وبالتالي تقل تكاليف المحصول. وعموماً فإن كفاءة استخدام النتروجين بالأسمدة النتروجينية المضافة أرضي تتراوح بين (50-60%) للأسمدة المعدنية و (20-30%) للأسمدة البلدية وفي حالة التسميد الورقي تصل إلى 80%. أما عن التأثير المتبقي في السنة الأولى يصل إلى 10% ويقل بعد ذلك ولكن بعد عدة سنوات يجب أن نحصل على أعلى استخدام للسماد وفي نفس الوقت يستحيل أن نصل إلى كفاءة 100% نظراً لتثبيت نتروجين السماد في الدبال وجزء آخر يفقد في صورة سائلة بالغسيل أو في صورة غاز (يصل الفقد 15%) وقد يفقد جزء آخر من العنصر في صورة أكاسيد نتروجين نتيجة عملية عكس التآزت تحت ظروف عالية من الرطوبة بالتربة فيحدث اختزال في الظروف الغدقة (يصل الفقد 20%).

4-1-7-8- التآثيرات الجانبية للأسمدة النتروجينية:

- بعض الأسمدة النتروجينية تقوم بدور في المقاومة كمبيد للحشائش والحشرات والفطريات مثل سيناميد الكالسيوم.
- المركبات الوسطية الناتجة عند تحلل الأسمدة النتروجينية قد تكون سامة مثل سيناميد الكالسيوم ينتج عنه السيناميد أو قد يكون أحد مكوناتها ضار بالتربة والنبات مثل نترات الصودا الشيلي (سماد طبيعي) ويحتوي على الصوديوم الذي باستمرار استخدامه بالأراضي القاعدية التأثير يمكن أن يحولها إلى تربة صودية ذات خصائص سيئة للنبات كما أن عنصر البورون به يجعله صالح للشوندر ولكن قد يضر بالنباتات الحساسة للبورون كما يحتوي على مركب بيركلورات البوتاسيوم الذي يجعل السماد غير صالح للرش الورقي.
- الإمداد بالعناصر الأخرى بجانب عنصر النتروجين فمثلاً سلفات النشادر تمد النبات بعنصر الكبريت ونترات الكالسيوم تمده بالكالسيوم ونترات الصوديوم تمده بالصوديوم.
- استخدام الأسمدة عموماً يساعد علي زيادة النشاط الميكروبي بالتربة، وهذا يعمل على زيادة صلاحية العناصر الموجودة أصلاً بالتربة في صورة غير صالحة.
- التأثير على pH التربة فقد يؤدي السماد إلى زيادة حموضة الوسط (التربة) عن طريق خفض رقم pH التربة ومن فوائد هذا زيادة صلاحية العناصر بالتربة مثل العناصر الصغرى (Fe, Mn, Cu, Zn) أو الفوسفور الذي يحتاج (pH= 5-7) لزيادة صلاحيته ولكن قد يكون هذا ضاراً في زيادة محتوى التربة من المعادن الثقيلة والعناصر الصغرى حيث زيادة الصلاحية عن حد معين تؤدي إلى سمية النبات والتي تؤثر على الإنسان والحيوان المستهلك لهذه النباتات، أيضاً قد يكون للسماد تأثير على زيادة قاعدية التربة أي رفع رقم pH التربة وهذا يؤدي إلى نقص صلاحية العناصر الصغرى والفوسفور ولكن يفيد هذا في زيادة صلاحية عنصر الموليبدنيوم و ترسب المعادن الثقيلة الضارة بالتربة. ويلاحظ أن تأثير السماد على رقم pH التربة الذي يكون من خلال تأثير السماد نفسه في محلول التربة (بعد الري) كمركب كيميائي. والتأثير الأقوى للسماد هو التفاعل الفيزيولوجي للسماد بمعنى أنه في حالة سلفات النشادر يقوم النبات بامتصاص أيون الأمونيوم وتتراكم الكبريتات بالتربة التي تخفض رقم pH (زيادة حموضة التربة) كذلك نترات الكالسيوم حيث يقوم النبات بامتصاص أيون النترات الكالسيوم بالتربة مما يؤدي لتراكم الكالسيوم بالتربة الذي يرفع رقم pH (زيادة قاعدية التربة).
- وعموماً الأسمدة الأمونومية (سلفات النشادر، نيرات النشادر، اليوريا، الأمونيا، نترات النشادر الجيرية) تؤدي لزيادة حموضة التربة (خفض رقم الـ pH) والعكس الأسمدة النتراتية (نترات الكالسيوم، نترات الصوديوم، سيناميد الكالسيوم) تؤدي لزيادة قاعدية التربة (رفع رقم الـ pH).

- التأثير الملحي Salt effect الأسمدة عبارة عن أملاح تضاف للتربة ولذلك فإن الإسراف في استخدامها يزيد الضغط الأسموزي لمحلول التربة، وبهذا تسلك سلوك الأملاح بالتربة ويطلق عليها اصطلاح الضرر الملحي.
- يراعي عدم الإسراف في استخدام الأسمدة النتروجينية حيث يجب أن تحسب الكمية المثلى الواجب إضافتها وهي عبارة عن الفرق بين الكمية الموصى بها لمحصول معين والكمية الموجودة بالتربة.
- يراعي عدم الإسراف في مياه الري خصوصا بعد وضع المقرر السمادي حتى لا يغسل السماد في أي نوع من أنواع التربة والحذر الشديد بالأراضي الخفيفة.
- طريقة الإضافة لابد أن تتماشى مع نوع السماد ونوع التربة حتى لا يحدث فقد للسماد فمثلا: الأسمدة الأمونيومية لابد أن تضاف على عمق في جور أو تكبيشاً بالأراضي ذات رقم الـ pH المرتفع حتى لا يتطاير السماد في صورة أمونيا. الأراضي الرملية يفضل إضافة السماد مع ماء الري بالطرق الحديثة (الري بالرش، الري بالتنقيط).
- في حالة نقص العناصر الغذائية ولإعطاء جرعة سمادية يعالج بسرعة هذا النقص ويفضل استخدام سماد نتراتي حيث يضاف نثراً ثم نروي رية خفيفة، والأفضل الرش لأن كفاءة استخدامه بواسطة النبات مرتفعة جداً حتى في حالة التسميد دون ظهور أعراض النقص.
- يجب أن يوضع في الاعتبار اختلاف المحاصيل المختلفة في احتياجاتها السمادية حيث تحتاج المحاصيل الورقية النتروجين بمعدلات كبيرة مقارنة مع P, K.

4-1-7-9- فلسفة التسميد الآزوتي:

- الأسمدة الآزوتية هي تاج التسميد، ومفتاح زيادة الإنتاجية ومن أكثر العوامل المحددة لها أهمية على الإطلاق، حيث يمكننا الحصول على الإنتاج الأعظمي من إضافة الأسمدة الآزوتية عندما تكون باقي العوامل تحت قانون الحديدية.
- فلسفة التسميد الآزوتي أن الآزوت يغسل عندما يكون نتراتياً ويثبت أو يفقد بالتطاير عندما يكون أمونياكياً، لذا لا يمكن تأمين احتياطي زمني محدد للآزوت في التربة، مما يستدعي إضافة الأسمدة الآزوتية على دفعات.
- بما أن النترات NO_3^- أنيون والأمونيوم NH_4^+ كاتيون، لذا فقد الآزوت عند استعمال أسمدة نتراتية أكبر من الفقد عند استعمال أسمدة أمونياكية، وذلك لأن شاردة الأمونيوم تدمص على سطوح الغرويات السالبة في حين أن شاردة النترات لا تدمص، ويكون الفقد في الترب الرملية أكبر مقارنة مع الترب الطينية.
- سرعة تحرر الآزوت من الأسمدة الآزوتية العضوية و الأمونية في الظروف المناسبة (حرارة ورطوبة وتهوية)، يجعله عرضةً للفقد بالرشح. كما أن فقد الآزوت على شكل غاز

عند إضافة الأسمدة إلى الترب الكلسية والقاعدية وعلى سطح التربة مباشرة ، قد يصل الى حد السمية.

- من وجهة نظر المحصول، التركيز العالي والمستمر لأيون الأمونيوم في التربة (عند وجود ظروف غير مناسبة لعملية النترجة بفعل إضافة المبيدات) وكذلك زيادة تركيز شوارد النترت NO_2^- السامة (نتيجة زيادة القلوية) يمكن أن يؤثر في نمو بعض المحاصيل مثل التبغ والبندورة، لذا يفضل إضافة الأسمدة النترتية في مثل هذه الحالة.
- من وجهة نظر التربة، تأثير نوع السماد الآزوتي في زيادة أو خفض درجة تفاعل التربة حموضةً أو قلويةً، إما لصالح زيادة إتاحة العناصر أو لصالح زيادة سميتها للمحاصيل، من شأنه زيادة أو خفض الإنتاجية، يتبعه تحسن أو تدهور خصائص التربة، تبعاً للأيون المرافق.
- فعالية وتفضيل نوع سماد آزوتي على آخر عند توفر الظروف المناسبة تتحدد بالأيون المرافق، وكذلك احتواء السماد على عناصر ثانوية أو صغرى، إضافة الى طريقة وموعد التسميد، وتبقى الجدوى الاقتصادية العامل المحدد لاختيار مصدر الآزوت.

جدول (4-2): أهم الأسمدة الآزوتية

السماذ	الصيغة الكيميائية	% الآزوت
نترات الأمونيوم	NH_4NO_3	33
سلفات الأمونيوم	$(NH_4)_2SO_4$	21
نترات الصوديوم	$NaNO_3$	16
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2$	15.5
الأمونيا	NH_3	82
اليوريا	$(NH_2)_2CO$	45
سياناميد الجير	$CaCN_2$	22
فوسفات أحادية الأمونيوم (48 % P_2O_5)	$NH_4H_2PO_4$	11
فوسفات ثنائية الأمونيوم (46-48 % P_2O_5)	$(NH_4)_2HPO_4$	18-16
كالنترو	$NH_4NO_3 + Ca.Mg(CO_3)_2$	20
سلفونترات الأمونيوم	$(NH_4)_2SO_4.NH_4.NO_3$	26
نتروشوك	$NH_4NO_3 + CaCO_3$	15.5

المصدر: الشاطر و البلخي، 2017 (الأسمدة والتسميد) و أبونقطة والشاطر، 2011 (الأسمدة والتسميد)

الفصل -4- الباب-2- الفوسفور Phosphorus والأسمدة الفوسفاتية

4-2-1- الفوسفور في التربة Phosphorus in Soil

يتشابه الفوسفور مع النتروجين والبوتاسيوم من حيث الأهمية بالنسبة للنبات، وذلك على الرغم من وجوده في الأنسجة بكميات أقل من هذين العنصرين، ويختلف الفوسفور عن النتروجين في ميله للتثبيت من خلال تفاعله مع المكونات المختلفة للتربة، لتشكيل مركبات صعبة الذوبان تحد من قابليته لإفادة النبات. يتفاوت محتوى الصخور المكونة للتربة من الفوسفور بين 0.01-0.2% أما التربة فيتراوح محتواها من الفوسفور الكلي عادةً بين 0.1-0.02 و يلاحظ أعلى محتوى من الفوسفور في الجزء العلوي من الأفق (A)، بينما يلاحظ أخفض مستوى في الجزء السفلي من الأفق (A) والجزء العلوي من الأفق (B) بسبب امتصاص النبات له، ويمكن القول إن محتوى التربة من الفوسفور يتعلق بعوامل عديدة أهمها طبيعة المواد الأم المكونة للتربة ودرجة تجويتها و المناخ. عموماً تكون الترب المتشكلة من صخور أم بركانية حامضية فقيرة المحتوى بالفوسفور، بينما الترب المتشكلة من صخور أم بركانية قاعدية تكون متوسطة إلى غنية المحتوى بالفوسفور. وتحتوي الترب الكلسية المنتشرة في المناطق الجافة على كميات مرتفعة من الفوسفور الكلي غالباً نظراً لاحتوائها على كميات ملموسة من فلز الأباتيت ولانخفاض معدل الغسيل فيها (ترب قليلة التطور).

4-2-1-1- ظاهرة تثبيت (حجز) الفوسفور في التربة Phosphorus Fixation (Retention) in Soil :

يقصد بعملية تثبيت الفوسفور في التربة تحول الأشكال الذائبة من الفوسفات ($H_2 PO_4^-$, HPO_4^{-2}) سواء الناتجة عن الأسمدة الفوسفاتية المضافة للتربة، أو عن تجوية الفلزات الأولية والثانوية الحاوية على الفوسفات، أو الناتجة عن معدنة المادة العضوية إلى أشكال قليلة الإتاحة أو غير متاحة للنبات. ويمكن أن تتم عملية الحجز هذه بآليات شتى أهمها الترسيب Precipitation والادمصاص.

4-2-1-1-1- آلية تثبيت الفوسفور (Phosphate Fixation) بالادمصاص في الترب الكلسية والحامضية:

أ- الادمصاص في الترب الكلسية:

وبالرغم من أن ميكانيكية تثبيت الفوسفات تم التطرق إليها والبحث فيها لأكثر من قرن ومن أكثر من باحث بدءاً بالعالم Way، 1850 إلا أنها لم تصل إلى درجة من الوضوح المتفق عليه بين

الباحثين. والبعض يسميها الامتصاص الكيميائي (Chemisorption)، وقد ظهرت عدة اتجاهات:

أما الاتجاه الأول، فقد دلت عليه نتائج الأبحاث الأولية حول التفاعل بين الفوسفور وأسطح الكالسيت، وقد بينت إمكانية تشكل ثنائي فوسفات الكالسيوم ($DCP, CaHPO_4$) وهذا يلاحظ بشكل خاص عندما يتبع عملية تشكل DCP عملية تحول الشكل غير المتبلور (Amorphous) إلى الشكل المتبلور (Crystalline) في الأطوار الصلبة، ومن ثم تحوله إلى ثنائي فوسفات الكالسيوم ($OCP, Ca_8(HPO_4)_2(OH)_2$)، وفي نظام ذي تركيز فوسفور منخفض وظروف تعيق دون تحول OCP إلى DCP يمكن أن يتشكل هيدروكسي الأباتيت $[HAp, Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ ، وهذا ما أكدته نتائج الأشعة السينية $X-ray$ diffraction، حيث إن الفوسفور يتنامى بشكلي DCP و OCP على أسطح الكالسيت وهما الشكلان السائدان، علماً أن نسبة التغطية لم تتجاوز بشكل عام أكثر من 5% حتى عند التراكيز العالية للفوسفور. كما أن هذه الأبحاث فرقت بين الامتصاص الأولي وعملية ترسيب الفوسفور على شكل ثنائي فوسفات الكالسيوم ($DCP, CaHPO_4$) وغالباً ما يرتبط امتصاص الفوسفور بمحتوى التربة من كربونات الكالسيوم.

وأما الاتجاه الثاني، فقد أشارت إليه الأبحاث المتعلقة بدراسة الكلس الفعال، وفيه أيضاً يتحكم الطور الصلب لثنائي فوسفات الكالسيوم بدويانية الفوسفور، بالرغم من الاختلافات في ثوابت جداء الذوبان، ويشمل الارتباط الأولي امتصاصاً كيميائياً (Chemisorption) للفوسفور في الجزيئات، منتجاً مركبات كان يعتقد أنها غير متبلورة، إلا أنه تبين فيما بعد أنها ذات بنية كيميائية محددة، وأن الامتصاص الكيميائي الأولي يتضمن تشكل DCP ويمكنه وصفه بمعادلة لانغمير، ثم يتشكل OCP في نظام ذي طاقة منخفضة.

تحدث عملية الامتصاص الكيميائي (Chemisorption) بشكل سريع نسبياً، يليها فترة الحث، ومن ثم الترسيب، وإن الفترة الممتدة بين عملية الامتصاص (Sorptions) وتكوين البلورات (تشكل هيدروكسي الأباتيت) يطلق عليها فترة الحث (Induction Period) وهذه الفترة تطول أو تقصر حسب نوع التربة، ونوع السماد المضاف، وكمية وموعد الإضافة، وعامل الزمن والظروف المناخية المحيطة. ويلاحظ مع الانتقال من DCP إلى HAP أن هناك تزايداً في نسبة الكالسيوم إلى الفوسفات يصاحبها تناقص في درجة ذوبانية هذه المركبات، أي أن زيادة الكالسيوم يقود التفاعل باتجاه الترسيب والتبلور، لذا فإن التربة ذات المحتوى العالي من الكالسيوم والرقم الهيدروجيني المتعادل إلى القاعدي، يكون الاتجاه المتبلور مستمراً والوصول إلى الصيغة الأكثر تبلوراً (الأباتيت) متوقعاً. وفي التربة الكلسية يتحول ثنائي فوسفات الكالسيوم بمرور الزمن إلى طور ثنائي فوسفات الكالسيوم وأحياناً إلى $(\beta-TCP)$ ذي الصيغة -

$Ca_3(PO_4)_2$ ، إلا أن عملية التحول هذه لا تتم بسرعة عالية وتكون أحياناً غير مباشرة، لأن تركيز الفوسفات في المحلول لا يصل عادة إلى المستوى العالي الكافي للترسيب، فضلاً عن أن الامتصاص (Sorptions) السريع يخفف تركيز الفوسفات تحت القيمة الحرجة للترسيب. هذا وقد استطاع قسم من الباحثين تشخيص ثماني فوسفات الكالسيوم واستطاع قسم آخر تشخيص حتى الهيدروكسي أباتيت. ويعتبر الأباتيت (HAP) أكثر أشكال الفوسفور المستقرة في الترب الكلسية، بينما تعتبر DCP و OCP والمراحل الاستقرارية للأباتيت نسبياً أكثر ذوبانية. ويشير بعض الباحثين إلى أن ميكانيكية تثبيت الفوسفات في الترب الكلسية هي عملية إحلال لأيون الأورثوفوسفات محل أيون الكربونات CO_3 مكونة طبقة سطحية بتفاعل يمكن وصفه بمعادلات الادمصاص، إلا أن هذا النوع من التفاعل محدد بتركيز الفوسفات المضافة ويحدود 9.3 ملغ فوسفور/ل ودرجة التفاعل التي تحدد فعالية الكالسيوم في محول التربة، أما عند زيادة التراكيز فيتكون مزيد من الطبقات ويحدث الترسيب.

وأما الاتجاه الثالث، فقد أشارت الأبحاث إلى أن امتصاص (Sorptions) الفوسفور في الترب الكلسية يمكن أن يتحكم به وجود أكاسيد الحديد بشكل مماثل للترب الحامضية. فقد بينت نتائج الأشعة السينية (XANES) تواجد فوسفات الكالسيوم في الترب الحامضية وفوسفات الألمنيوم في الترب الكلسية. إن ادمصاص الفوسفات على سطوح الطين قليل الاحتمال في حالة الرقم الهيدروجيني المرتفع لأن الغرويات في هذه الحالة تكون ذات شحنة سالبة عند $pH > 7$ ، ولكن يحتمل حدوث الادمصاص على سطوح هيدروكسيد الحديد أو هيدروكسيد الألمنيوم. و أن أسطح أكاسيد الحديد ذات الطاقة الادمصاصية العالية أكثر أهمية من كربونات الكالسيوم في تفاعلات ادمصاص الفوسفور في الترب الكلسية. كما أن دور أكاسيد الحديد يتعلق بكميتها ونوع هذه الأكاسيد. وتتواجد أكاسيد الحديد اللاسيليكاتية (Fe_0) في التربة بشكلين هما المتبلور (Crystalline) وبدورها تقسم إلى قسمين متبلورة وضعيفة التبلور (Poorly Crystalline) وغير المتبلورة (amorphous: Fe_0) وبدورها أيضاً تقسم إلى قسمين عضوية وحررة (Free)، ويتم استخلاص الأكاسيد لاسيليكاتية Fe_0 بواسطة Citrate Bicarbonate Dithionite (CBD)، بينما يتم استخلاص الأكاسيد غير المتبلورة (amorphous: Fe_0) بأوكزلات الأمونيوم. وتعتبر النسبة بين Fe_0/Fe_0 هي المحددة لدور أكاسيد الحديد في تثبيت الفوسفور. وبشكل عام يكون محتوى الترب الكلسية من أكاسيد الحديد غير المتبلورة (Fe_0) ضئيلاً جداً، و في الترب ذات الرقم الهيدروجيني (7.3-8.1) تكون معظم أكاسيد الحديد المستخلصة في التربة موجودة على شكل متبلور. وتصبح هي المسؤولة عن تفاعلات امتصاص الفوسفور عندما تتواجد بكميات محسوسة، وذلك بسبب مساحة سطحها النوعي الكبير.

إن آلية تثبيت أكاسيد الحديد للفسفور، تبدأ بتفاعل سريع، يمكن وصفه بادمصاص كيميائي (Chemisorbed) على سطوح مجموعات أكاسيد الحديد النشطة من خلال تشكيل الجسور، حيث أن مجموعات الهيدروكسيل أو جزيئات الماء تتحرر من السطوح و تشكل جسور فوسفاتية معقدة بين جذور الأورثوفوسفات و سطوح أكاسيد الحديد. وهذا التفاعل الامتصاصي Sorption (reaction) يكون قوياً وغير عكوس، وغالباً ما يكون الفوسفور المدمص بهذه الآلية غير متاح للنبات. وأن آلية تثبيت الفوسفات من قبل أكاسيد الحديد بالروابط الطرفية (Inner-sphere) تتعلق بنوع الأكاسيد الموجودة Hematite (Goethite: $(\alpha\text{-FeOOH})$ oxy-hydroxide , $(\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3)$ di-octahedral) وهذه الآلية تكون أكثر وضوحاً على سطوح Goethite من سطوح Hematite. يلي عملية الادمصاص (Adsorption) السريعة للفوسفات على سطوح الأكاسيد، انتشار بطيء للفوسفور داخل الأكاسيد مع مرور الزمن. وهذه العملية تتعلق بالرقم الهيدروجيني، كما ويصعب التمييز بين آليتي الامتصاص (Sorptions) والترسيب. ويعتقد بعض الباحثين أن آلية الانتشار البطيئة للفوسفور في مسامات الأكاسيد غير المتبلورة هي عملية تفاعل (Reaction) أكثر من كونها عملية ترسيب إلا أنه وفي المدى البعيد تحدث عملية الترسيب. وفوسفور الأسمدة المضافة يحتجز بشكل تقاضي في أكاسيد الحديد ضعيفة التبلور (ferrihydrite).

وأما الاتجاه الرابع، فإنه يشير إلى التحكم النسبي لكريونات الكالسيوم وأكاسيد الحديد في تثبيت الفوسفور في التربة الكلسية، وقد دلت الأبحاث أن تثبيت الفوسفور زاد مع زيادة نسبة أكاسيد الحديد إلى كريونات الكالسيوم، وأن وجود نسبة مقدارها (1.6%; w/w) من Fe_2O_3 مطلية على الكالسييت، تزيد السعة الادمصاصية للفوسفور بمقدار تسعة أضعاف. وأن ادمصاص الفوسفور ينخفض وتحرره يزداد عند معاملة التربة بمحلول dithionite-citrate، بينما يزداد ادمصاص الفوسفور من 2 إلى 5 مرات عند معاملة التربة بحمض كلور الماء مقارنةً مع معاملة التربة dithionite-citrate.

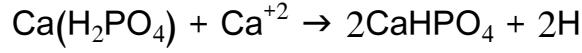
ب-الادمصاص على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم في التربة الحامضية:

يمكن أن يتم ادمصاص أنيونات الفوسفات على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم، من خلال مبادلتها مع أنيونات الهيدروكسيل، وقد يحد ادمصاص مباشر لأنيونات الفوسفات على سطوح تلك الأكاسيد، ويمكن القول أن هذا الادمصاص يتم على عدة مراحل. حيث يتم في المرحلة الأولى ادمصاص أنيون فوسفات نتيجة المبادلة مع أنيون الهيدروكسيل، وفي المرحل الثانية تحرر الفوسفات المدمصة كاتيون الهيدروجين لتشكل شحنة سالبة إضافية تمكنها من الارتباط بموقع ثان على سطح الأكسيد. ويمكن للفوسفور أن يثبت في التربة الحامضية بشكل طبقات متعاقبة في أكاسيد الحديد والألمنيوم الأمر الذي يجعل ادمصاص الفوسفور في التربة الحامضية

شبه لا منتهٍ. ويدعى الفوسفور المحصور بين طبقات الحديد والألمنيوم بالفوسفور المحبوس Occluded-P ولا يمكن للنبات أن يستفيد من هذا الفوسفور إلا في ظروف خاصة كما هو الحال في ظروف الغدق التي تشجع إرجاع الحديد ليصبح الأكسيد عندئذ جيد الذوبان مما يساعد على تحرر الفوسفور منه.

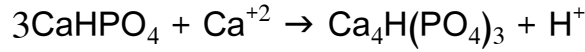
4-2-1-1-2- ترسيب الفوسفور Precipitation:

أ- **الترسيب في الترب الكلسية:** تحتوي الترب الكلسية والقاعدية على كميات وافرة من كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم ومركبات هذين العنصرين وبخاصة مركبات الكربونات مثل الكالسيت $CaCO_3$ ووالدولوميت $CaMg(CO_3)_2$ وفي مثل هذ الظروف تتفاعل الأنيونات الفوسفاتية مع كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم لتتكون مركبات فوسفاتية مختلفة في درجة ذوبانها، وبالتالي في مدى إتاحتها أو قابليتها لإفادة النبات:

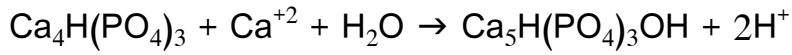


Mono -Ca⁺² -phosphate

Di-Ca -phosphate

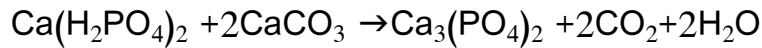


Octa-Ca-phosphate



Hydroxy apatite

كما يمكن لأنيونات الفوسفات الأحادية أن تتفاعل مع كربونات الكالسيوم لتتشكل فوسفات الكالسيوم الثلاثية:



Tri -Ca- phosphate

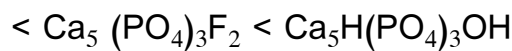
كما هو معروف فإن درجة ذوبان الفوسفات تنخفض وفق الترتيب التالي:



كما أن ذوبان مركبات فوسفات الكالسيوم ينخفض وفق الترتيب التالي:

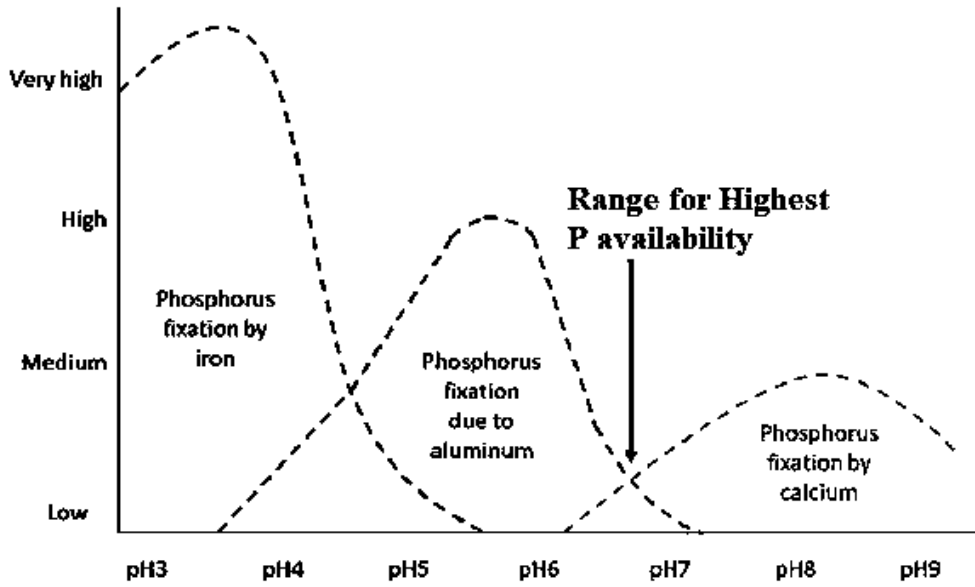


Octa-Ca-phosphate < Di-Ca -phosphate < Mono -Ca⁺² -phosphate



Fluor apatite < Hydroxy apatite

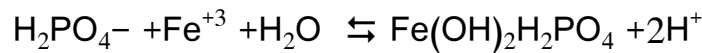
ويتضح مما سبق أن جزءاً كبيراً من الفوسفور المضاف أو المتحرر في التربة نتيجة معدنة المادة العضوية وتجوية الفلزات الحاوية على الفوسفور سوف يتحول إلى صور غير ميسرة للنبات، وذلك لتحويله إلى فوسفور غير قابل للحركة Non Labile Phosphorus. يفترض على نطاق واسع أن عملية ادمصاص الفوسفور تسود عند التراكيز المنخفضة للفوسفور، بينما تسود عمليات الترسيب في التراكيز المرتفعة. ويرتبط هذا بدرجة التفاعل والمادة العضوية، وأن الادمصاص قبل حدوث الترسيب، مرتبط بمركبات الحديد والمنغنيز. كما أنه عند التراكيز المنخفضة يدمص الفوسفور على كربونات الكالسيوم في شكل طبقة أحادية، أما عند التراكيز المرتفعة فيترسب على شكل ثنائي فوسفات الكالسيوم أو ثنائي فوسفات الكالسيوم (شكل 4-1).



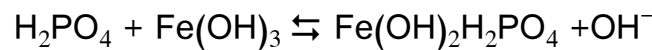
شكل (4-1): تثبيت الفوسفات في التربة

ب- الترسيب Precipitation في الترب الحامضية

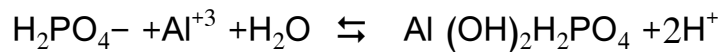
يمكن لأنيونات الفوسفات أن تتفاعل في الترب الحامضية بسرعة مع كاتيونات الحديد أو الألمنيوم والمنغنيز أو أكاسيدها الموجودة بوفرة في مثل هذا الترب مشكلة مركبات ضعيفة الذوبان، كما هو موضح في المعادلات التالية:



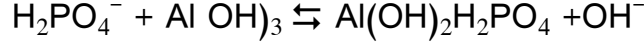
Stringit



Stringit



Variscite



Variscite

وعلى اعتبار أن تركيز الحديد والألمنيوم في محلول التربة يفوق كثيراً تركيز أيونات الفوسفات في الترب الحامضية، تتجه التفاعلات بين أيونات الفوسفات وكاتيونات الحديد والألمنيوم نحو تشكيل مركبات الفوسفور غير الذوابة.

4-2-1-1-3- الإدمصاص على فلزات الطين

1- في الترب الكلسية: يستطيع الطين المشبع بالكالسيوم في التربة القاعدية أن يجذب إلى سطحه أيونات الفوسفات، حيث تؤدي شوارد الكالسيوم دور الجسر الذي يربط الأيونات الفوسفاتية بفلز الطين. و يعتقد أن الكمية المدمصة من الفوسفات بهذه الآلية تزداد بزيادة محتوى التربة من الطين نموذج 1:2 وبخاصة فلز المونتموريللونيت Montmorillonite .

2- في الترب الحامضية: يمكن أن تدمص أنيونات الفوسفات على سطوح فلزات الطين وبخاصة فلز الكاؤولينيت، في ظروف الترب المائلة للحموضة، و يعتقد أن هناك تبادلاً أيونياً يحدث بين أنيون الفوسفات وأنيون هيدروكسيل (أو أكثر) موجود في الهيكل البنائي لفلز الطين وقد تحدث عملية إحلال أيوني متمائل Isomorphous Ion Substitution لأنيون الفوسفات مكان أنيون السيليكات في شريحة رباعيات الوجوه Tetrahedral حيث أشارت نتائج بعض الدراسات إلى أن تركيز السيليكات في معلق التربة يزداد بزيادة كمية الفوسفات المضافة، وفي كافة الأحوال فإن حجز الفوسفور بهذه الطريقة يجعله غير ميسر للنبات.

4-2-1-2- العوامل المؤثرة في إتاحة الفوسفور:

1- المادة العضوية:

إن العمليات الجيوكيميائية (Geochemical) تحدد توزع الفوسفور في المدى البعيد (Long-term)، بينما تؤثر العمليات الحيوية (Biological) في المدى المنظور (Short-term) على حركة وتوزع أشكال الفوسفور غير المستقرة في الترب، وذلك لأن الفوسفور المتاح يشتق من المادة العضوية، لذا تلعب المادة العضوية دوراً إيجابياً في إتاحة الفوسفور في التربة، بسبب النشاط الميكروبيولوجي الذي يساعد على خفض الرقم الهيدروجيني للتربة من خلال الأحماض العضوية، وبالتالي زيادة ذوبانية المركبات الفوسفاتية. كما يمكن لبعض الأنيونات الناتجة عن تحلل المادة العضوية أن تتفاعل مع كاتيونات الحديد أو الألمنيوم، أو تتبادل مع أنيونات الفوسفات المدمصة أو تنافسها على مواقع الإدمصاص، وكذلك يمكن للمادة العضوية أن تكون مصدراً للفوسفور من خلال عملية المعدنة التي تخضع لها. أن المركبات الدبالية تشكل معقدات مع المكونات المعدنية لأسطح الطين، وهي التي تجذب الفوسفور وتحتفظ به.

ويمكن تلخيص الدور الايجابي للمادة العضوية في إتاحة الفوسفور بما يلي:

- انطلاق غاز CO_2 عبر معدنة المادة العضوية، وكننتيجة للنشاط الميكروبيولوجي المرافق لذلك مما يساعد على خفض الرقم الهيدروجيني pH للتربة ويزيد من ذوبان المركبات الفوسفاتية: $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$
- تعمل الغرويات العضوية على تغليف الأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم، وبالتالي تقلل من فرص اتحادها مع الفوسفات.
- يمكن لبعض الأنيونات الناتجة عن تحلل المادة العضوية مثل الهيومات Humate والسترات Citrate والطرترات Tartrate والأوكزالات Oxalate أن تتفاعل مع كاتيونات الحديد و الألمنيوم أو تتبادل مع أنيونات الفوسفات المدمصة، أو تتنافس معها على مواقع الامصاص.
- تعد المادة العضوية بحد ذاتها مصدراً للفوسفور في التربة، والذي يتحرر بصورة قابلة لإفادة النبات من خلال عملية المعدنة التي تخضع لها المادة العضوية في التربة.
- يمكن للذبال المتشكل في التربة أن يرتبط مع أنيونات الفوسفات عبر جسور كاتيونية من الحديد أو الألمنيوم لتتشكل معقدات ذبال -حديد- فوسفات، أو ذبال- ألمنيوم- فوسفات يمكن أن يستفيد منها النبات بسهولة.

2- التأثير الفيزيولوجي للأسمدة الكيميائية : تساعد إضافة الأسمدة الكيميائية ذات التأثير الفيزيولوجي الحامضي كالأسمدة الأمونياكية على زيادة ذوبان الفوسفات في التربة، وبالتالي تزداد الكمية القابلة للإفادة من الفوسفور في التربة عند إضافة هذه الأسمدة.

3- درجة الحرارة: تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور بزيادة درجة الحرارة حيث تبين أن تثبيت الفوسفور في ترب المناطق الحارة يكون أكبر مما هو عليه في ترب المناطق المعتدلة.

4- زمن التفاعل : كلما زاد زمن التلامس بين أيونات الفوسفات ومكونات التربة، كلما ازدادت الكمية المثبتة من الفوسفات. ويختلف الزمن اللازم لتحول الفوسفات المضافة للتربة من شكل متاح للنبات إلى آخر غير متاح للنبات من تربة لأخرى. ففي الترب ذات القدرة العالية على تثبيت الفوسفور يكون هذا الزمن قصيراً، بينما في ترب أخرى قد يطول هذا الزمن لمدة شهر أو أكثر . ويكتسب هذا الأمر أهمية خاصة من الناحية العملية، ولا بد أن يؤخذ بعين الاعتبار عند تحديد طريقة إضافة السماد الفوسفاتي وفيما إذا كان هذا السماد سيضاف دفعة واحدة أو على عدة دفعات.

5- نسبة ونوع معدن الطين: تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور في التربة عموماً بزيادة النسبة المئوية للطين في التربة. فالتراب ذات المحتوى العالي من الطين لها سعة ادمصاص عالية للفوسفور. إلا أنه يعتبر نوع معدن الطين أكثر أهمية في ادمصاص الفوسفور، حيث أن مجموعة معادن الطين 1:1 (Kaolinite) تثبت كميات أكبر من الفوسفات مقارنة بمعادن الطين

2:1، وتتم آلية اثبيت الفوسفات من خلال تبادل الجزيئات المحيطة مع مجموعة (OH)H المنسقة مع أيونات Al على حواف البلورات، وسعة الادمصاص هذه تعتمد على عدة عوامل منها الجزء المحتل من السطح النوعي بواسطة الوجوه الطرفية وعدد مجموعات Al(OH)H النشطة لكل وحدة مساحة على الوجوه الطرفية.

6- الرقم الهيدروجيني (تفاعل التربة):

يعد تفاعل التربة من أكثر العوامل تأثيراً على حركية الفوسفور في التربة، وتكون أكثر إتاحة للفوسفور في التربة عند pH= 5.5-7 حيث تكون قدرة التربة على تثبيت الفوسفور منخفضة. فعند هذه القيمة للمؤشر الحمضي، تكون أيونات الألمنيوم، والحديد والمنغنيز والكالسيوم القابلة للذوبان متواجدة بتراكيز منخفضة نسبياً. ويزداد تثبيت الفوسفور (تقل الإتاحة) بانخفاض درجة التفاعل عن 5.5 حيث تزداد أيونات الألمنيوم، والحديد، والمنغنيز القابلة للذوبان في محلول التربة، وتتفاعل هذه الأيونات مع الفوسفات القابل للذوبان وترسبه فوراً، ما يجعل الفوسفور نهاية المطاف غير متاح للنباتات. كما يثبت الفوسفور أيضاً بأكاسيد الألمنيوم والحديد والمنغنيز في التربة الحامضية. حيث قد يتجاوز تثبيت الفوسفور الكلي بأسطح هذه الأكاسيد ذلك الذي يحدث من قبل الألمنيوم، والحديد، والمنغنيز القابلة للذوبان. وكذلك يزداد التثبيت بارتفاع الرقم الهيدروجيني عن 7 حيث تدمص على الكربونات أو تتفاعل الفوسفات مع الكالسيوم لِيُنتجا مركبات فوسفات الكالسيوم التي تتحول تدريجياً إلى مركبات صعبة الذوبان. ويمكن القول إن الكمية المثبتة من الفوسفور في التربة تكون في حدها الأدنى عند (pH = 6.5)، مما يعني أن كمية الفوسفور القابل للإفادة تكون في حدها الأقصى عند هذه الدرجة من الـ pH. إن ظاهرة تثبيت الفوسفات في الترب تتأثر بالرقم الهيدروجيني للتربة، حيث تسود في الترب الحامضية أيونات الفوسفات الأحادية $H_2PO_4^-$ وبارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة تسود أيونات الفوسفات الثنائية HPO_4^{2-} و بزيادة ارتفاع الرقم الهيدروجيني يصبح أيون الفوسفات الثلاثي PO_4^{3-} هو السائد في محلول التربة.

7- النسبة SiO_2/R_2O_3 : تؤثر نسبة أكسيد السيليكون إلى أكاسيد الحديد والألمنيوم في الكمية المثبتة من الفوسفور في التربة، حيث تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور في التربة مع انخفاض النسبة SiO_2/R_2O_3 كما يحصل في الترب الحامضية نتيجة لارتفاع محتوى هذه الترب من أكاسيد الحديد و الألمنيوم من جهة، ولفقد السيليكا بالغسل من جهة أخرى.

8- عنصر الكالسيوم:

أن انخفاض تركيز الفوسفور الذائب مع الزمن بالتوافق مع انخفاض تركيز الكالسيوم الذائب وارتفاع كميات الفوسفور المثبتة يدل على أن عملية التثبيت هي المسؤولة عن انخفاض تركيز الفوسفور الذائب بالمحلول. وهذا الدور المميز للكالسيوم عن بقية الأيونات الموجبة الأخرى سببه

الألفة العالية بين الكالسيوم والفوسفات وخاصة الأورثوفوسفات الثنائية السائدة في الترب الكلسية، وبما أن الترب القاعدية تحتوي على كمية كبيرة من الكالسيوم المتبادل، ويمكن للفوسفور الذائب أن يتفاعل مع الكالسيوم الذائب في محلول التربة ومع الكالسيوم المدمص على سطح غرويات التربة، ويتحول إلى أشكال غير ذائبة وغير صالحة للامتصاص من قبل النبات. كما يمكن أن يتحول السماد الفوسفاتي لدى إضافته للترب الكلسية إلى مركبات أقل ذوباناً عند مواقع إضافة السماد، إذ يترسب على صورة فوسفات الكالسيوم. ويعد العامل الرئيسي في تفاعلات الفوسفات في الترب القاعدية هو الترسيب بالكالسيوم سواءً كان ذائباً في الماء أو متبادلاً أو في صورة كربونات الكالسيوم.

4-2-2-2- الفوسفور في النبات Phosphorus in Plant

يقدر محتوى النبات من الفوسفور ب (0.5%) في المادة الجافة وسطياً. ويختلف هذا المحتوى عادة باختلاف النوع النباتي و باختلاف الجزء النباتي ضمن النوع النباتي الواحد، إذ تحتوي البذور والثمار و القمم النامية للسوق والجذور على أكبر محتوى من الفوسفور مقارنةً بالأجزاء النباتية الأخرى. وبالإضافة إلى ما سبق يختلف محتوى النبات من الفوسفور باختلاف مرحلة النمو حيث أن تركيز الفوسفور ضمن الأنسجة النباتية يتناقص عموماً بتقدم النبات في العمر.

4-2-2-1- امتصاص النبات للفوسفور Phosphorus Uptake

على الرغم من أن الفوسفات الأحادية (HPO_4^{-2}) هي الصورة الأيونية المفضلة للامتصاص من قبل النبات، فإنه يعتقد بأن النبات يمتص الفوسفور على شكل فوسفات أحادية أو ثنائية وذلك تبعاً لدرجة (pH) التربة. فامتصاص الفوسفات الأحادية يكون سائداً عندما تكون التربة حامضية (pH)، بينما يسود امتصاص الفوسفات الثنائية ($H_2 PO_4^{-}$) عندما تكون التربة قاعدية، وتكون الكميات الممتصة متساوية من هذين الأنيونين عندما تكون التربة متعادلة، كما يعتقد بأن النبات قادر أيضاً على امتصاص الفوسفور العضوي (فيتين، أحماض نووي) بعد تحريره من المركبات العضوية الحاوية عليه بصور معدنية بمساعدة بعض الأنزيمات التي تنتشط على سطح الجذر. ويتأثر امتصاص النبات للفوسفور ببعض العناصر المغذية الأخرى، فلقد تبين أن إضافة المركبات الحاوية على المغنيزيوم مع المركبات الفوسفاتية المضافة للتربة تزيد من الكمية التي يمتصها النبات من الفوسفور. ويبدو أن المغنيزيوم يؤدي دوراً إيجابياً في امتصاص النبات للفوسفور وانتقاله ضمن النبات. وعلى العكس من ذلك تماماً فإن أيونات السلفات SO_4^{-2} الكلور Cl^{-} والنترات NO_3^{-} تقلل الكمية الممتصة من الفوسفور.

إضافة إلى ما سبق، يتأثر امتصاص النبات للفوسفور نتيجة عدوى جذور النبات بفطريات المايكوريزا Mycorrhiza، وبخاصة في الترب الحاوية على كميات متدنية من الفوسفور القابل

للإفادة. ويفسر ذلك بتأثير المفرزات الحامضية للمايكوريزا Mycorrhiza في إذابة المركبات الفوسفاتية ضعيفة الذوبان، وبقدرة هيفات فطريات المايكوريزا على الوصول إلى مناطق في التربة لا تصلها جذور النبات ناقلة الفوسفور للنبات العائل وهي بذلك تعمل بمثابة جذور إضافية للنبات تزيد من حجم التربة المستغلة.

تختلف الأنواع النباتية في قدرتها على امتصاص الفوسفور من المركبات ضعيفة الذوبان، فلقد وجد أن نباتات العائلة البقولية (الفصاة والبرسيم) بشكل عام أكثر مقدرة على امتصاص الفوسفور من هذه المركبات بالمقارنة مع نباتات العوائل الأخرى، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تمتع جذور هذه الأنواع النباتية بسعة تبادل كاتيوني عالية تمكنها من امتصاص أكبر لكاتيونات الكالسيوم من ناحية، وإلى قدرتها على إفراز كمية أكبر من المفرزات الجذرية التي تؤدي دوراً مهماً في إذابة المركبات الفوسفاتية ضعيفة الذوبان في التربة من ناحية أخرى.

4-2-2-2- جاهزية الفوسفور للنبات:

يمكن تقسيم الفوسفور حسب إتاحتها للنبات إلى ثلاث أقسام هي:

• الفوسفور الذائب Soluble-P:

وهو جاهز بشكل مباشر إلا أن تركيزه قليل جداً (0.3-3.0 جزء بالمليون أو 0.3 - 3.0 ملغم. لتر⁻¹). والفوسفور في هذا الجز يكون على هيئة الاورثوفوسفات الأحادية والثنائية ($H_2PO_4^{-1}$ ، HPO_4^{-2}). النبات يمتص $H_2PO_4^{-1}$ بسرعة تقدر بعشرة اضعاف امتصاص HPO_4^{-2} . النسبة بين $H_2PO_4^{-1}$ و HPO_4^{-2} تعتمد على pH الوسط وتساوي واحداً عند 7.22 والصورة $H_2PO_4^{-1}$ تزداد في الوسط الحامضي.

• الفسفور المتحرك Labile-P:

وهو الفسفور المدمص على الأسطح المختلفة للتربة ويمكن أن يتحرر الى المحلول ويمثل الفسفور الجاهز للامتصاص بوساطة جذور النباتات .

• الفسفور غير المتحرك Non labile-P:

ضعيف الذوبانية لاسيما عند تحوله إلى صخر الأباتيت. يضم المركبات الفوسفاتية صعبة الذوبان التي يتحرر الفوسفور منها ببطء شديد وتشمل مجموعات فلزات الأباتيت والفاريسيت والسترنجيت بالإضافة للفوسفور العضوي. ويشكل هذا الجزء من الفوسفور حوالي 90% من محتوى التربة الكلي من الفوسفور، وعلى الرغم من كون إتاحة هذا الجزء للنبات بطيئة جداً فإنه لا يمكننا إهمال دوره في تغذية النبات لوجوده في حالة اتزان مستمر مع الفوسفور المتحرك. وبشكل عام الفوسفور الجاهز للامتصاص من قبل النبات عبارة عن الفوسفور الذائب بالماء (فوسفور محلول التربة) والفوسفور القابل للتجهيز، والذي يمثل الفوسفور المدمص على الأسطح

المختلفة في التربة (أسطح معادن الطين والكربونات والمادة العضوية) أو الفوسفور المترسب إلا أنه لا يزال في مراحل وسطية ولم يصل إلى المستوى المتقدم من الترسيب.

● **الفوسفور العضوي** في التربة فهو جزء من المادة العضوية في التربة، ويشكل حوالي 1-3 % منها، ويتواجد في الطبقات السطحية للتربة، ويجب أن يتمعدن قبل أن يستطيع النبات الاستفادة منه، وعموماً تكون النسب بين $C : N : P : S$ بحدود: 140 : 10 : 1.3 : 1.3. عملية المعدنة تشبه معدنة النتروجين وتتم بمساعدة أنزيم الفوسفيتاز ووجود الأحياء الدقيقة المختلفة، ونسبة $C : P$ ممكن أن تكون دليلاً للمعدنة أو التثبيت، وعموماً العوامل المؤثرة في نشاط الأحياء من pH وحرارة ورطوبة وعناصر غذائية تؤثر في عملية المعدنة.

4-2-3- تأثير الفوسفور في النمو النباتي:

أ- **تأثير الفوسفور في النمو الجذري:** يختلف الفوسفور في النمو الجذري حسبما يقصد بالجذور، فإذا قصد بها أنسجة التخزين الجذرية فإن تزويد النبات بالفوسفور عن طريق الأسمدة يزيد النمو الجذري أكثر من نمو الأجزاء العلوية للنبات، نتيجة انتقال الكربوهيدرات إلى الأنسجة المخزنة مدة أطول في النباتات المزودة بالفوسفور منها في النباتات الفقيرة بالفوسفور. أما إذا قصد بالجذور الأعضاء الماصة للنبات فإن تزويد النبات للمفتقر للفوسفور بهذا العنصر يعطي احتياج الأجزاء العلوية أكثر من تأثيره في الجذور الماصة للنبات ويعزى ذلك إلى استعمال الكربوهيدرات في النمو عند توفر الفوسفور للنبات وقلة انتقالها إلى الجذور.

ب- تأثير الفوسفور في موعد النضج:

لموعد النضج أهمية كبيرة لما يترتب على التكبير فيه من تزويد السوق بالمحصول في وقت يكون ثمنه مرتفعاً أو للتخلص من إصابات بعض الآفات أو لجمع المحصول تحت ظروف مناخية أكثر ملائمة. يتأخر موعد النضج النباتي عند نقص الفوسفور المتاح في التربة، وعند توفر الفوسفور المتاح تمتص النباتات الفتية الفوسفات بسرعة في المراحل الأولى للنمو، وعندما تشكل نحو 25% من المادة العضوية التي يمكن أن تكونها النباتات في فصل النمو فإنها تكون قد امتصت نحو 75% من الفوسفور الكلي الذي تمتصه طوال فترة النمو. لذا فإن توافر الفوسفور في المراحل الأولى لحياة النبات يؤدي إلى النمو والتطور النباتي السريع وينضج النبات في وضع مبكر.

ت- أثر الفوسفور في الصقيع:

إن تغذية النباتات بصورة جيدة بالفوسفور يرفع من مقاومتها للبرد، إذ أن التغذية الجيدة بالعناصر المعدنية يزيد من قدرة النباتات على احتباس الماء داخل الخلايا، بحيث يصبح محتوى عصارة الأنسجة من الماء منخفضاً نسبياً أي أن تركيز الأملاح يرتفع. كما أن الفوسفور عنصر أساسي في اصطناع الكربوهيدرات وهذا يزيد بصورة غير مباشرة من كمية المركبات العضوية

التي تساهم بدورها في زيادة تركيز العصارة النباتية أيضاً. إضافة إلى أن التسميد الفوسفاتي يعمل على التبخير في النضج وبالتالي تقليل خطر الصقيع.

4-2-3- Phosphate fertilizers الأسمدة الفوسفاتية

4-2-3-1- تركيز الفوسفور في الأسمدة

يتراوح تركيز الفوسفور في الأسمدة من نحو 1 إلى أكثر من 50 % على شكل أكسيد (P_2O_5). المواد التي تحتوي على نسبة أقل من 1% P_2O_5 منخفضة جداً بالفوسفور لتكون ذات قيمة كسماذ.

4-2-3-2- امتصاص الفوسفور من الأسمدة

تمتص المحاصيل نسبة أقل من 20 % من الفوسفور المتاح من الأسمدة في السنة الأولى، وتمتص نسبة 4 % فقط وربما أقل في السنة الثانية، وأقل من 1% بعد ذلك. وقد ينخفض الامتصاص في السنة الأولى ويصل إلى 3% في بعض أنواع التربة. والفوسفور المضاف الذي لا يمتصه النبات سيتعرض إلى تثبيت من قبل الألمنيوم، والحديد، والمنغنيز، والكالسيوم أو المغنيسيوم، التي تتفاعل مع الفوسفات لتشكل مركبات ضعيفة الذوبان. ويحدث التثبيت في غضون فترة قصيرة. والفوسفات المترسبة على الأسطح حديثاً تكون متاحة للنبات، لكن مع مرور الوقت، تتبلور الرواسب بحيث يصبح الفوسفور أقل إتاحة مما كان عليه في الرواسب الأصلية، ثم بعد ذلك ترحل الفوسفات المترسب على سطح الأكاسيد أكثر عمقاً داخل الأكاسيد، ويبقى القليل من الفوسفور قرب سطح الجسيمات وبالتالي تقل إتاحتها. وكلما طال وجود الفوسفور في التربة، أصبح أقل إتاحةً بسبب دخوله إلى الأكاسيد وتكوين بلورات كبيرة. خلافاً لبعض المعتقدات، لا تضاف أي ميزة عن طريق إضافة الفوسفور قبل زراعة المحاصيل بفترة طويلة لأن الفوسفور يصبح أقل توافراً كلما طال بقاءه في التربة. لذا ينبغي أن يضاف تسميد الفوسفور في وقت زراعة المحاصيل.

4-2-3-3- تحولات الأسمدة الفوسفاتية في التربة:

يتحول السماد الفوسفاتي ذو الصيغة $Ca(H_2PO_4)_2$ (فوسفات الكالسيوم الأحادية MCP) عند إضافته للتربة، إلى معادن الفوسفور مع الزمن، وسلسلة الترسيب في الترب الكلسية والقاعدية تكون كما موضح في (الجدول 3-4). بتعبير آخر خلال أسابيع يتحول من فوسفات الكالسيوم الأحادية MCP الحاوي على الفوسفور بصورة H_2PO_4 (الأحادي) إلى فوسفات الكالسيوم الثنائية المائية DCPD و فوسفات الكالسيوم الثنائية DCP الحاوية على الفوسفور بصورة (HPO_4) وبعد حوالي 3-5 شهور يتحول إلى فوسفات الكالسيوم الثمانية OCP الحاوي على الفوسفور بصورة PO_4 وبعد عشرة شهور إلى BTCP ويأخذ فترة أطول أو مدة أطول من الزمن ليصل إلى الصخر الفوسفاتي HA أو الصخر الفوسفاتي FA. إن هذه التفاعلات يصعب

السيطرة عليها، ولذا فان كمية الفوسفور المسترد أو المستعمل من قبل النبات من السماد المضاف تكون منخفضة باستمرار مقارنة بالأسمدة النتروجينية.

الجدول (4-3): ترسب فوسفات الكالسيوم في التربة

	الاسم	الاختصار	الصيغة
تناقص الذوبانية ↓	فوسفات الكالسيوم الثنائية المائية	DCPD	CaHPO ₄ .H ₂ O
	فوسفات ثنائية الكالسيوم	DCP	CaHPO ₄
	اوكتا فوسفات الكالسيوم	OCP	Ca ₄ H(PO ₄) ₃ .H ₂ O
	ثلاثي فوسفات الكالسيوم	TCP	Ca ₃ (PO ₄)
	هيدروكسي الأباتيت	AH	Ca ₅ (PO ₄) ₃ .OH
	فلور الأباتيت	FA	Ca ₅ (PO ₄) ₃ .F

المصدر: شوقي، 2007 (تقانات الأسمدة)

عملية الامتزاز عبارة عن امتصاص (الامتزاز السطحي) Adsorption أو الامتزاز بشكل عام Sorption (والذي يشمل الامتزاز السطحي والامتصاص الى داخل الوحدات البنائية)، وتحدث على الأسطح الحاوية على الأيونات الموجبة ولاسيما الكالسيوم والمغنيسيوم وأسطح كاربونات الكالسيوم (معادن الكربونات بشكل عام) وحتى الكميات القليلة من الحديد الموجودة في الترب الكلسية، تساهم في عملية الامتزاز. كذلك أسطح معادن الطين مهمة جداً، وهنا نوع المعدن الطيني والمساحة السطحية للمعدن كلها تؤثر في هذه العملية. وبشكل عام قوة الربط مع أكاسيد الحديد والالمنيوم تكون عالية، أما مع معادن الكربونات فتكون منخفضة، ولذا فان جزءاً كبير من الفوسفور الممتز يكون في الجزء القابل للتجهيز (Labile - Form). بتعبير نسبي الترب الحامضية تمتز مرتين الفوسفور أكثر لكل وحدة مساحة سطح تربة مما هو عليه في الترب الكلسية أو المتعادلة و بقوة ربط أعلى خمس مرات. عمليات الامتزاز والترسيب هذه تؤثر بشكل كبير في إدارة الأسمدة الفوسفاتية ابتداءً من اختيار السماد الفوسفاتي وطرائق إضافته وتجزئة الإضافة لاسيما في الترب ذات السعة العالية لتثبيت الفوسفور.

4-3-2-4- أنواع الأسمدة الفوسفاتية Phosphate Fertilizer:

1- الصخر الفوسفاتي (RP) Rock Phosphate:

وهو عبارة عن صخر رسوبي عضوي والصخر الأصلي يصنع منه مختلف الأسمدة الفوسفاتية، ولكن قد يستخدم كسماد بحالته دون أي معاملة عدا طحنه فقط دون استخدام كيميائيات، وقد يعامل ببعض المعاملات لسهولة تداوله، وتركيبه فوسفات كالسيوم ثلاثية في صورة معدن الأباتيت، وأنواعه المختلفة. ويعتبر الصخر الفوسفاتي هو المادة الخام الأولية للأسمدة الفوسفاتية ومعدنه الأباتيت Ca₁₀(PO₄)₆X₂ والذي فيه X (OH⁻ أو F⁻ أو CO₃⁻² أو Cl). ويعد الفلورو

أباتايت $Ca_{10}(PO_4)6F_2$ أو $[Ca_3(PO_4)_2]_3.CaF_2$ من الصخور الفوسفاتية الأكثر انتشاراً، هذه الصخور تحوي شوائب من الكربونات والصدويوم والمغنيزيوم. القيمة السمادية للصخر الفوسفاتي تعتمد على أصل الصخر ومدى صلابته ودرجة تبلوره. وبشكل عام الصخر الصلب أقل جاهزية أو عديم الجاهزية. وقيمتة كسماد ممكنة في الترب الحامضية، ويعتمد على نوع المحصول والصخر والظروف المناخية. حيث أن الفوسفات الطبيعية المطحونة تستخدم كسماد أساس في الترب الحامضية، وأهمية الطحن تكمن في زيادة فرص تلامسه مع الجذور، وتوزعه على كامل التربة المشغولة بجذور النباتات، كما أن نعومة الحبيبات المضافة تؤمن سطح نوعي كبير. أما في الترب القاعدية والمتعادلة وعند الرغبة في استخدامه، يجب إضافة الكبريت أو أي مادة ذات تأثير حامضي مع الصخر الفوسفاتي ليكون ذا فائدة. الأسمدة الفوسفاتية المعدنية الشائعة الاستعمال تصنع من الصخور الفوسفاتية بعد معاملة هذه الصخور بالحوامض والحرارة لزيادة تركيز الفوسفور الذائب بالماء.

التصنيع:

لا يحتاج عمليات تصنيعية ولكن تتم بعض العمليات التي تسهل تداوله، حيث يزال من الصخر الأصلي المواد الغريبة (الشوائب) مثل الرمل بالغسيل والطين بالترسيب. ثم يجفف الصخر الناتج ويطحن إما لاستخدامه كسماد أو تصنيع أسمدة أخرى.

الخواص:

محتوى السماد العنصر 7-17% P_2O_5 وبعد معاملات (الغسيل والترسيب) يصل إلى 30% P_2O_5 (P13%)، يحتوي على مركبات أخرى (aCO_3MgCO_3, Fe, Al, F) مسحوق صلب، لونه رمادي، تأثيره قاعدي على التربة، لذا لا يصلح إلا بالترب الحامضية مع إضافته نثر وقبل الزراعة لزيادة كفاءته.

2- أسمدة فوسفات الكالسيوم:

وهذه الأسمدة تشمل: السوبر فوسفات الاعتيادي و السوبر فوسفات الثلاثي. هذه المصادر كانت هي الأكثر أهمية بالاستعمال، أما في الوقت الحاضر فهناك مصادر أخرى تنافس هذه المصادر. عموماً هذه الأسمدة ليس لها تأثير واضح في درجة تفاعل التربة.

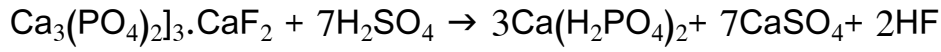
- السوبر فوسفات الاعتيادي (OSP) Ordinary Super Phosphate:

ويحتوي على فوسفات كالسيوم أحادية (ذائبة) ويطلق عليه عدة أسماء منها:

السوبر فوسفات المفرد (SSP) Single Super Phosphate و Normal Super Phosphate و Calcium Super Phosphate و Soluble Super Phosphate. أو

السوبر فوسفات البسيط Simple Super Phosphate

التصنيع: يصنع هذا السماد من تفاعل الصخر الفوسفاتي مع حامض الكبريت وينتج الجبس كمركب ثانوي:



إذ يتم معاملة الصخر الفوسفاتي المطحون بشكل ناعم مع الكمية والتركيز المناسب من حامض الكبريتيك (57% على الأقل).

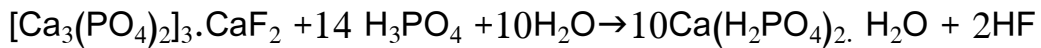
الخواص:

هذا السماد يحوي على 11-22% P_2O_5 ، (4.8-9.6 P) والكبريت (12% S)، وعلى الرغم من انخفاض مستوى الفوسفور فيه مما حدّ من استعماله إلا أنه يبقى مصدراً جيداً للكبريت والفوسفور ولكن على نطاق محدود. يوجد في صورة حبيبات خشنة وقد يكون ترابياً، لونه رمادي، فائدة التحبب تقليل التلامس مع التربة مما يقلل عوامل تثبيته زيادة كفاءته، تأثيره حامضي خفيف على التربة. الفوسفور الذائب بالماء يمثل أكثر من 90% من الفوسفور المعلن (من نسبة الفوسفور في السماد). وينتج حامض الفسفوريك أيضاً وهو سبب عدم تكون الجبس وتكون كبريتات الكالسيوم غير المائية. عموماً السوبر فوسفات الاعتيادي يحوي على MCP + DCPD + حامض الفسفوريك الحر MCP + حامض الفسفوريك الحر تشكل حدود 75 - 90% من الفوسفور والباقي 10 - 25% DCPD وكمية قليلة من TCP.

- السوبر فوسفات الثلاثي $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ Triple Super Phosphate (T.S.P)

هو عبارة عن سماد سوبر فوسفات يحتوي على فوسفات كالسيوم أحادي (ذائب) ومحتواه من الفوسفور يصل تقريباً 3 أمثال محتوى السوبر فوسفات وذلك لأن تصنيعه يتم من تفاعل صخر الفوسفات مع حمض الفوسفوريك ويطلق عليه عدة أسماء أخرى مثل السوبر الفوسفات المكرر أو المركز Concentrated Super Phosphate أو التريل الفوسفات Treple Super Phosphate.

التصنيع: يصنع السماد من تفاعل صخر الفوسفات مع حمض الفوسفوريك بدلاً من حمض الكبريتيك كما في حالة السوبر فوسفات ومعادلة التصنيع باختصار كالآتي:



ويتم تحبب السماد الناتج عن طريق مرور المحلول الناتج مع تيار الهواء Steam في أسطوانة تحبب ثم يتم التجفيف والغرلة.

الخواص: يحوي هذا السماد على 44-52% P_2O_5 (20% P) ذائب في الماء، كمية الكبريت فيه لا تتجاوز 1%، لونه رمادي.

وهناك دراسات عدة على المستوى العالمي أثبتت نجاح هذا السماد واستجابة المحاصيل المختلفة لإضافته لاسيما المحاصيل التي تحتاج إلى الكالسيوم و في الترب الحامضية والخفيفة حتى في

الترب الكلسية. حبيبة السماد عند ذوبانها تكون ذات pH منخفض جداً ولكن لفترة قصيرة وينتهي التأثير بمجرد التفاعل في التربة المحيطة، والتأثير النهائي إما متعادل أو بالاتجاه القاعدي لاسيما أن الترب الكلسية ذات سعة تنظيمية عالية.

بشكل عام السوبرفوسفات يكون إما بشكل مسحوق (بودرة) أو بشكل حبيبي أو أصابع Pelletized والحبيبي بحجم 1-4 ملمتر قطراً هي المفضلة، وذلك لتقليل أسطح التلامس مع أسطح الامتزاز وبالتالي تقليل الامتزاز والترسيب، كما أن الإضافة الموقعية للفوسفور مفضلة على الإضافة نثراً. الحبيبي يصنع من ترطيب السماد المسحوق ومن ثم تجفيفه في براميل التجفيف. الحبيبي مع أنه أغلى ثمناً إلا أنه أفضل بالتعبئة والنقل والإضافة.

- **السوبر فسفات المخصب:** يصنع هذا السماد من إحلال جزء من حمض الفوسفور محلّ حمض الكبريت المستعمل في صناعة السوبر فوسفات العادي؛ فيحصل بهذه الطريقة على سوبر فسفات مخصب يحتوي على P_2O_5 بنسبة 25% - 35%، ومع العلم أن ابتكار هذا السماد حديث العهد نسبياً، فقد أخذ في الانتشار على نحو واسع في الدول المتقدمة صناعياً.

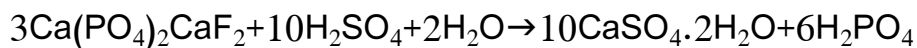
3- حمض الفسفوريك H_3PO_4 Phosphoric acid

حمض الفوسفوريك وأحياناً يطلق عليه OrthoPhosphoric acid ويستخدم كسماد بالرغم من تأثيره الحارق أثناء تداوله حيث يعتبر من الأسمدة السائلة، ويصنع من صخر الفوسفات مع حمض الكبريتيك مثل تصنيع السوبر فوسفات لكن حمض الكبريتيك المستخدم أكثر تركيزاً (يصل إلى 93%)، ويتكون نتيجة هذا جبس بكمية كبيرة ويتم فصل حمض الفوسفوريك عنه بالترشيح ويستخدم الجبس في استصلاح الترب القلوية، كما ينتج عن التصنيع فلوريد الهيدروجين ذو التأثير الحارق ويطلق على هذه الطريقة في التصنيع Wet process تميزاً عن الطريقة الأخرى التي يطلق عليها Furnace acid.

التصنيع:

الطريقة الأولى Wet process:

ينتج من تفاعل صخر الفوسفات مع H_2SO_4 تركيزه عالٍ (يصل إلى 93%) وينتج من التفاعل الجبس، ويلاحظ كلما كان صخر الفوسفات يحتوي على كربونات كالسيوم أو كربونات مغنيزيوم بكمية كبيرة يؤدي إلى زيادة استهلاك حمض الكبريتيك مع نقص حمض الفوسفوريك المتكون:



الطريقة الثانية Furnace acid :

هذا الحمض يمكن تصنعه من خلال تسخين الصخر الفوسفاتي في مرمدة كهربائية (Electric Furnace Muffle Furnace) لإنتاج عنصر الفوسفور والذي يتم تفاعل مع الاوكسجين ليعطي P_2O_5 ويذوب في الماء لتكوين حمض الفوسفوريك H_3PO_4 . المنتج من خلال عملية

الحرق يطلق عليه الفوسفور الأبيض أو حامض المرمدة وينتج بشكل رئيس للاستعمالات الأخرى غير الزراعية.

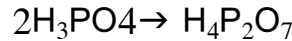
الخواص: حامض الفسفوريك (H_3PO_4) أو الحامض الأخضر، نسبة العنصر الفعال به 30% P_2O_5 (P 13%) يحوي 17 - 24 % P أو (39 - 55% P_2O_5). يوجد في صورة سائل، لونه أخضر لوجود شوائب (Fe, Al, Ca, Mg, F)، أما كربون المادة العضوية فيؤدي إلى اللون الأسود. و الحمض الناتج من الطريقة الثانية Furnace acid له درجة عالية من النقاوة وهو غالي الثمن. الحمض الأخضر المخصص للزراعة في الطريقة الأولى Wet process يستعمل لتحميض الصخر الفوسفاتي لصناعة الأسمدة الفوسفاتية المختلفة . تأثيره حامضي على التربة، هذا الحامض يمكن أن يحقن مع ماء الري أو يحقن في التربة لاسيما في التربة القاعدية والكلسية. ويعزى سبب استخدامه في الري الحديث إلى قدرته على إذابة الشوائب الصلبة الموجودة بالأسمدة المضافة مع الري أو الناتجة من تفاعلات السماد مع بعضها أو مع مكونات مياه الري المستخدمة خاصة إذا كانت من المياه غير عذبة، وذلك حتى نضمن عدم انسداد شبكة الري.

ت- حمض الفوسفوريك (المركز) المكثف Super Phosphoric acid:

ينتج من تكاثف حمض الأورثوفوسفوريك حيث تكاثف (ارتباط) جزيئتين من حمض الأورثوفوسفوريك ينتج حمض يطلق عليه Pyro Phosphoric acid ($H_4P_2O_7$) وفي حالة ارتباط 3 جزيئات يطلق عليه Triple Phosphoric acid ($H_5P_3O_{10}$) وهكذا يطلق عليه Tetra Phosphoric acid ($H_6P_4O_{13}$).

التصنيع:

يتم بتكاثف حمض الأورثوفوسفوريك بإزالة الماء كالاتي:



الخواص:

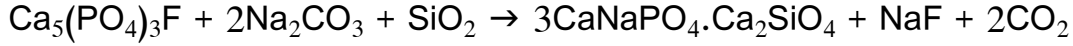
محتوى الفوسفور يزيد عن الأورثوفوسفوريك يصل إلى 72.5% P_2O_5 ، يوجد في صورة سائلة، يستخدم في تصنيع الأسمدة الأخرى و في التسميد مع مياه الري Fertigation، تتحلل في التربة بسرعة إلى الأورثوفوسفوريك عند إضافة الماء.

4- الأسمدة الفوسفاتية المعاملة بالحرارة Thermo phosphate

ويطلق عليها في بعض الدول Rhenania phosphates حيث ينتج السماد من معاملة صخر الفوسفات بالحرارة بدلا من استخدام الحمض وذلك لتقليل تكاليف إنتاج السماد، ولا بد أن يستخدم السماد تحت ظروف معينة بالتربة كما في حالة سماد Novaphos .

التصنيع

يتم تصنيع السماد من إضافة كربونات الصوديوم والرمل إلى صخر الفوسفات ثم تعريض المخلوط إلى حرارة تصل 1200 م° ثم يطحن الناتج ويحبب.



فلوريد فوسفات وسيليكات صوديوم وكالسيوم رمل كربونات صوديوم فلورأباتيت

محتوي الفوسفور 26% (P 11%) غير ذائب في الماء و يوجد في صورة حبيبات صلبة ناعمة حتى يسهل ذوبانها في الوسط المناسب (التربة الحامضية)، به من الصوديوم تصل إلى 12% وبه شوائب حديد وأكاسيد أخرى، تأثيره قاعدي على التربة، لتقدير عنصر الفوسفور به يذاب السماد في سترات الأمونيوم القاعدية Alkaline ammonium citrate.

5- خبث المعادن Slag

ويطلق عليه سماد أيضاً Thomas phosphatic وهو عبارة عن ناتج ثانوي عن تصنيع الحديد الصلب من الحديد الزهر حيث خام الحديد يحتوي على الأباتيت كشوائب.

التصنيع:

يتم الحصول على السماد عند تصنيع الحديد الصلب. من خام الحديد حيث يتم هذا في محولات توماس عن طريق الأكسدة بعد إضافة الجير والسيليكات مع دفع تيار هواء عند درجة حرارة 160 م° وينتج الناتج الثانوي وهو السماد الذي يحتوي على الفوسفور في صورة سليكو فوسفات الكالسيوم Ca-silicophosphate حيث يسحب الناتج ويطحن للدرجة النعومة حتى يزيد سطح تلامسه مع التربة المناسبة لاستخدامه (تربة حامضية وإضافة مادة عضوية).

الخواص Properties

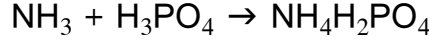
محتوى السماد من العنصر 15% P₂O₅ (7%P) صعب الذوبان لذا يتم تقدير عنصر الفوسفور بإذابته في حمض حمض الستريك، مسحوق رمادي إلي بني اللون. يحتوي على شوائب من (CaO,Fe,Mn,Mn) ، تأثيره قاعدي على التربة لذا أفضل استخدام له هو إضافته نثراً بالأراضي الحامضية أو يضاف مع أسمدة عضوية تزيد من درجة ذوبانه مع إضافته نثراً قبل الزراعة حيث يساعد هذا على ذوبانه وزيادة كفاءة استخدامه.

6- فوسفات الأمونيوم Ammonium Phosphate:

هذه الأسمدة تنتج من تفاعل حامض الفسفوريك مع الأمونيا. وهي من الأسمدة المركبة وفقاً للتصنيف الحديث وتشمل:

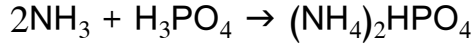
- فوسفات أحادية الأمونيوم (MAP) Mono ammonium phosphate:

يحتوي هذا السماد على 11% N و 48-55% P₂O₅ (21 - 24% P) وهو سماد ذائب بالماء 100%.

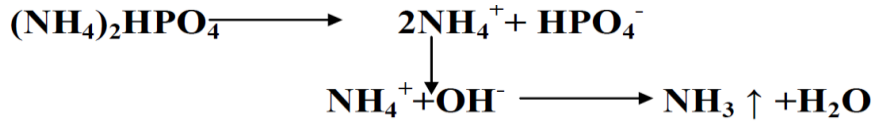


يضاف هذا السماد مباشرة للتربة بهيئته المصنعة على شكل حبيبات وقد يصنع بهيئة سائلة ويضاف مع ماء الري. تفاعله مع التربة حامضي، ووجود الأمونيوم معه يتطلب الاهتمام بموضوع إضافة الماء وعدم إضافة السماد قرب البذور، مع أن تفاعله الحمضي يقلل من موضوع تحول الامونيوم إلى الأمونيا، أي بتعبير آخر الخوف من التطاير أقل مقارنة بالـ DAP.

- فوسفات ثنائية الأمونيوم (DAP) Diammonium phosphate وهو يصنع من الأمونيا مع حامض الفسفوريك



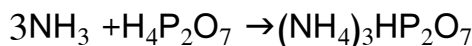
سماد ذائب بالماء 100 % ويحوي على 18 % N و 46-53 % P₂O₅ (20-23 % P). وعلى الرغم من أن تفاعله قاعدي، وهناك خوف من موضوع تطاير الأمونيا وتأثيرها على النباتات الصغيرة وعلى الإنبات، إلا أن احتواءه على N، P وبمستويات جيدة جدا يجعله سماد مركب P N وينافس الأسمدة الأخرى. المحتوى العالي من P و N يقلل كلفة الشحن والخرن والاضافة. ويمكن أن تستعمل هذه الأسمدة لتصنيع الأسمدة المركبة والمخلوطة. عند إضافة الـ DAP بشكل قريب من البذور ممكن أن يؤدي أو يضر البادرات ويثبط نمو الجذور من خلال الأمونيا المنتجة طبقا للآتي:



هذه المشاكل شائعة في الترب الكلسية وذات الـ pH المرتفع. إضافة الـ DAP بمسافة عن البذور ضرورية لتقليل الضرر. في كل الأحوال مستوى N يجب ألا يتجاوز 15-20 كغم. ه⁻¹. التأثير بالـ MAP أقل إلا أنه يحصل مع المحاصيل الحساسة. هذا إضافة إلى أن الـ DAP عند إذابته يكون ذا pH قاعدي بحدود 8.5 مما يشجع إنتاج الأمونيا. التفاعل الحامضي لـ MAP في التربة اعتبر على أنه يشجع تحرر العناصر الصغرى، إلا أن هذه النتيجة ليست واضحة وثابتة. عموما الفروق بين الـ MAP و DAP بالتطبيق ليست كبيرة وعلى العكس هناك دراسات أثبتت أفضلية الـ DAP على الـ MAP وعلى السوبر فوسفات.

ث- فوسفات الأمونيوم المتعددة Ammonium Poly Phosphate

يصنع بمعاملة البايروفوسفات H₄P₂O₇ مع الأمونيا. حامض البايروفوسفات ينتج من إزالة الماء من حامض الفوسفوريك المنتج بالطريقة الرطبة البولي فوسفات مصطلح يضيف أيونين أو أكثر من الأورثوفوسفات H₂PO₄ جمعت سوية مع فقدان جزيئة ما واحدة لأيونين من الأورثوفوسفات وفقاً للمعادلة الآتية:



البولي فوسفات يتعرض الى تفاعلات كيميائية وحيوية منتجا $H_2PO_4^-$. التحلل المائي للبولي فوسفات يكون بطيئاً في المحاليل المعقمة عند درجة حرارة الغرفة، ومع هذا في الترب التي تعمل فيها الآليتان الكيميائية والحيوية، التحلل المائي يكون سريع للبولي فوسفات، وهي تتأثر بأحياء الرايزوسفير وأنزيم الفوسفيتيز، وبما أنها تمتلك جزءاً حيوياً. اذن التأثير بالعوامل البيئية مهم ولاسيما درجة الحرارة (الحرارة المثلى 5-35 م°). المحاصيل تستطيع امتصاص البولي فوسفات مباشرة وهي ذات قابلية جيدة على خلب العناصر الصغرى مثل الزنك، الا أن الخلب وقتي لحين التحلل.

-**النتروفوسفات:** تحضر هذه الأسمدة من مفاعلة الفوسفات الطبيعية مع حمض الآزوت، ويكون التفاعل مبسطاً كما في المعادلة (11):



والنتروفوسفات شرهة للماء؛ فيجب مراعاة ذلك حين تخزينها.

- **السوبر فوسفات الأمونياكي:** يحضر من معاملة الأسمدة الفوسفاتية (السوبر فوسفات العادي أو السوبر فوسفات الثلاثي) بالأمونيا اللامائية NH_3 أو بمحلول آزوتي، كي تمتص الفوسفات في آخر مراحل تصنيعها الأمونيوم ويتعدل ما فيها من حموض حرة.

7- فوسفات البوتاسيوم Potassium Phosphate:

تحضر هذه الأسمدة من خلط الأسمدة الفوسفاتية والبوتاسية، في حين تحتاج الأسمدة المزوجة (NP) إلى تصنيعها في معامل ضخمة، علماً بأن البوتاسيوم يمكن أن يؤدي دور الأمونياك في صناعة سلسلة من فوسفات البوتاسيوم مثل الفوسفات الأحادية والثنائية البوتاسيوم التي تحتوي على كل من K_2O , P_2O_5 بحالة مركزة جداً وقابلة لإفادة النبات بسهولة. هذه المنتجات تتضمن KH_2PO_4 و K_2HPO_4 وهي مركبات ذائبة بالماء، وتستخدم بشكل واسع في المحاصيل البستانية، احتواءها من P و K العالي جعلها مواد جذابة وهي مثالية للعائلة الباذنجانية والبطاطا ومحاصيل الخضر الورقية الحساسة للكور المتواجد في سماد كلوريد البوتاسيوم. دليلها الملحي منخفض مما يقلل من أثرها السلبي على البذور النابتة والبادرات اليافعة عندما توضع هذه الأسمدة قريبة أو عند البذور. الاختلاف بالنسبة للجاهزية بين المصادر المختلفة للأسمدة الفوسفاتية قليل مقارنة بعوامل الإدارة الأخرى للفوسفور مثل معدل الإضافة و طريقة الإضافة.

4-2-4- مبادئ التسميد الفوسفاتي

بعيداً عن المجال 6.5-7.5 باتجاه الحموضة أو القلوية الأسمدة الفوسفاتية المضافة تثبت، وتصبح غير قابلة للذوبان وغير صالحة للامتصاص من قبل النبات، لكن تبقى إضافة الأسمدة الفوسفاتية والبوتاسية أسهل من التسميد الآزوتي، وتتجلى مبادئ التسميد الفوسفاتي بما يلي:

1. **تسميد الأساس Base Fertilization**: يهدف إلى إضافة الأسمدة الفوسفاتية للتربة حتى يصل تركيز الفوسفات إلى مستوى معين يتفق مع ما تشير إليه التحاليل الكيميائية للتربة، وتكون كمية السماد الأساس المضافة أكبر مما تستهلكه المحاصيل الزراعية وخاصة في التربة الفقيرة بعنصر الفوسفور والغرض من هذه الإضافة جعل التربة غنية بالفوسفور. ويفضل إضافة السماد الأساس في التربة الغنية بالكلس على دفعات وذلك للتخفيف من شدة تثبيت الفوسفات، وبعد الوصول إلى مستوى خفيف للفوسفات بالتربة عن طريق التسميد يعمل على ما يطلق عليه تسميد الصيانة.

2. **تسميد الصيانة Fertilization Conservation**: يهدف هذا التسميد إلى المحافظة على غنى التربة بالفوسفور وتأمين حاجة المحاصيل الزراعية فيه لذا فإن كمية سماد الصيانة تساوي أو تزيد قليلاً عن كمية الفوسفور التي تزيحها المحاصيل في التربة. يجب أن يراقب مستوى الفوسفور في التربة بصورة مستمرة عن طريق التحليل الكيميائي وإضافة الأسمدة الفوسفاتية للحفاظ على ذلك المستوى باستمرار.

3. تحتاج المحاصيل سريعة النمو قصيرة العمر ذات المجموع الجذري المحدود إلى سماد فوسفاتي سريع الذوبان بالماء للحصول على أفضل عائد.

4. تختلف استجابة المحاصيل للمصادر الفوسفاتية المختلفة حسب نوع التربة وظروفها، وكذلك وجود باقي العناصر بشكل متزن، وعند عدم توفر كمية كافية من الأسمدة الفوسفاتية، يفضل أن يكون الجزء الأكبر من الفوسفات الموجودة في السماد قابلة للذوبان في الماء، وأن يضاف السماد بشكل شريط تحت جذور النباتات أو قريباً منها في التربة الفقيرة بالفوسفات.

5. في التربة الكلسية تعطي الأسمدة الفوسفاتية المحببة القابلة للذوبان في الماء بدرجة عالية نتائج جيدة عند إضافتها لمثل هذه التربة بأية طريقة كانت. أما الأسمدة الفوسفاتية قليلة الذوبان وتعطي نتائج أفضل عند طحنها وخلطها جيداً في التربة.

6. إضافة السماد الفوسفاتي المحبب الذي يحتوي نسباً مرتفعة الفوسفور القابل للذوبان في الماء إلى التربة الحامضية أفضل من إضافة السماد الناعم على كامل كتلة التربة المشغولة بالجذور. ولقد وجد أن الاستجابة تكون أفضل بزيادة تحبب السماد. وإن إضافة الأسمدة الفوسفاتية الناعمة بشكل شرائطي في التربة الحامضية يعطي نتائج أفضل من إضافتها وخلطها مع التربة.

7. تقل فعالية الأسمدة الفوسفاتية ضعيفة الذوبان بالماء كلما ازداد حجم حبيبات السماد المستعمل لذا يفضل دائماً إضافة مثل هذه الأسمدة بشكل مسحوق يخلط مع التربة.

4-2-5-1- الأمور الواجب أخذها بعين الاعتبار عند استخدام الصخر الفوسفاتي:

يجب إيلاء اهتمام كبير لاستخدام الفوسفات الصخري العادي أو الغروي لضمان تحرر الفوسفور، ويجب اتباع الخطوات التالية في استخدام الفوسفات الصخري، و إلا لن يكون لتطبيقات الفوسفات الصخري للأرض أية منافع زراعية أو قد تكون منافعه قليلة.

أ- يجب أن تكون الصخور ناعمة ومختلطة بالكامل مع التربة.

ب- ينبغي أن تكون التربة حامضية. ويوصى بـ [مؤشر حمضي] «5.5 pH». ويساعد هذا الحمض على إذابة الصخور، مما يجعل الفوسفور الذي في داخلها متاحاً أكثر للنباتات. الأحماض في التربة تحول الصخور إلى نموذج مماثل للسوبرفوسفات. لكن، في التربة الأكثر حموضة، قد تكون نسبة الحديد والألمنيوم مرتفعة جداً في المحلول مما يرسب الفوسفات من محلول التربة، و يجعل الفوسفور غير متوافر للنباتات قبل أن يتم نقله إلى منطقة تنمو فيها جذور النباتات. وجذور النباتات التي تنمو في منطقة الفوسفور المثبت لن تكون قادرة على امتصاصه.

ت- ينبغي أن تضاف المواد العضوية مع الفوسفات الصخري. ويبدو أن أي نوع من المواد العضوية النباتية المنشأ تعمل على زيادة قابلية ذوبان الفوسفات الصخري. وينتج عن تحلل هذه المواد العضوية بعض الأحماض التي تساعد على ذوبان الفوسفات الصخري. كما تتشكل مواد عضوية مخلبية (Chelates) (أشكال عضوية معقدة) مع الحديد والألمنيوم، بحيث لا يتفاعل الحديد والألمنيوم مع الفوسفات لتشكل أحياناً رواسب ضعيفة في قابليتها للذوبان، وهذا يساعد على إبقاء الفوسفور في المحلول.

ث- ينبغي تطبيق الفوسفات الصخري بكميات تكون مرتين أو أربع مرات أو حتى تصل إلى 10 مرات أكثر من التوصيات لتطبيق الفوسفور التي يشار إليها باختبارات التربة للأسمدة الكيميائية، بسبب انخفاض إتاحة الفوسفور في الفوسفات الصخري. توافر الفوسفور من الفوسفات الصخري منخفض جداً بحيث تكون هناك حاجة لتطبيقات بكميات أعلى من الموصى بها وذلك لضمان التغذية النباتية الملائمة. على سبيل المثال، على الرغم من أنه قد يكون مجموع P_2O_5 في صخرة الفوسفات 30 % من الوزن، تكون كمية P_2O_5 المتاحة نحو 3% فقط. الفوسفات الصخري الغروي، يكون P_2O_5 المتاحة نحو 2%. الفوسفات الصخري قد يكون مصدراً غير مكلف نسبياً للفوسفور، ولكن تطبيقه بكميات كبيرة قد يقضي على منافع الثمن الرخيص.

4-2-5-2- مؤشرات وتطبيقات استخدام الأسمدة الفوسفاتية:

يوجد عدد من العوامل التي تساهم في رفع كفاءة الأسمدة الفوسفاتية نذكر منها:

١ - درجة حموضة التربة

لابد من معرفة pH التربة قبل استخدام السماد الفوسفاتي لأن هذا يحدد نوع السماد المستخدم وطريقة الإضافة حيث أن المركبات الفوسفاتية الذائبة بالسماد قد تتعرض لبعض التفاعلات التي تقلل من صلاحيتها للنبات. فمن المعروف أن الأراضي تختلف في درجة حموضتها فالأراضي ذات رقم pH أقل من 7 يطلق عليها الحامضية والتي ذات pH يساوي 7 يطلق عليها متعادلة والأراضي ذات pH أكبر من 7 يطلق عليها الأراضي القاعية والأراضي التي يرتفع بها الـ pH عن 8.5 نتيجة زيادة الصوديوم المتبادل يطلق عليها الأراضي الصودية. ولهذا يجب أن يكون القائم بالتسميد على علم بالعوامل التي تؤثر على عدم تيسير الفوسفور بهذه الأنواع من الأراضي. فمن العوامل التي تقلل صلاحية الفوسفور بالأراضي الحامضية: الترسيب بأيونات الحديد والألومينيوم والمنغنيز، والتثبيت بالأكاسيد المتأدرة أو بمعادن الطين. وللعلم العملية التي ينتج عنها عدم تيسير الفوسفور بالتربة يطلق عليها تثبيت fixation والميكانيكية هنا تختلف عن تثبيت النيتروجين وكلاهما يختلف عن تثبيت البوتاسيوم. أما عن العوامل التي تؤدي إلي عدم تيسير الفوسفور في الأراضي القاعدية فهي: وجود الكالسيوم الذائب والمتبادل وكربونات الكالسيوم التي تقوم بادمصاص الفوسفات على سطحها في أول الأمر (تفاعل طبيعي) ثم يحدث ارتباط كيميائي مع كربونات الكالسيوم فيما بعد (تفاعل كيميائي).

وللعلم الصورة الصالحة للفوسفور وهي الذائبة الأحادية والثنائية وتتواجد في مدى pH 6-7 لذلك الأراضي الشديدة الحامضية يضاف إليها الجير لرفع pH التربة للدرجة المناسبة لذوبان الفوسفات أما بالأراضي القاعدية لابد من خفض pH التربة ويتم هذا عن طريق الأسمدة العضوية التي تنتج أحماض عضوية وثاني أكسيد الكربون الذي يذوب في الماء مكونا حمض الكربونيك مما يخفض pH الوسط (التربة)، وكذلك استخدام أسمدة نيتروجينية حامضية التأثير مثل سلفات النشادر، وكذلك استخدام الكبريت. هكذا من خواص الأسمدة الفوسفاتية السابق ذكرها نجد أن الأسمدة الفوسفاتية المتوسطة والصعبة الذوبان مثل الفوسفات المتحللة جزئيا والمعاملة حراريا وفوسفات توماس وصخر الفوسفات لاستخدامها بكفاءة عالية لابد من إضافتها بالأراضي الحامضية أما الأراضي القاعدية لا تستخدم فيها مثل هذه الأسمدة ولكن تستخدم الأسمدة بها السوبر فوسفات والتربل فوسفات وحمض الفوسفوريك (الأسمدة السائلة) ولكن باحتياطات معينة في استخدامها حتى لا تثبت عند إضافتها.

2- فعالية الأسمدة الفوسفاتية

تتوقف جودة السماد الفوسفاتي على كمية الفوسفات التي تحرر من هذا السماد، وتختلف الكمية المتحررة على طبيعة السماد وتركيبه الكيميائي، ويعد مقدار الذوبان في الماء أفضل الأسس المتبعة للتعبير عن مدى قابلية الأسمدة الفوسفاتية لإفادة النبات. وتعد الفوسفات أحادية الكالسيوم (السوبر فوسفات) وفوسفات الأمونيوم (DAP) و (MAP) وفوسفات البوتاسيوم ذات قابلية عالية للذوبان في الماء لذلك فهي تعد قابلة لإفادة النبات. كما تعد الفوسفات ثنائية الكالسيوم مثلاً ضعيفة الذوبان بالماء، إلا أنها تذوب في محلول سترات الأمونيوم لذلك فهي تعد أيضاً قابلة لإفادة النبات، أما الفوسفات الطبيعية فلا تذوب في الماء ولا في سترات الأمونيوم لذا هي غير قابلة لإفادة النبات. لا بد أن يكون الذي يقوم بوضع برنامج التسميد الفوسفاتي وكذلك القائم بعملية التسميد أن يكون ملماً بفعالية السماد الفوسفاتي أي درجة ذوبانه وبالتالي سرعة امتصاصه بواسطة النبات وعموماً يمكن مقارنة الفعالية كالآتي:

الأسمدة الفوسفاتية السائلة (حمض الفوسفوريك) < التريل فوسفات والسوبر فوسفات < المتحللة جزئياً < المعاملة حرارياً < صخر الفوسفات.

ودرجة الفعالية هذه ترتبط بدرجة حموضة التربة المضاف إليها السماد فمثلاً نجد أن الأسمدة الذائبة (أحماض، سوبر تريل) تتفوق بالأراضي المتعادلة والحامضية الخفيفة في أن حين الأسمدة الأقل فعالية تتفوق بالأراضي الحامضية ولا تتفوق بالأراضي القلوية وعلى العكس فالأسمدة الأكثر فعالية تقل فاعليتها بالأراضي المرتفعة الحامضية أو القاعدية.

3- كفاءة استخدام الأسمدة الفوسفاتية من قبل النبات

كفاءة استخدام الأسمدة الفوسفاتية بواسطة النبات منخفضة حيث تتراوح بين 15-30% لكل من الأسمدة الفوسفاتية المعدنية والعضوية وذلك نظراً لظروف التثبيت التي تحدث بالتربة. وهذا يعني أنه إذا كان احتياج النبات 11 كغ P_2O_5 فإنه لابد من إضافة:

$$40 = 15 / (100 * 11) \text{ كغ } P_2O_5 \text{ حتى يحصل النبات في النهاية على احتياجاته الفعلية.}$$

4 - طرق وميعاد الإضافة Methods and time of application

يجب على القائم بالتسميد أن يضع في اعتباره أن طريقة الإضافة تؤثر على كفاءة استخدام السماد الفوسفاتي وأنها أن ترتبط بنوع السماد المستخدم حيث في حالة الفوسفاتية غير الذائبة في الماء يجب أن تزيد سعة التيسير Mobilization of capacity أما في حالة الأسمدة الفوسفاتية الذائبة في الماء يجب أن نقلل التثبيت أو عدم التيسير Immobilization باستخدام طرق الإضافة المناسبة. فمثلاً إذا الأسمدة الفوسفاتية الذائبة في الماء يجب أن تضاف تكبيش أو في جور بجوار النبات ولا تضاف نثراً حتى نقلل سطح التلامس مع التربة وبالتالي نقلل تثبيته و إذا كانت طبيعة المحصول تحتاج الإضافة فلا بد من زيادة الكمية في هذه الحالة حتى نعوض الجزء

المثبت، وكذلك يجب أن تضاف هذه الأسمدة بعد الزراعة حتى يمكن امتصاصها فوراً بواسطة النبات ولا تضاف قبل الزراعة لأنه حتى تكبر البادرات وتبدأ في الامتصاص يكون قد حدث تثبيت لنسبة كبيرة من العنصر المضاف (السماد).

وفي حالة الأسمدة المتوسطة الذوبان وغير الذائبة في الماء مثل الأسمدة المتحللة جزئياً أو المعاملة حرارياً أو صخر الفوسفات فعند إضافتها للتربة الحامضية يجب أن تضاف نثراً وقبل الزراعة لزيادة تيسيرها والتي قد ترتفع إلى 25%.

5- قد يستخدم بعض المزارعين الأسمدة الفوسفاتية كمصدر للجير وذلك لرفع رقم حموضة التربة بالأراضي الحامضية وهذا مكلف جداً.

6- فقد الأسمدة الفوسفاتية عن طريق الغسيل قليل الأهمية ولا يوضع في الاعتبار لتثبيت السماد بسرعة وهذا عكس حالة التسميد النتروجيني أو البوتاسي، ولذلك فكرة تقسيم السماد إلى عدة جرعات لزيادة كفاءة السماد عديمة الأهمية، إلا أنه يجب أن يكون من المعلوم أن النبات في حاجة للتسميد الفوسفاتي في فترتين، وهما عند بداية النمو (زيادة نمو الجذور) وعند الإثمار ويمكن للتسميد بكفاية في الفترة الأولى أن يغني عن التسميد المتأخر.

4-2-4-5-4- التأثيرات الجانبية للأسمدة الفوسفاتية

- الإمداد بالعناصر الأخرى إضافة للفوسفور مثل S, Ca, Mg, Mn, Fe, Na, Si .
- التأثير على pH التربة من حيث التحميض الذي يؤدي لزيادة تيسير العناصر الأخرى الموجودة بالتربة أصلاً أو المضافة ويمكن أن تقل صلاحيتها مثل العناصر الصغرى أما من حيث رفع رقم pH التربة فهي تخفف من ضرر حموضة التربة وتزيد صلاحية الموليبدنيوم ولكن يمكن أن يكون لها تأثير سالب على التربة بترسيب العناصر الغذائية الصغرى وتطاير الأمونيا مع ارتفاع رقم pH.

- إضافة الأسمدة الفوسفاتية بمعدلات عالية ترسب العناصر الثقيلة غير المرغوب فيها بالتربة وهذا مفيد ولكن يمكن أن تقل صلاحية العناصر الغذائية الصغرى خارج وداخل النبات فمثلاً يرتبط الفوسفات مع الحديد ويكون فوسفات الحديد غير الذائب مما يقلل من صلاحية الحديد.

- استخدام الأسمدة الفوسفاتية يؤدي إلى تحسين بناء Soil structure من خلال الإمداد بالجبس أو الجير أو الكالسيوم.

8- يمكن إضافة السماد الفوسفاتي ورقياً وهو الأفضل لتجنب مشاكل إضافته أرضياً بالتربة وبالتالي توفير كمية السماد ورفع كفاءته.

9- كما في حالة النتروجين الكمية الواجب إضافتها من الفوسفور تساوي الكمية الموصى بها منقوص منها الكمية الموجودة بالتربة والصالحة للامتصاص من قبل النبات.

10- إضافة المادة العضوية والكبريت لهما دور كبير في خفض pH الأراضي القاعدية وبالتالي زيادة تيسير الفوسفور.

جدول (4-4): أنواع الأسمدة الفوسفاتية

السماذ	الصيغة الكيميائية	P ₂ O ₅ %
حمض الأورثو فوسفوريك	H ₃ PO ₄	72
بولي فوسفات الأمونيوم	PPA	(11-59-5) أو (13-58-0)
فوسفات أحادية البوتاسيوم	KH ₂ PO ₄	0-46-30
فوسفات ثنائية البوتاسيوم	K ₂ HPO ₄	0-46-30
فوسفات أحادية الأمونيوم (M.A.P)	NH ₄ H ₂ PO ₄	61.7
فوسفات ثنائية الأمونيوم (D.A.P)	(NH ₄) ₂ HPO ₄	53.8
سوبر فوسفات أمونياكية	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .NH ₄ PO ₄	18-16-0
سوبر فوسفات ثلاثي (T.S.P)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	52-45
سوبر فوسفات عادي	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .CaSO ₄ .2H ₂ O	22-16
الفوسفات الطبيعي	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (F.Cl.OH) ₂	35-30 (بعد التركيز)

المصدر: الشاطر و البلخي، 2017 (الأسمدة والتسميد) و أبونقطة والشاطر، 2011 (الأسمدة والتسميد)

الفصل -4- الباب-3- البوتاسيوم Potassium

4-3-1- مقدمة:

يعد عنصر البوتاسيوم من العناصر الأساسية الكبرى بالنسبة للنبات، ويأتي في المرتبة الثانية بعد النتروجين من حيث تواجده في النبات. وعلى عكس العناصر المغذية الكبرى الأخرى، فإنه لم يثبت حتى الآن دخول عنصر البوتاسيوم في بناء المركبات العضوية الضرورية لاستمرار حياة النبات. وعلى الرغم من هذه الحقيقة فإنه لا يمكن الاستغناء عن البوتاسيوم، ولا يمكن لعنصر آخر مشابه له كالصوديوم أو الليثيوم أن يحل مكانه تماماً. وغالباً يوجد البوتاسيوم على هيئة مركبات غير عضوية ذائبة، ويتحد هذا العنصر مع الأحماض العضوية، ويؤثر في تنظيم محتويات الخلية من الماء، وينشط عمل العديد من الأنزيمات. ويوجد هذا العنصر بكميات وافرة في الأعضاء حديثة السن، وبخاصة البراعم والأوراق الصغيرة وقمم الجذور، بينما يكون محتوى الأنسجة الناضجة والبذور منه قليلاً.

4-3-2- البوتاسيوم في التربة Potassium in Soil:

إن نسبة البوتاسيوم في التربة عالية مقارنة مع نسب النتروجين والفوسفور، و يعد البوتاسيوم من أكثر العناصر شيوعاً في القشرة الأرضية Lithosphere حيث يشكل % 2.5 - 0.3 من مكونات القشرة الأرضية. وتتراوح كمية البوتاسيوم في التربة بين 0.3 و % 3 تبعاً لطبيعة الصخور والفلزات المكونة للتربة وتركيبها الميكانيكي. فالتراب الطينية تحوي عادةً على كميات

كبيرة من البوتاسيوم مقارنة بالترب الرملية والترب العضوية، وتشكل الفلزات الأولية والثانوية المصدر الأساسي للبوتاسيوم في التربة.

هناك العديد من الفلزات الأولية الحاوية على البوتاسيوم في التربة، أهمها الفلدسبارات البوتاسية (الأورثوكلاز والميكروكلاي) $KAlSi_3O_8$ والموسكوفيت $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ والبيوتيت $K(MgFe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$ والفلوجوبيت $KMg_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$. بالإضافة للفلزات الأولية تعد الفلزات الثانوية Secondary minerals كالإيليت، والفيرميكيوليت والكلوريت مصدراً للبوتاسيوم في التربة.

4-3-2-1- تثبيت البوتاسيوم Potassium Fixation

يميل البوتاسيوم الناتج عن تجوية الفلزات الأولية والثانوية الغنية بها أو المضاف للتربة على شكل أسمدة جيدة الذوبان للادمصاص على السطوح الداخلية لصفائح بعض فلزات الطين من نموذج 1:2 كالإيليت والفيرميكيوليت والكلوريت بحيث يصبح غير قابل للتبادل وهذا ما يعرف بظاهرة تثبيت البوتاسيوم Potassium Fixation .

فالقطر الأيوني للبوتاسيوم $A1.3$ يسمح له بالدخول بين صفائح فلزات الطين نموذج 1:2 للادمصاص على سطوحها الداخلية، بينما لا تستطيع الكاتيونات الأخرى كالسيوم والمغنسيوم والصوديوم القيام بذلك كون أقطارها الأيونية أكبر من القطر الأيوني للبوتاسيوم. فقط كاتيون الأمونيوم يمكنه أن ينافس البوتاسيوم على مواقع الادمصاص الداخلية في هذه الفلزات كون قطره الأيوني مشابهاً للقطر الأيوني للبوتاسيوم، لذلك يتعرض الأمونيوم أيضاً للتثبيت في التربة بطريقة مشابهة لتلك التي يتم من خلالها تثبيت البوتاسيوم.

4-3-2-2- العوامل المؤثرة في تثبيت البوتاسيوم

1. معادن الطين

عملية تثبيت البوتاسيوم في التربة مرتبطة أساساً بفلزات الطين سواء من حيث كميتها أو نوعها، حيث تزداد الكمية المثبتة من البوتاسيوم عموماً بارتفاع محتوى التربة من فلزات الطين، وعند سيادة فلزات الطين من نموذج 1:2 كالإيليت والفيرميكيوليت والمونتموريونيت بالمقارنة مع فلزات الطين من نموذج 1:1 كالكاؤولينيت المعروفة بانخفاض قدرتها على تثبيت البوتاسيوم. ويمكن وضع الترتيب التالي لفلزات الطين نموذج 2:1 من حيث قدرتها على تثبيت البوتاسيوم: فرميكيوليت < إيليت < سمكتيت

والاختلاف في قدرة تثبيت البوتاسيوم تعود إلى أن معادن الطين 2:1 تمتلك سطوح ادمصاص داخلية وخارجية، أما معادن الطين 1:1 تمتلك سطوح ادمصاص خارجية فقط.

2. تفاعل التربة Soil pH

قد تؤدي إضافة الكلس للتربة الحامضية بهدف استصلاحها إلى زيادة الكمية المثبتة من البوتاسيوم في التربة. فمع ارتفاع pH التربة الحامضية، فإن أيونات الهيدروجين وهيدروكسي الألمنيوم المدمصة بشدة، تترك مواقع الامصاص التي تحتلها ليتم شغلها من قبل كاتيونات البوتاسيوم. كما يمكن أن تؤدي إضافة الجير إلى تخفيض محتوى التربة من البوتاسيوم القابل للإفادة بطرائق أخرى أيضاً. فعلى سبيل المثال، تؤدي إضافة الكلس للتربة التي تكون فيها الشحنة السالبة تابعة لـ pH إلى زيادة سعة التبادل الكاتيوني Cation Exchange Capacity الأمر الذي يؤدي بدور إلى زيادة الكمية المدمصة من البوتاسيوم على غرويات التربة مما ينتج عنه خفض مستوى البوتاسيوم في محلول التربة. علاوة على ذلك فإن المستويات المرتفعة للكالسيوم في محلول التربة يمكن أن تخفض الكمية التي يمتصها النبات من البوتاسيوم، وقد تظهر أعراض نقص البوتاسيوم في التربة الحاوية على كميات زائدة من كربونات الكالسيوم، بسبب تثبيت البوتاسيوم واختلاف النسب الكاتيونية في آن معاً.

3. **التجفيف والترطيب:** يؤدي التجفيف الهوائي للتربة الغنية بالبوتاسيوم المتبادل إلى خفض محتواها من البوتاسيوم المتبادل، وزيادة الكمية المثبتة من البوتاسيوم. وعلى العكس من ذلك يمكن أن يؤدي تجفيف تربة منخفضة إلى متوسطة المحتوى بالبوتاسيوم المتبادل إلى زيادة محتواها من البوتاسيوم المتبادل. وفي بعض الحالات يمكن أن يؤدي التجفيف إلى زيادة المحتوى من البوتاسيوم المتبادل مرات عدة في الطبقة تحت السطحية للتربة. وتعزى هذه الزيادة في كمية البوتاسيوم المتبادل إلى تهشم حواف الميكا وتحرر البوتاسيوم المحجوز بين صفائح فلزات الطين ليشغل مواقع ادمصاص سطحية متحولاً من شكل غير قابل للتبادل إلى شكل قابل للتبادل.

4. **أحياء التربة:** تمتص النباتات والأحياء الدقيقة البوتاسيوم أثناء حياتها، يعود هذا البوتاسيوم ثانية إلى التربة عند موت هذه الأحياء وتحللها.

5. **الحرارة:** لقد وجد أن إضافة محلول مخفف للتربة، وترك هذا النظام حتى يتحقق التوازن بين الأيونات الممتزة وأيونات المحلول، بمعنى أنه في معقد التربة في وضعه الراهن لا تمتاز و لا تنتز أيونات، ويلاحظ أن رفع درجة حرارة النظام تعمل على خلخلة الاتزان السابق بحيث تحرر الغرويات بعضاً من الأيونات الممتزة إلى داخل محلول التربة. مما يؤدي إلى انخفاض شديد للامتزاز، وهذا ما يفسر ارتفاع تركيز محلول التربة في الفصول الحارة بما يلائم النشاط الأعظمي لنمو النبات.

4-3-3- Potassium in Plant البوتاسيوم في النبات

يتراوح محتوى النبات من البوتاسيوم بين 1 و 3% في المادة الجافة، ويمتص النبات البوتاسيوم على صورة أيونية K^+ وتتم عملية امتصاصه بآليات فعالة Active absorption ولا يتم تمثيل البوتاسيوم في أي مركب عضوي داخل النبات وإنما يظل على صورة أيونية في الخلايا والأنسجة النباتية.

يعد البوتاسيوم من أكثر الأيونات أهمية للنبات ليس فقط بسبب وجوده بنسبة عالية في الأنسجة النباتية، وإنما بسبب وظائفه الفيزيولوجية والبيوكيميائية الهامة ولعل سرعة الامتصاص من قبل النبات أهم ما يميز هذا العنصر الأمر الذي يمكن أن يعزى إلى النفاذية العالية نسبياً التي تتم بها الأغشية الخلوية النباتية تجاه كاتيون البوتاسيوم وقد تقود النفاذية العالية للأغشية الخلوية لهذا الكاتيون إلى خروج البوتاسيوم من الخلية الجذرية إلى محلول التربة أيضاً وبخاصة عندما يكون النشاط الاستقلابي للخلية معاقاً ويبدو أن الحركة العالية للبوتاسيوم في النبات مهمة لمختلف العمليات الفيزيولوجية المتأثرة بكاتيون البوتاسيوم، مثل: نمو الأنسجة المريستيمية، الحالة المائية، التركيب الضوئي... الخ. وغالباً يكون تحرك البوتاسيوم في النبات باتجاه الأنسجة الفتية، ويعاد توزيعه غالباً من الأعضاء النباتية القديمة إلى الأعضاء الفتية. يمتص النبات معظم حاجته من البوتاسيوم خلال مرحلة النمو الخضري، ويشير معدل الامتصاص المرتفع لهذا العنصر إلى أن كاتيون البوتاسيوم يعد منافساً قوياً في الامتصاص للكاتيونات الأخرى، ولهذا السبب يتحسن عموماً معدل امتصاص العديد من الكاتيونات الأخرى عندما يكون امتصاص البوتاسيوم منخفضاً. ومن ناحية أخرى فإن امتصاص النبات والاحتفاظ به في الخلايا النباتية يتأثر بدوره بالمنافسة مع كاتيونات أخرى من قبيل H^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} .

4-3-4- الأسمدة البوتاسية Potassium fertilizer

1- كلوريد البوتاسيوم KCl

السماذ يوجد منه عدة أنواع تختلف في نسبة (K_2O %) التي تصاحب الاسم حيث يوجد KCl (30، 40، 50%).

التصنيع: يصنع سماذ كلوريد البوتاسيوم من فلزات البوتاسيوم عن طريق فصل الأملاح الأخرى الموجودة كشوائب والأساس في الفصل هو اختلاف درجة ذوبان الأملاح المكونة للمعدن. فمثلاً عند التصنيع من معدن كارناليت ($Carnallite KCl.MgCl_2.6H_2O$) يضاف مع مسحوق المعدن محلول كلوريد المغنيزيوم، أما عند استخدام معدن ($Sylvinite KCl NaCl$) فيخلط المسحوق مع محلول NaCl ويرسب في الحالة الأولى كلوريد وكبريتات المغنيزيوم الموجود كشوائب ويرسب في الحالة الثانية كلوريد الصوديوم ويبقى في كلا الحالتين KCl ذائباً فيسحب

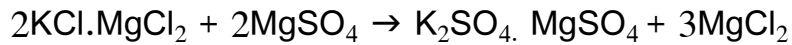
ومعه بعض الشوائب من الأملاح الأخرى ويترك المحلول حتى يبرد وينتج عن ذلك تبلور KCl ومع إضافة مركب عضوي يقوم بتعويم بلورات السماد على السطح (تطفو) والتي يطلق عليها Flotation agent ومن أمثلتها Fatty amines وتبقى الشوائب الأخرى ذائبة ويتم فصل السماد ومعه مركب التعويم وبعد ذلك يفصل المركب العضوي عن بلورات السماد المتبلورة بالغسيل ثم يجفف السماد ويعبأ. ويلاحظ أن الغسيل على أساس الاختلاف في ذوبانية الأملاح يكون كالاتي: $MgCl_2$ يمكن فصله بالذوبان في الماء البارد، أما NaCl متساوي الذوبان في كل من الماء البارد والساخن، أما KCl أكثر ذوباناً في الماء الساخن ولذلك يتم تركيزه بتسخين المحلول وبعد ذلك مع تبريد المحلول يحدث تبلور لكلوريد البوتاسيوم.

الخواص: يحتوي هذا السماد على نسبة 60% K_2O (50% K)، حبيبات صلبة، لونه أبيض، وقد يكون ملون، وهو سماد ذائب في الماء. هذا السماد بجانب ارتفاع نسبة البوتاسيوم به فإنه رخيص الثمن أيضاً ولهذا السبب يوصى باستخدامه من الناحية الاقتصادية. ومن الناحية الأخرى، فإن هذا السماد يحتوي على نسبة عالية من الكلوريد ودليله الملحي عال 116، ولذا لا يستخدم كسماد بوتاسي في الأراضي التي بها ملح زائدة وفي المناطق الجافة وفي أنواع الترب الملحية، كما أن أيون الكلوريد له تأثير سيئ على محصول أو صفات عدد كبير من النباتات مثل البطاطس والعنب.

2- كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) Potassium Sulfate

شائع الاستخدام وخاصة في حالة المحاصيل الحساسة للكور

التصنيع: يحضر محلول مشبع من كبريتات المغنيزيوم ويضاف إليه معدن Carnallite ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) فيحدث تبلور لملاح كبريتات البوتاسيوم والمغنيزيوم وينتج $MgCl_2$:



بعد ذلك يفصل ملح كبريتات البوتاسيوم والمغنيزيوم المتبلور ويذاب باستخدام بخار الماء ثم يضاف إليه KCl وينتج K_2SO_4 الذي يتبلور ويفصل ويغسل بالماء البارد ثم يجفف ويعبأ.

الخواص: يحتوي هذا السماد على 48-52% K_2O ، حبيبات ناعمة صلبة، لونه أبيض وقد يكون ملون، ذائب في الماء، ويفضل هذا السماد حيث لا يوجد أثر ضار للكور بالإضافة إلى أن دليل الملوحة له منخفض 46 بجانب احتوائه على الكبريت بنسبة 18% وخاصة للمحاصيل الحساسة لكلوريد مثل البطاطا، إلا أنه أعلى سعراً من كلوريد البوتاسيوم.

3- نترات البوتاسيوم Potassium Nitrate

ينتج هذا السماد من مفاعلة حمض الآزوت مع كلوريد البوتاسيوم أو بطرائق أخرى، ويحتوي بحدود 38% K، 46% K₂O، 13% N ويعدّ سماد نترات البوتاسيوم أعلى الأسمدة البوتاسية سعراً، ويستعمل هذا السماد للمحاصيل التي يضر بها وجود الكلور.

كما أن هناك بعض النفايات الصناعية التي تستعمل سماداً بوتاسياً، ومنها الرماد الناجم عن حرق الفحم النباتي أو فحم الكوك، أو الحطب، وما يحتويه الرماد من بوتاسيوم قد تكون نسبته أقل مما هي عليه في الأسمدة البوتاسية الأخرى، كما أن درجة ذوبان بوتاسيوم الرماد في الماء أو في محلول التربة ضعيفة إذ ما قورنت بذوبان الأسمدة الأخرى. ويحتوي الرماد على نسبة عالية من أكاسيد الكالسيوم والمغنزيوم، لذا فهو يستعمل بالدرجة الأولى لمعادلة الحموضة في الترب الحامضية وتسميد الترب بالدرجة الثانية.

4 - **سلفات البوتاسيوم والمغنزيوم:** يصنع هذا السماد، ويسوّق تحت أسماء تجارية متعددة، وهو يحتوي على 22% K₂O، 11% مغنزيوم، و22% كبريت. يعدّ مصدراً ممتازاً للبوتاسيوم والمغنزيوم الذائبين في الماء، ويمد التربة بالمغنزيوم العنصر الأساسي في تغذية النبات.

5 - **أسمدة بوتاسية أخرى:** وتضم هيدروكسيد البوتاسيوم، وفوسفات البوتاسيوم وغيرها.

جدول (4-5): الأسمدة البوتاسية

الملاحظات	%K ₂ O	الصيغة الكيميائية	السماد
يضاف إليها كلوريد البوتاسيوم أو يزال جزء من كلوريد الصوديوم	40	KCl. NaCl	السلفينيت
يستخرج من السلفينيت	63 - 48	KCl	كلوريد البوتاسيوم
-	53 - 50	K ₂ SO ₄	سلفات البوتاسيوم
13-0-44	44	KNO ₃	نترات البوتاسيوم
-	30 - 25	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄	سلفات البوتاسيوم و المنغنزيوم
تحتوي 3 % N تقريباً	9 - 4	-	سيقان التبغ

المصدر: الشاطر و البلخي، 2017 (الأسمدة والتسميد) و أبونقطة والشاطر، 2011 (الأسمدة والتسميد)

4-3-5- مؤشرات وتطبيقات استخدام الأسمدة البوتاسية:

1- **درجة تفاعل التربة pH:** ليس هناك احتياطات معينة عند استخدام الأسمدة البوتاسية تحت ظروف الأراضي الحامضية أو القلوية كما في حالة أسمدة N,P حيث مطلوب إضافتها في كلا الحالتين لنقصها في الأولى ولسيادة كاتيونات أخرى مثل (Ca, Na, Mg) في الثانية، مما يؤثر على الاتزان بين العناصر والتنافس بين الأيونات وعموماً، كذلك من ناحية تأثير الأسمدة البوتاسية على تفاعل التربة فهو قليل الأهمية حيث قد يكون لها تأثير حامضي ولكن غير ملموس.

2- نوع التربة: تضاف أسمدة بوتاسية في حالة المحاصيل التي في حاجة شديدة للبوتاسيوم مثل البطاطا، أيضا في الأراضي الجيرية نظراً لارتفاع نسبة كربونات الكالسيوم وبالتالي الكالسيوم فيقل البوتاسيوم بها حتى نحافظ على اتزان العنصر، وأيضا الأراضي الملحية التي يسود بها أملاح الصوديوم والأراضي القلوية ذات نسبة صوديوم متبادل عالية حيث يحدث سيادة لكاتيون الصوديوم على معقد التبادل ويزداد في المحلول. وكذلك الأراضي الرملية.

3- فقد البوتاسيوم K - Loss : البوتاسيوم كاتيون أي يحمل شحنة موجبة لذلك يدمص على السطح السالب لغرويات التربة مما يحفظه من الفقد بالغسيل في الترب الطينية والسلتية الطينية ولكن الأراضي الرملية التي لا تحمل حبيباتها شحنة فإنه يفقد بالغسيل، وهذا لا يعني أنه عند الإسراف في استخدام مياه الري عقب التسميد البوتاسي بالأراضي الثقيلة القوام لا يحدث فقد، بل يحدث فقد نتيجة هذه المياه الزائدة، وكقاعدة عامة لا يجب الإسراف في مياه الري عقب إضافة أي سماد، وكذلك يحدث فقد للبوتاسيوم بالتربة عن طريق استهلاك المحاصيل لذا يجب التسميد بالبوتاسيوم حتى نحافظ على مستوى التربة من البوتاسيوم باستمرار.

4- صور السماد البوتاسي: يقصد بصورة السماد الأنيون المرتبط مع البوتاسيوم، أي هل هي أسمدة كلوريدية (KCl) أم أسمدة كبريتية (K_2SO_4) وكلاهما في حالة ذائبة ولكن لا تفضل صورة عن الأخرى إلا في حالة حساسية النبات للأنيون، فمثلاً بعض النباتات حساسة للأنيون الكلوريد لذلك تسمد بالسماد البوتاسي الكبريتي، أما النباتات المحبة للملوحة فهي لا تتأثر بالكلوريد.

5- المكونات الثانوية بالسماد: تتواجد أملاح أو أيونات مصاحبة للسماد مثل Mg , Na وهذه لها تأثير على النباتات النامية فالنباتات المحبة للملوحة لا تتأثر. كذلك استمرار استخدام مثل هذه الأسمدة التي بها نسبة Na قد تؤثر على نسبة الصوديوم المتبادل بالتربة وتحولها إلى قلوية ويجب أن يراعى هذا عند التسميد البوتاسي.

الإسراف في استخدام الأسمدة البوتاسية سوف يجعلها تسلك مسلك الأملاح بالتربة أي كأن النباتات نامية بأرض ملحية مما يضر بالنبات لذا يجب تجنب التسميد بكميات كبيرة وخاصة أن النباتات لها القدرة على امتصاص أيونات البوتاسيوم بكمية كبيرة عن حاجتها دون زيادة النمو وهو ما يطلق عليه الاستهلاك الترفي. لذلك يجب أن تكون:

الكمية المطلوب إضافتها للنبات = الكمية التي يحتاجها النبات - مخزون التربة

6- كفاءة استخدام الأسمدة البوتاسية

50-60% يجب أن يوضع هذا في الاعتبار عند حساب الكمية الواجب إضافتها للنبات

7- يمكن إضافة السماد مع مياه الري (الري بالرش، الري بالتنقيط) وهذا هو أكثر كفاءة من الإضافة الأرضية ولكن يجب أن يراعى التركيز المناسب الذي لا يؤثر على النباتات أي اتباع نشرة السماد المرفقة به.

4-3-6- مبادئ التسميد البوتاسي

1. تحتاج النباتات الجذرية والدرنية والسكرية والكرمة والنباتات الزيتية إلى تراكيز كبيرة من البوتاسيوم وذلك لأهميته في عمليات اصطناع السكريات والزيوت. وتعد الأسمدة البوتاسية باستثناء نترات البوتاسيوم وسلفات البوتاسيوم أسمدة أساس، لذا يجب أن تضاف إلى التربة قبل البذر أو الغرس بمدة لا تقل عن ثلاثة أسابيع، كما يجب دائماً العمل على تأمين تراكيز جيدة من البوتاسيوم في جميع طبقات التربة التي تضرب بها جذور النبات لأن شوارد البوتاسيوم تنتشر ببطء شديد في الاتجاه الشاقولي والأفقي.
2. عند تسميد التربة خفيفة القوام الفقيرة بالبوتاسيوم يفضل تجزئة السماد البوتاسي بحيث يضاف ثلثا الكمية في فصل الخريف ويضاف الثلث الباقي في فصل الربيع.
3. عند تسميد المحاصيل تعطى الجرعة الأولى من السماد البوتاسي في فصل الربيع والثانية في طور الإشطاء.
4. تتعلق أفضلية سماد على آخر من الأسمدة البوتاسية على كمية عنصر البوتاسيوم في السماد وسعر الوحدة السمادية للبوتاسيوم المراد إضافتها للتربة.

الخلاصة:

الأسمدة الآزوتية تضاف إلى التربة عند احتياج النبات لها وذلك لأن التربة لا تستطيع تخزين الآزوت لتقدمه للنبات طوال مراحل تطوره كما أن التربة لا تستطيع أيضاً تخزين الآزوت كي يستفيد منه المحصول التالي.

بينما بالنسبة للبوتاسيوم والفوسفور حيث تضاف أسمدة هذين العنصرين بكميات كافية لإيصال تركيزهما إلى مستوى معلوم. وتضاف الأسمدة البوتاسية لتأمين احتياطي مستمر من عنصر البوتاسيوم في التربة وهو ما يطلق عليه اسم تسميد الأساس ويجب إضافة كمية من البوتاسيوم تؤمن صيانة المنسوب الاحتياطي للبوتاسيوم والتي تزيحها المحاصيل إلى خارج التربة.

الفصل الخامس-5- أسمدة العناصر الكبرى الثانوية

Secondary Macroelement fertilizers

Ca -1-5 الكالسيوم

5-1-1- Calcium in Soil: الكالسيوم في التربة

يقدر محتوى القشرة الأرضية من الكالسيوم بحوالي % 3.64، ويعد هذا المحتوى أعلى من محتوى القشرة الأرضية من معظم العناصر المغذية الأخر أما محتوى التربة من الكالسيوم فيقدر %1.5 وسطياً. ويتأثر محتوى التربة من هذا العنصر بطبيعة الصخرة الأم التي تشكلت منها التربة، وبالظروف المناخية التي رافقت تشكلها. فقد يصل محتوى التربة من الكالسيوم إلى أكثر من % 10 في بعض الترب الكلسية، بينما يمكن أن ينخفض إلى ما دون 1% في بعض الترب غير الكلسية، عموماً يكون محتوى ترب المناطق الجافة وشبه الجافة من الكالسيوم أعلى من محتوى ترب المناطق الرطبة وشبه الرطبة.

بالإضافة إلى كون الكالسيوم من العناصر المغذية الأساسية الكبرى للنبات، فإن لهذا العنصر دوراً هاماً يلعبه في تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة من خلال تأثيره الإيجابي في بناء التربة وفي درجة تفاعلها لذلك فإن المركبات الحاوية على الكالسيوم تعد من أفضل المواد لتحسين واستصلاح الترب الحامضية والترب القلوية.

5-1-2- Calcium in plant: الكالسيوم في النبات

يتراوح محتوى النبات من الكالسيوم بين 0.5-3% في المادة الجافة. ويختلف هذا المحتوى باختلاف النوع النبات والجزء النباتي، والعمر الفيزيولوجي. فالنباتات ثنائية الفلقة تتطلب كميات أكبر من الكالسيوم مقارنة بالنباتات أحادية الفلقة، كما أن محتوى الأوراق المسنة من الكالسيوم أكبر من محتوى الأوراق الفتية منه.

يتوضع الكالسيوم أساساً في المنطقة الفاصلة بين السيتوبلازم والجدر الخلوية، ويوجد في الصفيحة الوسطى على شكل بكتات كالسيوم، كما يتواجد في الفجوات الخلوية على شكل أوكسالات أو فوسفات أو كربونات الكالسيوم، وفي الأنسجة النباتية المختلفة على شكل أيونات كالسيوم حرة أو مدمصة على المجاميع الوظيفية الكربوكسيلية والفينولية. ويوجد الكالسيوم في البذور مرتبطاً مع حمض الفيتيك Phytic acid (اينوسيتول سداسي الفوسفات) على شكل ملح فيئات الكالسيوم.

5-1-2-1- Calcium Uptake: امتصاص الكالسيوم

يعزى المحتوى المرتفع نسبياً للكالسيوم في النبات أساساً إلى ارتفاع تركيز هذا الكاتيون في محلول التربة، وليس إلى كفاءة امتصاصه من قبل الخلايا الجذرية. وعلى الرغم من كون تركيز

الكالسيوم في محلول التربة يفوق بحوالي عشرة أضعاف تركيز البوتاسيوم فيه فإن معدل امتصاص النبات للكالسيوم أقل عادةً من معدل امتصاصه للبوتاسيوم. ويمتص النبات الكالسيوم على صورة أيونية Ca^{++} و يعتقد أن امتصاص الكالسيوم يتم بواسطة القمم الجذرية الفنية بآليات سلبية Passive Uptake عن طريق الانتشار والجريان الكتلي. وينتقل الكالسيوم الممتص نحو الأجزاء العلوية للنبات بواسطة الأوعية الخشبية. ويعد هذا العنصر ضعيف الحركة ضمن النسغ اللحاءى، لذلك تكون البذور والثمار فقيرة به نسبياً نظراً لكونها تتغذى عن طريق النسغ اللحاءى.

5-1-2-2- العوامل المؤثرة في قابلية الكالسيوم لإفادة النبات

يتعلق محتوى التربة من الكالسيوم القابل لإفادة النبات بمجموعة من العوامل أهمها:

- تفاعل التربة - (Soil pH)
- سعة التبادل الكاتيوني (CEC)
- نسبة تشبع غرويات التربة بالكالسيوم
- نوع فلزات الطين
- نسبة كاتيونات الكالسيوم إلى الكاتيونات الأخرى في محلول التربة
- الأيون المرافق

تزداد الفعالية الأيونية للهيدروجين مع انخفاض درجة تفاعل التربة مما يعيق امتصاص النبات للكالسيوم، لذلك يعتقد بأن النباتات تتطلب تركيزاً أعلى للكالسيوم متاح في التربة مع انخفاض pH التربة عن 5.6 .

تتصف الترب الرملية الحامضية ذات سعة التبادل الكاتيوني المنخفضة بانخفاض مقدرتها على تأمين حاجة المحاصيل المختلفة من الكالسيوم بأشكال متاحة للنبات. وتكون الحاجة ماسة في مثل هذ الظروف، لإضافة مركبات الكالسيوم بهدف تأمين حاجة النبات من هذا العنصر من جهة، ومن أجل استصلاح التربة من جهة أخرى.

في الواقع ليس للكميات المتبادلة من الكالسيوم أهمية كبيرة في تغذية النبات بهذا العنصر بقدر ما لدرجة تشبع غرويات التربة به. فمع انخفاض درجة تشبع غرويات التربة بالكالسيوم تنخفض الكمية القابلة لإفادة النبات منهم وبالعكس. و يعتقد أن معظم المحاصيل تستجيب لإضافة مركبات الكالسيوم عندما تنخفض نسبة التشبع بالكالسيوم عن 25% من سعة التبادل الكاتيوني. ومن جهة أخرى، فإن سيادة الكالسيوم على معقد ادمصاص التربة يترافق في الوقت ذاته مع محتوى منخفض من بعض الكاتيونات المتبادلة غير المرغوب فيها (كالألومنيوم في الترب الحامضية، والصوديوم في الترب القلوية). عدا عن كون هذا العنصر ضرورياً من أجل تأمين تفاعل تربة مفضل من أجل نمو معظم النباتات وللنشاط الحيوي أيضاً.

من ناحية أخرى تتوقف جاهزية الكالسيوم في التربة على نوع فلز الطين السائد فيها. ففلزات الطين من نموذج 2:1 تتطلب درجة تشبع أعلى بالكالسيوم لتزويد النبات بمستوى مناسب منه بالمقارنة مع فلزات الطين من نموذج 1:1.

فالمونتموريونيت مثلاً يتطلب درجة تشبع بالكالسيوم قدرها 70% أو أكثر لتزويد النباتات بحاجتها من هذا العنصر المغذي، بينما يمكن لفلز الكاؤولينيت مثلاً أن يفي بحاجة معظم النباتات من الكالسيوم عند درجة تشبع تتراوح بين 40-50%.

كما تتأثر جاهزية الكالسيوم وامتصاصه من قبل النبات بنسبة كاتيون الكالسيوم إلى الكاتيونات الأخرى في محلول التربة أيضاً. وتتعل الكمية الممتصة من الكالسيوم بالكاتيون المرافق Associated cation وشكل النتروجين المعدني السائد في التربة. فمن المؤكد أن امتصاص النبات للكالسيوم يتأثر سلباً بتأثير كلٍ من كاتيونات البوتاسيوم والمغنيزيوم و الالمنيوم والامونيوم. بالمقابل لوحظ ازدياد في الكمية الممتصة من الكالسيوم عندما يكون النتروجين المعدني في التربة موجوداً على شكل نترات NO_3^- .

5-1-2-3- تحمل النباتات للظروف الكلسية

تدعى الترب التي تحوي على نسبة عالية من كربونات الكالسيوم $CaCO_3 > 10\%$ بالترب الكلسية Calcareous Soils و تنتشر الترب الكلسية على نطاق واسع في المناطق الجافة وشبه الجافة من العالم. وتتصف هذ الترب عموماً بانخفاض مقدرتها على الاحتفاظ بالماء وبالارتفاع النسبي لدرجة تفاعلها مما يؤدي إلى خفض جاهزية العديد من العناصر المغذية كالفسفور والحديد والمنغنيز. إضافة إلى ذلك تتصف الترب الكلسية أيضاً بارتفاع محتوى محاليلها الأرضية من أيونات البيكبرونات والكربونات ويتعرض قسم لا بأس به من النتروجين الأمونيومي فيها للفقد بالتطاير على شكل نشادر. إن اختلاف الترب في محتواها من الكالسيوم يؤدي إلى اختلاف الأنواع النباتية والأصناف في درجة تحملها للمستويات المرتفعة من الكالسيوم في التربة. ويمكن تبعاً لذلك وضع الأنواع النباتية الشائعة في مجموعتين رئيسيتين:

- المجموعة الأولى: تضم الأنواع النباتية أليفة (محببة) الكلس Calcicoles مثل الشعير والشوندر السكريم ونباتات العائلة البقولية، والبندورة، والخضر الورقية، والزيتون، والتين، واللوز.
- المجموعة الثانية: وتضم الأنواع النباتية كارهة الكلس Calcifuges مثل الترمس وبعض الصنوبريات والحمضيات.

3-1-5 - علاج نقص الكالسيوم

- يعالج نقص الكالسيوم في الترب الحامضية بإضافة المواد الحاوية عليه كمسحوق الحجر الكلسي (Lime stone, CaCO_3) وهيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2 وأوكسيد الكالسيوم CaO وتتوقف الكمية المضافة من هذ المواد على تفاعل التربة وسعتها التبادلية الكاتيونية (CEC) وتتراوح هذ الكمية عادة بين 3-4 طن /هـ من CaO أو 4-6 طن/هـ من CaCO_3 تبعاً لخصائص التربة. وبحيث تضاف هذ الكمية مرة واحدة كل (3-5) سنوات.
- في الترب القلوية والملحية ينصح بإضافة الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) بحدود (15-40 طن/هـ) تبعاً لمحتوى التربة من الصوديوم المتبادل (% ESP Exchangeable Sodium Percentage) ودرجة التملح
- في الترب المتعادلة أو القريبة من ذلك يمكن تعويض كمية الكالسيوم المفقودة من التربة بفعل امتصاص النبات أو الغسل بشكل غير مباشر من خلال إضافة الأسمدة الفوسفاتية الحاوية على هذا العنصر. فالسوبر فوسفات العادي يحوي على (18-21)% والسوبر فوسفات الثلاثي TSP
- يحوي (12-14)% كالسيوم كما يمكن استخدام نترات الكالسيوم $\text{Ca(NO}_3)_2$ رشاً على الأوراق 0.5%.

5-1-4 - النقاط الواجب مراعاتها عند التسميد من مصادر الكالسيوم:

1. أراضي المناطق الجافة قاعدية التأثير لا يهتم بإضافة الكالسيوم لوجوده بالتربة (معادن و أملاح) بكميات كبيرة وكذلك إضافته مع مصلحات التربة (الجبس) ويتواجد مع أغلب الأسمدة المستخدمة (نترات كالسيوم، سوبر) إلا في حالة الأراضي الرملية الحديثة الاستصلاح.
2. في حالة الأراضي الحامضية لابد من إضافة أسمدة الكالسيوم أو قد يضاف طبيعياً مع مصلحات التربة (الجير).
3. الكالسيوم هام لجميع المحاصيل ويؤثر على الجودة بدرجة عالية في بعض المحاصيل مثل التفاح.
4. 4- يمكن إضافة الكالسيوم رشاً مع ملاحظة اختيار المصادر الذائبة مثل نترات الكالسيوم أو كلوريد الكالسيوم الصلب مع ترشيحه بعد إذابته.
5. عند استخدام أسمدة الكالسيوم النقية مع مياه الري في طرق الري الحديثة يجب عدم خلط الأسمدة مصدر الكالسيوم مع أسمدة بها كبريتات أو فوسفات حتى لا يرسب الكالسيوم مع كل منهما في صورة كبريتات وفوسفات كالسيوم على التوالي والتي تسد أجهزة الري بالرش

وبالتنقيط وتقلل استفادة النبات، وفي حالة زيادة محتوى مياه الري المستخدمة من الكبريتات يجب عند استخدام سماد به كالسيوم، يجب أن يضاف حمض النتريك حتى نتجنب الرواسب المتكونة (كبريتات كالسيوم).

6. عند استخدام أسمدة الكالسيوم النقية في الرش يجب تجنب استخدام نترات الكالسيوم لتجنب تأثير النترات على جودة المحصول خصوصاً في التفاح، ولهذا تستخدم مصادر أخرى كما يجب ألا يتعدى تركيز مدلول الرش عن 1-2% لتجنب احتراق الأوراق.

5-3-المغنيزيوم The Magnesium

5-2-1-المغنيزيوم في التربة Magnesium in Soil

يختلف محتوى التربة من المغنيزيوم تبعاً لنوع مادة الأصل التي نشأت عنها ومحتواها من الطين والنوع السائد منه. ويتراوح هذا المحتوى عموماً بين 0.05% في الترب الرملية و 0.5% في الترب الطينية ويعزى ارتفاع محتوى الترب الطينية من المغنيزيوم إلى سهولة تجوية الفلزات الحديدية المغنيزية Ferromagnesian minerals مثل البيوتيت Biotit والسرينتين Serpentine والأوليفين Olivine والهورنبلند Hornblend ولدخول المغنيزيوم في تركيب بعض الفلزات الثانوية كالكلوريت Chlorite والفيرميكيوليت Vermiculite والأيليت Illite والمونتموريونيت Montmorillonite .

وتتصف ترب المناطق الجافة وشبه الجافة عموماً بارتفاع محتواها من المغنيزيوم الذي يمكن أن يصل إلى 1% أو أكثر يكون في معظمه على صورة سلفات مغنيزيوم $MgSO_4$ وذلك بالإضافة إلى وجوده في مثل هذه الترب على شكل مغنيزيت $MgCO_3$ ودولوميت $CaMg(CO_3)_2$

5-2-2-المغنيزيوم في النبات Magnesium in Plant

تمتص النباتات المغنيزيوم بكمية أقل من الكالسيوم والبوتاسيوم عموماً. ويقدر محتوى النبات من المغنيزيوم بـ 0.5% في المادة الجافة، وغالباً يكون محتوى الثمار والأنسجة التخزينية من المغنيزيوم أعلى من محتواها من الكالسيوم نظراً لبطء حركة Ca^{++} في النسج اللحائي، ويدخل حوالي 20-30% من محتوى النبات الكلي من المغنيزيوم في تركيب الكلوروفيل. ويمكن أن يوجد المغنيزيوم في النبات على صورة أيونية Mg^{++} في العصارة الخلوية، ومرتبطةً بأيونات الحموض العضوية، أو بأيونات غير عضوية. يمتص النبات المغنيزيوم على شكل أيوني Mg^{++} بواسطة القمم الجذرية الفتية فقطم وبآليات سلبية غالباً. ويتأثر امتصاص النبات لهذا العنصر وانتقاله ضمن النبات بمجموعة من العوامل أهمها:

1- تؤثر النسبة (Ca / Mg) في التربة على معدل امتصاص كل من هذين العنصرين من قبل النباتات المختلفة. و يعتقد أن ارتفاع هذه النسبة عن 4/1 يمكن أن يؤدي إلى خفض

الكمية الممتصة من المغنيزيوم Mg. وتزداد منافسة الكالسيوم Ca للمغنيزيوم على الامتصاص من قبل النبات حدةً مع ارتفاع pH التربة، وازدياد محتواها من كربونات الكالسيوم CaCO_3 .

2- لوحظ أن ارتفاع النسبة (K/Mg) في وسط النمو يمكن أن يؤدي إلى خفض معدل امتصاص المغنيزيوم Mg من قبل النباتات المختلفة. حيث يعتقد أن هناك نوعاً من التضاد Antagonism بين البوتاسيوم K والمغنيزيوم Mg. كما تبين أيضاً أن إضافة الأسمدة البوتاسية يمكن أن تؤدي إلى انخفاض تدريجي في معدل امتصاص عنصر المغنيزيوم Mg ينعكس انخفاضاً في محتوى النبات منه. وبناءً على ذلك ينصح عند ظهور أعراض نقص المغنيزيوم Mg والبوتاسيوم K معاً بإضافة أسمدة المغنيزيوم أولاً لعلاج نقص هذا العنصر، ومن ثم إضافة الأسمدة البوتاسية. وعلى الرغم من أن رفع مستوى التغذية بالبوتاسيوم K غالباً ما يؤدي إلى خفض عام في معدل امتصاص النبات للمغنيزيوم Mg فإن هذا التأثير يمكن أن يختلف من جزء نباتي لآخر.

3- يتأثر امتصاص النبات للمغنيزيوم Mg بشكل مباشر بتفاعل التربة (pH)، فلقد لوحظ أن معدل امتصاص النباتات للمغنيزيوم Mg يكون في حده الأعلى عند pH بحدود 5.0 وقلما تظهر أعراض نقص المغنيزيوم Mg عند هذا الحد. لكن انخفاض رقم الـ (pH) عن ذلك أو ارتفاعه غالباً ما يؤدي إلى خفض الكمية الممتصة من المغنيزيوم Mg نتيجة للمنافسة بين كاتيونات Mg^{++} وكل من كاتيونات H^+ و Al^{+3} عند انخفاض الـ (pH)، وبين كاتيونات Mg^{++} وكاتيونات Ca^{++} في حال ارتفاع الـ (pH).

4- تؤثر طبيعة التغذية النتروجينية على معدل امتصاص المغنيزيوم Mg. فلقد لوحظ أن التسميد النتروجيني الأمونياك $\text{NH}_4\text{-N}$ وارتفاع تركيز أيونات الأمونيوم NH_4 في محلول التربة يؤثر سلباً في امتصاص النبات للمغنيزيوم، بينما التسميد النتروجيني النتراتي $\text{NO}_3\text{-N}$ يحسن من امتصاص النبات لهذا العنصر. وربما كان ذلك عائداً إلى مساهمة الأسمدة الأمونياكية في خفض درجة تفاعل التربة (pH)، ومساهمة الأسمدة النتراتيّة في رفعها.

5- يتأثر امتصاص النبات للمغنيزيوم Mg بمستوى رطوبة التربة، حيث ينخفض معدل امتصاص هذا العنصر مع انخفاض نسبة الرطوبة في التربة وجفافها.

5-2-3- إضافة المغنيزيوم Magnesium Application

تضاف المركبات الحاوية على المغنيزيوم كالدولوميت والسرينتين والمغنيزيت إلى التربة لتعويض الكميات المستنزفة منه عن طريق امتصاص النبات والتي تقدر وسطياً 30-50 كغ Mg/هـ. وللوقاية من ظهور أعراض نقص هذا العنصر على النبات.

يمكن علاج نقص المغنيزيوم على النباتات بإضافة أحد الأسمدة الحاوية عليه، حيث ينصح باستخدام الدولوميت والمغنيزيت في الترب الحامضية، أما في الترب المتعادلة فيفضل استخدام الأسمدة السلفاتية والنتراتية كملح أبسوم وسلفات البوتاسيوم والمغنيزيوم ونترات المغنيزيوم نظراً لسرعة ذوبانها. ويمكن استخدام المركبات الأخيرة كتسميد أرضي Soil application أو ورقي Foliar application.

ملاحظات:

- أراضي المناطق الجافة من النادر أن يحدث نقص في عنصر المغنيزيوم لتعدد مصادره بالتربة بالإضافة إلى إضافته مع الأسمدة الأساسية كمكون جانبي عكس الأراضي الحامضية.
- في حالة الأراضي الجديدة تزداد الحاجة إلى إضافة المغنيزيوم ولكن يمكن أن يكون مصدره الأسمدة التي يتواجد بها كمكون ثانوي أو التي يدخل في تركيبها الكيماوي ولهذا يجب احساب المقدار المضاف من هذه المصادر.
- عند التسميد بالبوتاسيوم بكمية كبيرة تزداد الحاجة لإضافة المغنيزيوم لحدوث تضاد.
- أسمدة المغنيزيوم المنخفضة الذوبان يجب أن تضاف قبل الزراعة بفترة حتى تزداد صلاحيتها.

5-4-الكبريت The Sulfur

5-3-1- الكبريت في التربة Sulfur soil:

يرجع استخدام مركبات الكبريت في الزراعة إلى عام 1768 في سويسرا، حيث لوحظ تأثير إيجابي لإضافتها (على شكل جبس) على زيادة الإنتاج. ولم تثبت أهمية عنصر الكبريت كأحد العناصر الكبرى الضرورية لنمو وتطور النبات إلا في بدايات النصف الثاني من القرن التاسع عشر. وحتى وقت قريب جداً (منتصف القرن العشرين) لم يلق عنصر الكبريت الأهمية الكافية كعنصر أساسي من عناصر النمو بسبب عدم ظهور أعراض نقصه على النبات، حيث كان يضاف بشكل غير مباشر مع أسمدة السوبر فوسفات الأحادية والأسمدة البوتاسية كسلفات البوتاسيوم والنتروجينية كسلفات الأمونيوم. كما أن إضافة الأسمدة البلدية ساهمت بشكل جيد في إمداد التربة بهذا العنصر.

بالرغم من أن أعراض نقص عنصر الكبريت بدأت بالظهور على النباتات بعد عام 1900 إلا أن هذه الأعراض أصبحت تشكل مشكلة حقيقية على المحاصيل في معظم البلدان الأوربية وأمريكا وكندا وأستراليا وأدت إلى انخفاض في المحاصيل الأمر الذي تطلب الاهتمام بالتسميد لهذا العنصر.

يتذبذب المحتوى الطبيعي للتربة من الكبريت تذبذباً كبيراً 0.01-0.08 % ويتأثر محتوى التربة منه بعوامل عديدة، كنوع ومنشأ التربة، والأساليب الزراعية المتبعة (كالتسميد المعدني والعضوي)، والبعد عن المصانع وغيرها. ويمكن أن يصل محتوى التربة غير العضوية لأكثر من 0.3% أما في التربة العضوية فمن الممكن ارتفاع تركيز إلى 1%. وبشكل عام يلاحظ ارتفاع نسبي في محتوى تربة المناطق المعتدلة والرطبة من الكبريت مقارنة م تربة المناطق الجافة وشبه الجافة. وتتميز الآفاق السطحية للتربة عادة بارتفاع تركيز الكبريت مقارنةً مع الآفاق الأكثر عمقاً.

5-3-2- الكبريت في النبات Sulfur soil:

يختلف محتوى النباتات من عنصر الكبريت، وبشكل عام يتراوح محتوى النبات بين 0.2-0.5% من المادة الجافة، ويمكن أن يصل إلى أكثر 1% من في بعض نباتات العائلة الصليبية. ويتقارب تركيز الكبريت في النبات مع كل من الفوسفور والمغنيزيوم (عدا النباتات ذات الاحتياجات العالية) والشكل الأساس لامتصاص الكبريت يتم بواسطة جذور النباتات على شكل SO_4^{--} ويمكن أيضاً أن يمتص النبات عنصر الكبريت على شكل SO_2 من الهواء الجوي مباشرة عن طريق الثغور التنفسية لأوراق النبات، ويمكن أن يكون لهذا النوع من الامتصاص أهمية كبيرة في المناطق الزراعية القريبة من المصانع التي تنفث الكبريت إلى الوسط الخارجي في تزويد النباتات بهذا العنصر. وتفضل النباتات بشكل عام امتصاص الكبريت من التربة عن امتصاصه على شكل SO_2 من الهواء الجوي.

وبالرغم من أن الشكل الرئيس للامتصاص يكون على شكل SO_4^{--} أي بدرجة أكسدة قصوى للكبريت S^{+6} إلا أنه يخضع في النبات لعملية إرجاع يتحول من خلالها معظم الكبريت الممتص إلى كبريت عضوي مرجع، ينخفض فيه رقم الأكسدة إلى S^{+2} ويكون ضمن مجموعات وظيفية مثل $-N=C=S$ ، $S-S$ ، SH

أما تركيز الشكل المعدني للكبريت SO_4^{-2} فهو منخفض جداً، ومن المعتقد أنه يؤدي دوراً هاماً في عمليات الحلمة في سيتوبلازما الخلايا ضمن النبات، تختلف النباتات فيما بينها في محتواها من عنصر الكبريت اختلافاً كبيراً، وبشكل عام تعد نباتات العائلة الصليبية من أكثر العائلات تطلباً للكبريت، تليها العائلة البقولية، أما العائلة النجيلية فتعد من أقل العائلات النباتية التي تحتاج إلى عنصر الكبريت. وعموماً يرتفع تركيز الكبريت في البذور والحبوب مقارنة مع الأجزاء لنباتية الأخرى في النبات (أوراق وأغصان). وتستخدم بعض النباتات ذات المتطلبات العالية جداً لعنصر الكبريت كدلائل لرصد نقصه في التربة كنبات *Tropaeolu*.

5-3-3-1- العوامل المؤثرة على امتصاص الكبريتات من قبل النبات:

1- درجة الحرارة: إن ارتفاع درجة الحرارة من 15 إلى 30 م° تزيد من امتصاص الشاردة بطريقتين:

أ- ازدياد شدة النتح والذي ينجم عنه ميل النبات لتعويض النقص بامتصاص الماء من التربة.
ب- زيادة نفاذية الأغشية السيتوبلاسمية الجذرية.

2- نوع النبات: تمتص بعض النباتات كميات كبيرة من الكبريتات مقارنة مع نباتات أخرى وهذا الاختلاف يمكن أن يختلف باختلاف النوع والصنف والسلال.

3- التنافس على الامتصاص:

أ- يؤدي ارتفاع تركيز شاردة الفوسفات $H_2PO_4^-$ وكذلك شاردة الموليبيدات MoO_4^{2-} في التربة إلى انخفاض قدرة النبات على امتصاص شاردة الكبريتات.

ب- إن ارتفاع نسبة الآزوت إلى الكبريت S/N عن 1:20 في المادة العضوية للتربة يقلل من امتصاص النباتات للكبريتات.

4- المحتوى من المادة العضوية: إن وجود تركيز مرتفع من المادة العضوية تزيد من تركيز أنزيم الفوسفاتاز الذي يساهم في حلمة الكبريت العضوي وتحوله إلى الشاردة SO_4^{2-} القابلة للامتصاص من قبل النبات.

5- تركيز الكبريتات: يلاحظ زيادة قدرة النبات على امتصاص شاردة الكبريتات كلما ارتفع تركيزها في التربة، ثم ينخفض الامتصاص في التراكيز العالية (السامة).

6- سرعة النمو: كلما كان النبات سريع النمو، كلما كان مجموعته الخضري كبيراً وكلما ازداد امتصاص شاردة الكبريتات من قبل النبات.

5-3-3- التسميد بالكبريت:

إن تقدير احتياجات النباتات من عنصر الكبريت يتعلق بأمور عديدة، فهو كعنصر النتروجين يتعرض للتثبيت والأكسدة والانغسال من التربة وامتصاص النبات له من الجو، وإضافة بعض الأسمدة الآزوتية والبوتاسية المحتوية على الكبريت، تزيد من تركيزه بشكل غير مباشر في أثناء عمليات التسميد. وهذ الأمور بمجملها تجعل من الصعوبة بمكان تقدير الاحتياج المناسب من الكبريت. وبشكل عام لا يتم التسميد للترب القريبة من المصانع. يؤدي انخفاض تركيز الكبريتات في محلول التربة عن 5 مع/كغ لظهور أعراض نقص الكبريت على معظم النباتات. ويضاف الكبريت عادة بمعدل 50-10 كغ/هـ، مع الأخذ بالحسبان الكميات التي تغسل من التربة مع مياه الصرف. ومن أهم الأسمدة المحتوية على الكبريت في الجدول (5-1).

جدول (5-1): الأسمدة الحاوية على الكبريت

المركب	الصيغة الكيميائية	المحتوى من الكبريت (%)
كبريتات الأمونيوم	(NH ₄) ₂ SO ₄	24
سوبر فوسفات أحادي	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .CaSO ₄	12-14
الجبس	CaSO ₄ . 2H ₂ O	18-19
كبريتات البوتاسيوم	k ₂ SO ₄	17
كبريتات المغنيزيوم	MgSO ₄	13
زهر الكبريت	S	100
سماد بلدي	-	0.5-0.5

المصدر: عودة وشمشم، 2011 (خصوبة التربة وتغذية النبات)

ملاحظات

- 1- يجب اختيار السماد المناسب تبعاً لدرجة تفاعل التربة، حيث يوجد أسمدة يمكن أن تزيد من حموضة التربة مثل الكبريت المعدني أو سلفات الأمونيوم والتي تستخدم في الأراضي القاعدية.
- 2- يجب عدم خلط الأسمدة الذائبة التي تعتبر مصدر لعنصر الكبريت مع أسمدة بها كالسيوم حتى لا يحدث ترسيب للكبريت في صورة كبريتات كالسيوم منخفضة الذوبان مثل خلط سلفات البوتاسيوم مع نترات الكالسيوم وبراى هذا أيضا عند التسميد مع مياه الري.
- 3- هناك أسمدة عديدة مركبة تعتبر مصدراً لعنصر الكبريت والعناصر الأخرى، ولهذا يجب أن توضع في الاعتبار نسبة الكبريت بها وبراى هذا أيضا مع الأسمدة التقليدية المستخدمة.
- 4- المناطق الصناعية تكون مصدر لعنصر الكبريت الذي يصل إلى 10-30 كغ كبريت/هـ - و ناتج عن غاز SO₂ .
- 5- عند استخدام اليوريا باستمرار في التسميد بدلا من سلفات الأمونيوم سوف تظهر أعراض نقص الكبريت.
- 6- لا مانع من استخدام أسمدة الكبريت في الرش إلا أنه يراعى درجة الذوبان وكذلك نختار التركيز الذي لا يؤدي إلي حرق الأوراق.

الفصل السادس -6- أسمدة العناصر المغذية الصغرى

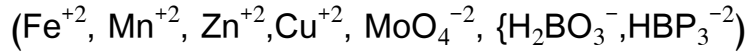
Micronutrient Fertilizer

الفصل -6- الباب -1- سلوك العناصر الصغرى في التربة والنبات

Behavior of microelements in soil and plants

6-1-1- مقدمة:

تمتص النباتات خلال نموها مجموعة من العناصر بكميات قليلة نسبياً تسمى العناصر الصغرى، حيث أن هناك 6 عناصر غذائية صغرى يحتاجها النبات منها 4 عناصر في صورة كاتيونية وهي (الحديد، والمنغنيز، والزنك، والنحاس). ويوجد 2 عنصر في صورة أنيونية وهي (البورون، والموليبدينوم). والصورة الصالحة للامتصاص لهذه العناصر هي على التوالي:



وهي لا تقل أهمية في النبات عن العناصر الكبرى، ويعود مستوى العناصر الصغرى في الطبقة السطحية للتربة أساساً إلى التكوينات الجيولوجية وعوامل تشكل التربة، وتساهم النشاطات البشرية في اختلاف هذه المستويات، ويمكن أن تتواجد العناصر الصغرى في التربة أو الرواسب في صور مختلفة، فإما أن تكون ذائبة في المحلول الأرضي على شكل كاتيونات أو أنيونات حرة أو مرتبطة مع المركبات العضوية وغير العضوية أو متبادلة أو مدمصة على أسطح معادن الطين أو مشكلة معقدات مع المادة العضوية وبقايا النباتات والدبال والكائنات الحية أو راسبة غير ذوابة مع أكاسيد الحديد والمنغنيز وذلك في ظروف التجوية الشديدة للمعادن الأولية كالطين السيليكاتي. إن توزع العناصر وتركيزها في التربة يتأثر بخواص العنصر الفيزيائية والكيميائية وصوره المختلفة وخواص التربة الفيزيائية والكيميائية مثل قوام التربة، ومحتوى التربة من المادة العضوية ورقم حموضة التربة (pH)، ومحتوى كربونات الكالسيوم وزمن الاتزان والسعة التبادلية الكاتيونية (CEC). كما تؤثر هذه الخواص على ادمصاص العناصر مما ينعكس تأثيره على حساب ثوابت معادلات حركتها وانتقالها داخل التربة. وبالتالي مدى إتاحتها للنبات.

6-1-2- أسباب الحاجة للتسميد بالعناصر الصغرى

- ارتفاع درجة تفاعل التربة pH تقلل صلاحية العناصر الصغرى عدا الموليبدينوم.
- ارتفاع نسبة كربونات الكالسيوم خاصة بالأراضي الجيرية يقلل من صلاحية هذه العناصر.
- فقر التربة بالعناصر الصغرى وخاصة الأراضي الرملية.
- نقص المادة العضوية وكذلك انخفاض الكميات المضافة للتربة مما يقلل من إمدادها بالعناصر الصغرى أو تقليل مساهمتها في زيادة صلاحية العناصر عن طريق إنتاج الأحماض المختلفة الناتجة عن التحلل، بالإضافة إلى ارتفاع حرارة الجو التي تزيد من سرعة

تحلل الكميات المضافة للتربة ونقص المادة الفعالة بالتربة الناتجة من التحلل وهي الدبال التي تعتبر مواد مخليبية طبيعية تقوم بالارتباط بالعناصر الصغرى وتحميها من الدخول في تفاعلات التربة التي تقلل من صلاحية هذه العناصر.

- التكثيف الزراعي يؤدي لزيادة إزالة العناصر الصغرى من التربة نتيجة استهلاك النباتات.
- استخدام سلالات نباتية ذات سعة تيسير منخفضة تؤدي لظهور أعراض نقص العناصر الصغرى وبالتالي تزداد الحاجة لإضافة أسمدتها.
- ارتفاع رقم حموضة التربة في الأراضي الحامضية لاستخدام الجير وكل من الصرف وعمليات الخدمة تؤدي إلى عدم تيسير العناصر الصغرى.
- الإسراف في استخدام أسمدة NPK يزيد من محصول المادة الجافة مما يؤدي لحدوث ظاهرة التخفيف Dilution ceffect أي كمية العناصر الميسرة بالتربة لا تحقق الاتزان العنصري لزيادة المادة الجافة وهنا تزداد الحاجة لإضافة أسمدة العناصر الصغرى.
- زيادة استخدام أسمدة العناصر الكبرى تؤدي لظاهرة التضاد Antagonisom بين هذه العناصر وبين العناصر الصغرى كذلك تأثير التفاعل Interaction بين العناصر والذي يؤدي لظهور أعراض نقص العناصر الصغرى مثل الحديد مكوناً فوسفات الحديد أقل صلاحية وبهذا تزداد الحاجة إلى إضافة الحديد وغيرها من العناصر الصغرى.

6-1-3- التربة التي يظهر فيها أعراض نقص العناصر الصغرى

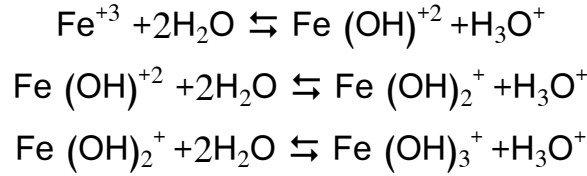
- التربة الرملية: تعد هذه التربة فقيرة وراثياً بجميع العناصر الكبرى والصغرى (لأنها تتشكل أساساً من معادن أولية) كما ينخفض فيها تركيز المادة العضوية.
- التربة الحامضية المغسولة: يرتفع تركيز العناصر الصغرى عادةً في مثل هذه التربة (عدا الموليبدنوم) حيث تكون أكثر ذوباناً تحت هذه الظروف ويرجع فقر هذه التربة بالعناصر الصغرى أساساً إلى حركة الماء ضمن مقطع التربة حيث تغسل إلى الطبقات السفلى.
- التربة الكلسية والقلوية والحامضية المستصلحة بإضافة الكلس إليها بكميات كبيرة: إن ظهور أعراض نقص العناصر الصغرى في هذه التربة (عدا الموليبدنوم) لا يعزى لفقرها بالعناصر الصغرى، إذ تحتوي هذه التربة في معظم الأحيان على تراكيز مرتفعة من العناصر الصغرى إلا أن معظمها يكون غير قابل للامتصاص من قبل النبات حيث يتم تثبيتها على شكل هيدروكسيدات وأكاسيد وكربونات.
- التربة العضوية: ينخفض تركيز الأشكال المتاحة من العناصر الصغرى (النحاس خاصة) بسبب تعرّض الأشكال الذائبة للمواد العضوية للغسل من جهة، ومن جهة أخرى ينخفض محتواها من الأشكال الفلزنية التي تساهم في إمداد محلول التربة بالعناصر الصغرى.

6-1-4- العوامل الأرضية المؤثرة في انحلال وحركية العناصر الصغرى

إن عملية التوازن الكيميائي للعناصر الصغرى ما بين محلول التربة ومكونات التربة هي عملية معقدة، وإن تركيز العنصر في محلول التربة، أو ضمن مكونات أخرى في التربة، ما هو إلا محصلة لتوازنه بين كل من معادن الطين، والمادة العضوية، والأكاسيد المائية للحديد والمنغنيز والألمنيوم، والمعدّات الذائبة والتي تتأثر بعوامل عديدة منها:

1- تأثير pH التربة:

يعد رقم حموضة التربة من أهم العوامل تأثيراً في حركية العناصر الصغرى في التربة. ولا يقتصر دور pH في التأثير المباشر في إذابة وترسيب العناصر الصغرى في التربة، وإنما لتأثير غير المباشر أيضاً في كثير من تفاعلات تكوين معدّات المادة العضوية والادمصاص، وتفاعلات الأكسدة والإرجاع. ويزداد ذوبان العناصر الصغرى الكاتيونية في الترب الحمضية، ويمكن أن يصل تركيز هذه العناصر في بعض الأحيان إلى حد السمية. وبشكل عام ينخفض ذوبان جميع العناصر الصغرى (عدا الموليبدنوم) بارتفاع رقم حموضة التربة، حيث تتشكل مركبات ضعيفة الذوبان في الماء (هيدروكسيدات، كربونات، فوسفات).
فمثلاً تتحول شاردة الحديد الثلاثي إلى مركب ضعيف الانحلال بالماء (هيدروكسيد الحديد)، من خلال المراحل التالية:



تتشكل جميع العناصر الصغرى الكاتيونية هيدروكسيدات وكربونات العناصر الموافقة لها، وهي مركبات ضعيفة الانحلال بالماء، إلا أن انحلاليتها تكون بدرجات مختلفة، وهذا الأمر يمكن ملاحظته حتى ضمن العنصر الواحد، فمثل تكون هيدروكسيدات المعادن Fe, Mn عند أرقام أكسدتها المرتفعة أصعب ذوباناً من هيدروكسيداتهما عند أرقام الأكسدة الأقل للعنصر المشكل لها، لذلك نجد أن انحلالية $\text{Fe}(\text{OH})_3$ أقل بكثير من انحلالية $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

2- تأثير ظروف الأكسدة والإرجاع في التربة

ترتبط الظروف المؤكسدة والمرجعة في التربة ارتباطاً وثيقاً بمحتواها من الرطوبة، والتي تؤثر تأثيراً كبيراً في ذوبان وإتاحة العناصر الصغرى. وتزداد عند ارتفاع محتوى التربة من الرطوبة عمليات الإرجاع (ظروف غدقة) وينخفض جهد الأكسدة والإرجاع للتربة، بينما يرتفع جهد الأكسدة والإرجاع في الترب جيدة التهوية. و يعبر عن جهد الأكسدة والإرجاع بالميليفولت، حيث

يتراوح جهد الأكسدة والإرجاع من +700 في الترب جيدة التهوية إلى -300 ميليفولت في الترب الغدقة جداً.

تتواجد العناصر الصغرى (Cu, Mn, Fe) في الظروف الغدقة، بدرجات أكسدة منخفضة، وتختلف درجة ذوبان العناصر الصغرى متعددة التكافؤ (كالحديد والمنغنيز) حيث تزداد درجة ذوبانها مع انخفاض جهد الأكسدة والإرجاع، وربما وصل تركيزها إلى تراكيز سامة. وعلى العكس تماماً فإن العناصر الصغرى (Cu, Zn) تنخفض إتاحتها حيث تترسب على شكل كبريتيدات ضعيفة الذوبان في الماء. أما في ظروف التهوية الجيدة للتربة فتتواجد العناصر الصغرى الكاتيونية بدرجات أكسدة أعلى وتكون غير متاحة للامتصاص من قبل النبات وخاصة إذا ما ترافق ذلك بارتفاع pH التربة.

3- تأثير المادة العضوية

يؤثر محتوى التربة من المادة العضوية تأثيراً كبيراً في حركية وإتاحة العناصر الصغرى للنبات. وقد اختلفت الآراء كثيراً حول تأثير المادة العضوية في إتاحة العناصر الصغرى، ويرجع هذا التباين في كثير من الأحيان، إلى سلوك مكونات المادة العضوية في التربة.

تتكون المادة العضوية في التربة من مجموعة من المركبات العضوية، غير المعروف تركيبها بشكل كامل. ومن المركبات العضوية التي تحظى بأهمية كبيرة في التربة: الهيومين والحموض الهيومية وهي ذات أوزان جزيئية مرتفعة، والحموض الفولفية ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة نسبياً (مقارنة مع الأحماض الهيومية)، إضافة إلى مركبات أخرى ذات أوزان جزيئية منخفضة كالمركبات البروتينية، الأحماض الأمينية. وأحماض السيتريك والطرطريك وغيرها.

ترتبط كاتيونات العناصر النادرة الكاتيونية في هذه المركبات العضوية مشكلة معقدات عضوية معدنية والتي تدعى بالشيلات أو المخلبيات Chelates ويسمى الجزء العضوي فقط من الشيلات بالعامل الشيلاتي Chelating agent. ترتبط المعادن في الشيلات ارتباطاً قوياً، حيث يشغل كاتيون العنصر مركز جزيئة الشيلات، ويرتبط معها بروابط قوية (مشاركة وتساندية) إذ تمكن طريقة الربط هذه من حماية المعدن من الدخول في تفاعلات تقلل من عدم إتاحتها في التربة.

تشكل أحماض الفولفيل مع كاتيونات العناصر النادرة مخلبيات تكون ذائبة في الظروف الحمضية والقلوية على السواء، لذلك فهي تؤدي دوراً هاماً في تغذية النبات بالعناصر الصغرى الكاتيونية بالإضافة إلى المركبات العضوية الأخرى الذوابة، كما أن تجمعها لا يحدث إلا عند وجود تراكيز مرتفعة من الإلكتروليتات في محلول التربة، ولهذا تبقى بحالة ذائبة في محلول التربة، ويمكن أن تغسل من التربة أيضاً أما أحماض الهيوميك، فهي تشكل أيضاً شيلات مع العناصر النادرة الكاتيونية، ويزداد ذوبانها عند pH أكبر من 7، إلا أن هذه المركبات تسلك

سلوك الغرويات، وبذلك تكون قابليتها للتجمع كبيرة، بفعل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم في الترب القاعدية، ويتأثير الحديد والألمنيوم في الترب الحامضية. لذلك ينظر للحموض الهيومية على أنها مخزن للكثير من العناصر النادرة في التربة.

يتشكل العامل الشيلاتي في التربة، كما ويتشكل في جذور النباتات، وتتمثل الآلية الرئيسية لتزويد المركبات الشيلاتية النبات بالعناصر الصغرى، بأن يجذب المركب الشيلاتي باتجاه جذر النبات خلال حركته مع ماء التربة، إلا الفراغات البينية لخلايا الجذر حيث يتم امتصاص الكاتيون من خلال الأفنية الخلوية للجذر، ثم يرتبط ارتباطاً عضوياً على شكل شلات ضمن النبات، ثم ينتقل إلى جميع أجزاء النبات. بينما يتحرك العامل الشيلاتي بعيداً عن جذر النبات ليقوم بربط كاتيون آخر من جديد.

تنتج الصناعة حالياً أنواعاً عديدة من شيلات العناصر الصغرى الكاتيونية، وتتعلق فعالية هذه الشيلات، بقدرتها على الثبات في ظروف التربة، كما يؤثر في درجة ثبات هذ المركبات عوامل عديدة منها: نوع الشاردة المعدنية، العامل الشيلاتي، درجة pH التربة. وتعدُّ شلات الحديد الأكثر ثباتاً من بين شيلات كاتيونات العناصر الصغرى الأخرى، تليها شيلات النحاس والزنك، بينما لا تشكل المعقدات العضوية مع المنغنيز معقدات ثابتة بدرجة كافية من الناحية العلمية.

4- التوازن بين العناصر وتأثيرها المتبادل

تتطلب النباتات وجود تراكيز متوازنة من العناصر الأساسية في التربة لتحقيق نموها وتطورها بشكل أمثل. وقد يكون إيجاد نوع من التوازن بين العناصر الكبرى أمراً يمكن تحقيقه إلى حدّ ما. أما في حالة العناصر الصغرى، فإن تحقيق التوازن يكون أكثر صعوبة لأسباب عديدة منها: حين يكون تركيز هذ العناصر في التربة منخفضاً جداً كما أنها تختلف كثيراً في حركتها وانتقالها في التربة. أما فيما يتعلق بظاهرتي التضاد Antagonism والتآزر Synergism فيلاحظ وجود تأثير متبادل فيما بين العناصر الصغرى من جهة، وبين العناصر الصغرى والكبرى من جهة أخرى.

6-1-5- تفاعلات العناصر الصغرى المضافة إلى التربة

تؤدي إضافة أسمدة العناصر الصغرى إلى التربة إلى ارتفاع تركيزها ولا يلبث أن ينخفض تركيز الشكل القابل للإفادة من قبل النبات، ويمكن تفهم ذلك من خلال العمليات التي تحد ضمن مكونات التربة والتي تتمثل بالترسيب والادمصاص وتكوين المعقدات العضوية.

1- الترسيب Precipitation:

يحصل هذا النوع من التفاعلات عندما يكون جداء تركيز الشوارد المشكلة للراسب أكبر من جداء الانحلال للراسب. ومن أهم العناصر الصغرى التي تترسب بهذه الطريقة: الحديد، الزنك،

النحاس، حيث تترسب على شكل هيدروكسيدات، كربونات. أما في الترب الغدقة فيمكن أن تترسب العناصر الصغرى على شكل كبريتيدات وهذا يتوقف أساساً على جهد الأكسدة والإرجاع للتربة.

2- الاممصاص Adsorption: ويحصل الاممصاص بشكل عام من خلال آليتين اثنتين:

أ- تبادل كاتيوني Cation Exchange

تتصف الغرويات المعدنية السيليكاتية والعضوية بوجود شحنة سالبة تمكنها من جذب الكاتيونات إليها بقوى جذب كهرسالبة، ويمكن لهذا الكاتيونات أن تنزاح من على أسطح الغرويات لمعد الاممصاص، ويحصل هذا الاممصاص في الترب الحامضية، ويندر انجذاب العناصر الصغرى الكاتيونية إلى سطح الغرويات في الترب القاعدية إلا إذا ارتفع تركيزها ارتفاعاً كبيراً (بسبب التنافس مع كاتيونات القواعد الأرضية على أسطح التبادل).

ب- ادمصاص كيميائي Chemisorption

ويمكن أن يتم هذا النوع من الاممصاص بآلية الاممصاص الكاتيوني أو الأنونيوني. يحدث ادمصاص للعناصر النادرة على المجموعات الفعالة لأسطح الألومينوسيليكات غير المتبلورة، وعلى أسطح الأكاسيد والأكاسيد المائية للحديد. والمنغنيز والألمنيوم، حيث تمتلك هذه المركبات مجموعات طرفية من شوارد الهيدروكسيل ونميز في الاممصاص الكيميائي بين ادمصاص كاتيوني وادمصاص أنيوني.

3- تشكل معقدات عضوية

تشكل المادة العضوية في التربة معقدات عضوية معدنية، والمجموعات الفعالة لتشكيل هذه المعقدات هي مجموعة الكربوكسيل والفينول والسلفونيل وغيرها، وإن كان أكثرها شيوعاً مجموعتي الكربوكسيل والفينول اللتان تشكلان المعقد العضوي المعدني (الشيلاتي). إن درجة ثبات المعقدات العضوية المعدنية يتأثر بعدة أمور من أهمها: ثابت التفكك أو التشكل للمعقد العضوي المعدني ودرجة تفاعل التربة، وتركيز الكاتيونات الأخرى في محلول التربة.

6-1-6- العناصر الصغرى وتغذية النبات

إن توفر العناصر الصغرى في وسط النمو، يترافق بامتصاص النبات لهذه العناصر. وتختلف النباتات اختلافاً كبيراً في احتياجاتها من العناصر الصغرى. وتظهر أعراض نقص العنصر عند انخفاض تركيزه عن حد معين في أنسجة النبات. ومع ارتفاع تركيزه في أنسجة النبات، تزول الأعراض الظاهرية للنقص ويبقى النبات يعاني من نقص العنصر في أنسجتها وبالرغم من عدم ظهور أعراض النقص عليه. ويسمى النقص في هذه الحالة بالجوع الخفي Hidden Hunger وينمو النبات نمواً طبيعياً، بوصول تركيز العنصر في النبات إلى حد (أو مجال) الكفاية. ويزيادة

تركيز العنصر في أنسجة النبات، تبدأ معاناة النبات حيث ينخفض المحصول دون ظهور أعراض تسمم ظاهرية عليه (إذا ما ازد التركيز عن حد معين تبدأ عندها أعراض التسمم على النبات بالظهور).

تختلف حساسية النباتات لظهور أعراض النقص أو التسمم بالعناصر الصغرى بحسب عوامل عديدة منها: نوع العنصر، النوع النباتي، الصنف ضمن النوع النباتي.

6-1-7 - أسمدة العناصر الصغرى

تقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهي:

1- أملاح غير عضوية (معدنية) **Inorganic salts**: مصدر السماد يكون أملاح معدنية وهي تصنع بنسب وتراكيز مختلفة، مثل كبريتات العناصر الصغرى (الحديد والنحاس و المغنيز و الزنك).

2- المركبات المخلبية **Chelate compounds**: العناصر الصغرى الكاتيونية (Cu, Mn, Zn, Fe) عندما تضاف إلى التربة في صورة أملاح فإنها تتعرض إلى تفاعلات تقلل من صلاحيتها للنبات ولكن عندما تضاف في صورة مركبات مخلبية فإن ارتباطها بهذه المركبات يحميها من الدخول في تفاعلات بالتربة وبالتالي تزيد من صلاحيتها.

تعريف الأسمدة المخلبية: هي معقدات عضوية معدنية ترتبط بها الكاتيونات الثنائية على جوانب متعددة بالمركب وشكل الروابط يشبه أسلحة المقص أو الأذرع عندما تحيط بالجسم أو أذرع الإخطبوط عندما تحيط بالفريسة ولهذا يطلق عليها اصطلاح خلب.

وتوجد عدة نظريات لامتناس النبات لهذه المركبات فإما أن النبات يمتص المركب المخلبي بأكمله ويحدث بعد ذلك استقلاب للعناصر الصغرى داخل النبات، أو أن تتفصل العناصر المرتبطة عن المركب المخلبي عند الجذور ويحدث امتصاص للعناصر الصغرى وعموماً درجة ثبات المركب المخلبي هي التي تحدد إحدى حالتى الامتناس السابقة.

أمثلة عن الأسمدة المخلبية:

نذكر من هذه المركبات:

EDTA: هو عبارة عن اختصار للمركب العضوي المصنع: Ethylene diamine tetre

Syntgetic acetic acid. ومثال عليها:

Zn-EDTA (6-14% Zn)، Mn-EDTA (5-12% Mn)، Fe-EDTA (5-14% Fe)

Cu-EDTA (7-13% Cu)، ويلاحظ أن الحدود الصغرى في حالة الصورة السائلة والحدود

العليا في حالة الصورة الصلبة.

EDDHA: هو عبارة اختصار للمركب Ethylene diamine dihydroxypleny1

acetate ومثال عليها: (6% Fe) EDDHA-Fe.

وقد توجد مركبات أخرى منها:

(DTPA (10% Fe) ، HEEDTA (5-9% Fe, 5-9% Mn, 9% Zn, 4-9% Cu)

NTA (8% Fe)

3- المعقدات العضوية الطبيعية Natural organic complexes

تستخدم المعقدات الموجودة في المخلفات الطبيعية كمواد مخلبية حيث إن هذه المعقدات تحتوي على مجاميع فعالة تشبه تلك الموجودة في المواد المخلبية والتي تقوم بربط العناصر الصغرى ومن أمثلة هذه المواد النواتج الثانوية الناتجة عن صناعة الورق ولكن هذه المواد أقل ثباتاً من المواد المخلبية المصنعة كما أن هذه المواد سهلة التكسير بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة ولهذا فهي مناسبة للرش الورقي أو في مخاليط الأسمدة.

6-1-7- ملاحظات يجب أن توضع في الاعتبار عند التسميد بالعناصر الصغرى:

1- توجد مصادر متعددة لأسمدة العناصر الصغرى وهي المعدنية والمخلبية والمخلقة والمخلبية الطبيعية وأفضل هذه المصادر للإضافة في التربة هي المخلبية المخلقة لأنها تحمي العنصر من الدخول في تفاعلات تقلل من صلاحيتها في التربة عما لو استخدمت المصادر المعدنية كما أنها أكثر ثباتاً من المخلبية الطبيعية.

2- عند اختيارك للصور المخلقة يجب اختيار الصورة التي تتناسب نوع التربة من حيث أنها تكون أكثر ثباتاً في هذا النوع فمثلاً تحت ظروف الأراضي الجديدة والجيرية تفضل الصورة EDDHA.

3- الصورة المخلبية تصلح للرش حيث أنها لا تؤدي إلي حرق الأوراق كما في حالة المعدنية.

4- يجب أن تلاحظ عند اختيارك في الرش أو التنقيط أو الإضافة الأرضية التركيز المناسب المستخدم في حالة كل منها حتى لا يحدث سمية للنباتات عند زيادته وحتى يحصل النبات على احتياجاته.

5- الصورة المخلبية مرتفعة الثمن ولهذا يمكن استخدام الصورة المعدنية، لذا يفضل إضافة مادة عضوية معها لزيادة صلاحيتها كما تختار الصورة المعدنية الذائبة حتى تستخدم بكفاءة عالية.

6- عند استخدامك للصورة المعدنية خاصة في الرش يختار التركيز المناسب الذي لا يؤدي إلى حرق الأوراق ويتجنب استخدام الصورة المعدنية الكلوريدية في حالة النباتات الحساسة للكلوريد.

الفصل السادس-6-الباب الثاني -2- الحديد Iron

6-2-1- مقدمة: تكمن أهمية عنصر الحديد، كأحد أهم العناصر الصغرى المغذية للنبات، في دوره الفيزيولوجي الهام في النبات، ولسلوكة المعقد في التربة من ناحية حركته وامتصاصه من قبل النبات. إن أعراض نقص عنصر الحديد تمت ملاحظتها في سورية في منتصف القرن الماضي على العديد من الأشجار المثمرة والمحاصيل، وبخاصة في الأراضي الكلسية، حيث شكلت مشكلة حقيقية تمثلت في انخفاض الإنتاج كماً ونوعاً.

6-2-2- الحديد في التربة Iron in Soil

يصنف الحديد ضمن العناصر الضرورية الصغرى بالنسبة لاحتياجات النبات إليه، ولكنه يعتبر من العناصر الكبرى جيوكيميائياً. حيث يوجد ضمن مكونات القشرة الأرضية بكمية كبيرة فهو يحتل المرتبة الرابعة في نسبته بالقشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيليكون والألمنيوم. ويشكل الحديد ما نسبته 34 % من كتلة الأرض، ومتوسط تركيز في القشرة الأرضية 5.6 %، أما متوسط تركيز الحديد الكلي في التربة فيساوي حوالي 5 (10-0.5%)، وفي الترب الغنية بالحديد Ferroginous soils يتواجد الحديد بها بنسبة تفوق 10%. وفي الأراضي الرملية تكون الكمية الكلية قليلة حيث تصل النسبة إلى حوالي 1%، وتتنخفض النسبة عن 1% في الأراضي الرملية التي تتعرض للغسيل بواسطة مياه الأمطار.

الحديد أحد أكثر العناصر وفرة على الأرض. ومع ذلك، فإن سمة للحديد في التربة ليست وفرته بل محدودية ذوبانه التي تجعله متاحاً للنباتات. ويظهر معظم هذا الحديد على شكل أكسيدات الحديد التي تكون صعبة الذوبان. والقليل من كمية الحديد في التربة تكون متاحة لتغذية النباتات. وتعد الصخور البازلتية غنية جداً بهذا العنصر، بينما يقل تركيز عنصر الحديد في الصخور الرملية. وبالرغم من ارتفاع تركيز الحديد الكلي في التربة، إلا أن ذلك لا يعد مؤشراً على توفره في التربة بأشكال متاحة للامتصاص من قبل النبات، إذ أن هناك العديد من العوامل الأرضية التي من شأنها خفض تركيز الحديد القابل للإفادة من قبل النبات.

6-2-2-1- العوامل المؤثرة في جاهزية الحديد في التربة

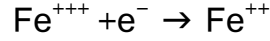
تعتبر كمية الحديد الميسرة بالتربة الزراعية قليلة جداً بالمقارنة بكمية الحديد الكلية بنفس الأرض. ويوجد الحديد الميسر الذائب في محلول التربة إما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{+2} , Fe^{+3} أو على صورة عضوية ذائبة مثل Fe-organic complexes $Fe(OH)_2^+$, $FeOH^{+2}$ معقدات الحديد العضوية. ويتوقف ظهور أعراض نقص للحديد على النباتات على الكمية الميسرة والتي تتحكم فيها عدة عوامل يمكن إيجازها فيما يلي:

1- تأثير درجة تفاعل التربة (pH) وجهد الأوكسدة والإرجاع (Eh):

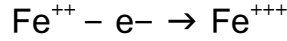
يعد هذان العاملان من أهم العوامل تأثيراً في ثبات واستقرار الأشكال المختلفة للحديد في التربة وتأثيرهما سينعكس على أحياء التربة وتجوية الحبيبات الناعمة، حيث يزداد هذا التأثير بانخفاض درجة تفاعل التربة وانخفاض جهد الأوكسدة والإرجاع فيها، ويمكن أن يزداد تركيز الحديد الثنائي تحت هذا الظرف ويمكن أن يصل تركيز في بعض الأحيان إلى حد السمية للنبات.

إن ارتفاع pH التربة بمقدار درجة واحدة (3-4) يؤدي إلى خفض تركيز الأشكال الذوابة للحديد اللاعضوي (Fe^{++} , Fe^{+++}) بمقدار 100 مرة، وهذا الانخفاض يزداد بقدر كبير جداً كلما ارتفع pH .

تؤدي ظروف الغدق المترافقة مع استهلاك لشوارد الهيدرونيوم في التربة، إلى إرجاع الأشكال غير المنحلة لأوكسيد الحديد المائية الثلاثية إلى أشكال منحلة على شكل حديد ثنائي. ويمكن أن تتحول شوارد الحديد الثلاثي إلى حديد ثنائي حسب التفاعل:



أما في ظروف الأوكسدة فيتحول الحديد الثنائي إلى ثلاثي كما يلي:



يمكن أن تساهم الظروف الهوائية في تحول مركبات قليلة الذوبان في الماء إلى مركبات أخرى أقل ذوباناً. كما هو الحال في تحول الأوكسيد المائية للحديد الثنائي إلى أوكسيد مائية للحديد الثلاثي.

تختلف إمكانية ذوبان الحديد مع تهوية التربة التي تؤثر في أكسدة الحديد. ففي التربة الجيدة التهوية تهيمن أشكال الحديد (III) Fe (فيريك) (Fe^{3+} Ferric). هذا النوع من الحديد هو أقل قابلية للذوبان من (فيروس Fe^{2+} Ferrous) (II) Fe الذي ترتفع نسبته نسبياً في التربة التي لا ترشح بشكل جيد. في بعض الأحيان يستخدم لون التربة الناتج من وجود الحديد كإشارة لرشح التربة وتهويتها. يعطي الحديد (فيريك) لوناً أحمر للتربة الجيدة التصريف [الترشح] أو التهوية. بينما يعطي الحديد (فيروس) لوناً أزرق وأخضر منقطة بالأحمر في التربة ضعيفة الترشيح أو التهوية. ويظهر هذا اللون بشكل سائد تحت السطح، على العموم.

2- المادة العضوية: يرتفع تركيز الحديد القابل لإفادة النبات في التربة بزيادة محتواها من المادة العضوية، حيث تعمل على حمايته من الترسيب عن طريق تثبيته بمعدنات عضوية معدنية، ليصبح أكثر إتاحة للنبات من خلال آليات مختلفة. وربما يكون لارتفاع محتوى الترب الكلسية من المادة العضوية أهمية كبيرة وأثر إيجابي في تجنب أو التخفيف من حدة نقص

الحديد الناجم عن زيادة الكلس في تلك الترب. وتؤكد بعض الأبحاث زيادة محتوى التربة من الحديد القابل للإفادة، وكذلك ارتفاع تركيز الحديد في النبات بإضافة الأسمدة العضوية.

3- تأثير كربونات الكالسيوم:

تؤثر كربونات الكالسيوم في التربة على انخفاض إتاحة الحديد في التربة. وتظهر أعراض نقص الحديد على النباتات، وتسمى هذه الظاهرة بالشحوب الكلسي Lime induced chlorosis ويتجلى التأثير السلبي لكربونات الكالسيوم في هذه الترب من خلال عدة آليات:

- تكون الترب الكلسية عادةً غنية بشوارد الكالسيوم التي تنتج عن الانحلال الجزئي للكلس فيها والذي ينافس الحديد على الامتصاص من قبل النبات.
- يرتفع pH الترب الكلسية (7.5-8.5) وينجم عن ذلك انخفاضاً في الأشكال المتاحة من عنصر الحديد.
- يمكن أن ينشأ في ظروف الغدق أو الري الغزير في الترب الكلسية شاردة البيكربونات التي ترفع شاردة البيكربونات pH التربة وتزيد من ترسيب الحديد في التربة، كما أنها تثبط فعالية الجذور في إرجاع الحديد وامتصاصه من قبل النبات. كما تسبب شاردة البيكربونات رفع pH العصارة الخلوية للنبات، مسببة ترسب الحديد بأشكال غير فعالة ضمن النبات، ويعد وجود هذه الشاردة بتركيز عال، المسبب الأكثر أهمية في ظهور الشحوب الكلسي لدى العديد من الأنواع النباتية النامية في ترب كلسية. وتشير بعض الأبحاث إلى ما يسمى بظاهرة Iron Paradox أي اصفرار الأوراق رغم ارتفاع محتواها من عنصر الحديد والذي يمكن أن يعزى إلى تثبيط فعالية الحديد في الأوراق بواسطة شاردة البيكربونات.

2- تأثير التضاد بين الأيونات Antagonistic ions: من الأسباب التي تؤدي إلى ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد على النباتات هو وجود أو إضافة أسمدة عناصر معينة، حيث وجد أن زيادة الفوسفور الذائب في التربة يقلل من امتصاص الحديد، ويعتقد بأن الفوسفات تعمل على تثبيط الحديد في التربة ضمن مركبات غير ذوابة، وتجعله في صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وهناك رأي آخر يقول بأن تأثير زيادة الفوسفات على نقص الحديد يرجع ارتباط الفوسفات مع شوارد الحديد ضمن الجذور وعدم انتقاله إلى مواقع النمو الجديدة. هذا التأثير نفسه وجد مع Mo، كما أن زيادة تركيز Zn , Mn , Cu في التربة يؤدي لحدث تداخل أو تضاد أو سمية، وبالتالي يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف. وقد أشارت بعض الأبحاث أن زيادة مستوى التسميد النتروجيني وخاصة إذا كان في صورة نترات يؤدي إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد أن إضافة الحديد مع التسميد النتروجيني يزيد الإنتاج إذا أضيف النتروجين في صورة الأمونيوم NH_4^+ وذلك للتأثير الحامضي لهذا

السماذ والعكس مع إضافته في صورة نترات NO_3^- ذات التأثير القاعدي. وأن زيادة التسميد النيتروجيني بصفة عامة يزيد النمو الخضري وبالتالي المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد في النبات.

6-2-3- الحديد في النبات Iron in Plant

يمتص النبات عنصر الحديد على شكل ثنائي Fe^{+2} ويؤثر في امتصاص النبات لعنصر الحديد عوامل عديدة أهمها pH التربة، ووجود الفوسفور وكل من المنغنيز والنحاس، حيث يؤدي المنغنيز والنحاس دوراً هاماً في عمليات الأكسدة والإرجاع.

ففي الوسط الحامضي يزداد تركيز الأشكال المتاحة من عنصر الحديد، وأعراض نقص الحديد تظهر في الترب الكلسية والقلوية وبشكل عام عند درجة تفاعل للتربة أكبر من 6.

ومن العوامل التي يمكن أن تعيق امتصاص عنصر الحديد، هو وجود الفوسفور الذي يؤدي إلى ترسيب الحديد ليس في التربة على شكل فوسفات حديد فحسب وإنما ترسيب الحديد أيضاً ضمن النبات، حيث لوحظت أعراض نقص الحديد في أوراق النباتات رغم ارتفاع محتواها من الحديد، وهذا الظاهرة تمت ملاحظتها أيضاً في النباتات النامية في الزراعة المائية بوجود تركيز مرتفع من الفوسفور، حيث لم تؤد إضافة الحديد لتلافي أعراض النقص وقد أدى خفض تركيز الفوسفور في الوسط الغذائي لزوال أعراض نقص الحديد، وقد أكدت التجارب التي استخدم فيها نظير الحديد Fe^{55} هذه العلاقة.

يعد عنصري النحاس والمنغنيز من أهم العناصر الصغرى التي تؤدي دوراً هاماً في امتصاص الحديد من قبل النبات حيث توجد علاقة تآزر بين الحديد والنحاس، بينما تكون علاقة الحديد بالمنغنيز هي علاقة تضاد نموذجي، فزيادة إضافة المنغنيز إلى التربة، ينخفض تركيز الحديد في النبات.

إن وجود تركيز مرتفع من المادة العضوية في الترب الكلسية والقلوية يزيد من إتاحة الحديد للنبات، حيث يتشكل معقدات عضوية معدنية (شيلات حديد). إن هذا الارتباط على شكل مركبات عضوية مع الحديد يحمي الحديد من الترسيب بأشكال غير متاحة للامتصاص من قبل النبات وسواء كان هذا الارتباط العضوي المعدني بشكل مركبات عضوية ذوابة أو غير ذوابة، فإن للمعقدات العضوية الذوابة للحديد دوراً هاماً في تغذية النبات، وبفضل هذه المركبات يمكن الاستفادة من الحديد الثلاثي Fe^{+3} بالإضافة إلى الشكل الثنائي Fe^{+2} حيث يتم إرجاعه على أسطح جذور النباتات عن طريق آلية الإرجاع ثم امتصاصه على شكل حديد ثنائي من قبل النبات، ولهذا يمكن استخدام شيلات الحديد كأسمدة لتزويد النبات بهذا العنصر في الترب القاعدية.

ويعزى قدرة النباتات النجيلية بشكل عام على امتصاص الحديد من أشكاله غير المتاحة في الترب الكلسية لإمكانية إفراز جذورها مركبات عضوية تدعى Phytosiderophores من مناطق خلف القمم الجذرية مباشرة حيث تذيب الحديد من مركباته غير المنحلة وترتبط معه وتسهل امتصاصه من قبل النبات. وهذه المركبات يمكن أن يتم إفرازها بواسطة أنواع من البكتريا في التربة أما في ثنائيات الفلقة فإن مقدرة النباتات على إتاحة الحديد في التربة ترجع إلى قدرة الجذور على إفراز شوارد الهيدروجين عن طريق مضخات بروتينية في إفراز بعض الحموض العضوية و إفراز مركبات عضوية قادرة على إرجاع الحديد الثلاثي إلى ثنائي. كما أن تراكم الأحماض العضوية في الأنسجة النباتية الفقيرة بعنصر الحديد تسهل حركة الحديد وفعاليتها ضمن النبات.

6-2-3-1- تركيز الحديد وحركته ضمن النبات

يختلف تركيز النباتات من عنصر الحديد حسب نوع النبات وطور النمو، والجزء النباتي، والصنف وبشكل عام يتراوح تركيز الحديد بين 50-200 مع/كغ مادة جافة، وتحتوي الأجزاء الخضراء للنباتات بين 100-200 ويمكن أن يصل تركيز إلى أكثر من 400 مع/كغ مادة جافة وعموماً يرتفع تركيز عنصر الحديد في الأوراق، بينما ينخفض محتوى الحبوب والبذور والجذور والدرنات من هذا العنصر.

إن معظم الحديد في النبات يكون بشكل عضوي غير ذواب، ويتواجد معظمه في الجسيمات الكوندريه والكلوروبلاست، وبالرغم من أن الشكل الأساسي لامتصاص الحديد من قبل جذور النباتات يتم بشكل معدني Fe^{++} إلا أن انتقاله ضمن النبات يتم عبر الأوعية الخشبية، بالشكل الثلاثي المرتبط مع حمض السيتريك، وضمن الأوعية الغربالية على شكل ثنائي مرتبط مع النيكوتين أمين.

يتواجد عنصر الحديد ضمن النبات بشكلين ثلاثي مؤكسد وثنائي مرجع ومن المعتقد أن الشكل المرجع هو الأكثر أهمية من الشكل المؤكسد غير الفعال حيويًا والذي يميل لأن يترسب في مركبات ضعيفة الانحلال وذلك بخلاف الحديد (الثنائي) المرجع الذي يؤدي دوراً فعالاً في العمليات الحيوية في النبات.

بصفة عامة، إذا كان تركيز الحديد داخل أنسجة النبات أقل من 50 جزء في المليون فهذا يعني أن هذه النباتات تعاني من نقص في الحديد ويتضح ذلك من جدول (7-8). لكن يجب القول بأنه في بعض الحالات يكون مستوى الحديد الكلي داخل النبات مرتفع ومع ذلك يظهر عليه الاصفرار Chlorosis، ويرجع ذلك لأن النبات يستفيد من الحديد في صورة حديدوز أكثر منه في صورة حديدك، ولذلك يعمل النبات على اختزال الحديدك بمجرد امتصاصه إلى حديدوز. ووجد

أن النباتات تختلف فيما بينها في قدرتها على اختزال الحديد. حيث أثبتت الأبحاث أن محتوى الأوراق الخضراء من أيون الحديدوز Fe^{2+} يفوق بكثير محتوى الأوراق التي يظهر عليها الاصفرار لنبس النبات. وعلى ذلك يمكن القول بأنه في داخل النبات يوجد حديد نشط **Active iron** (Fe^{2+}) وهو الحديد الذائب وله علاقة مباشرة بتكوين الكلوروفيل وباقي العمليات الحيوية التي تحتاج إلى الحديد في عملها، بينما الحديد غير النشط يكون مترسباً وليس له علاقة بالعمليات الحيوية.

يلعب المنغنيز دوراً أساسياً في أكسدة الحديدوز (النشط) إلى حديدك (غير نشط)، وبالتالي فزيادة المنغنيز داخل النبات يسبب الاصفرار بالرغم من أن الحديد الكلي موجود بتركيز مرتفع ويعرف ذلك بما يسمى بنقص الحديد الناتج عن زيادة المنغنيز **Mn-induced iron deficiency**. وأيضاً يمكن تعليل سبب ظهور الاصفرار على الأوراق **Iron chlorotic leaves** بالرغم من ارتفاع محتواها من الحديد الكلي إلى أن الحديد يكون مرتبطاً بأصول كيميائية داخل النبات مثل أنيونات $H_2PO_4^-$, OH^- , HCO_3^- أو مركبات مخلبية في خلايا الورقة، وبالتالي لا يرتبط الحديد مع المركبات العضوية التي تستخدم الحديد في العمليات الحيوية بالخلية.

6-2-4- علاج نقص الحديد

أ- طرق غير مباشرة: تعتمد على استعمال أنواع وأصناف نباتية مقاومة لنقص هذا العنصر أو نباتات أليفة للكلس، كما أن إضافة المركبات والأسمدة ذات الأثر الحامضي إلى التربة القلوية والتربة الكلسية يؤدي إلى خفض درجة تفاعل التربة وبالتالي زيادة تركيز شوارد الحديد المتاحة. حيث إن المواد العضوية للتربة تقوم بعمل المواد المخلبية في ربطها لشوارد الحديدي، وبما أن أيونات الهيومات والفولفات ذوابة في التربة ذات الظروف القلوية فإنه يتحرر الحديد الذي يتزود به النبات في هذه الظروف. ويمكن علاج نقص الحديد في التربة المعتدلة وخفيفة القلوية بزيادة الحموضة عن طريق إضافة مواد الأسمدة ذات الأثر الحامضي مثل الكبريت وسلفات الأمونيوم. كما يمكن لبعض العمليات الزراعية الخاصة مثل كبس التربة وسوء التهوية أن تؤدي لزيادة تركيز الحديد المتاحة.

ب- طرائق مباشرة: وذلك من خلال استخدام أملاح ومركبات الحديد في تغذية النبات عن طريق المجموع الخضري أو إضافتها للتربة لرفع تركيز الحديد المتاحة.

6-2-4-1- طرائق إضافة أسمدة الحديد

1- التسميد الأرضي: يندر حدوث نقص لعنصر الحديد في التربة الحامضية، ويمكن معالجة النقص في حال وجوده بإضافة سلفات الحديدي بينما لا يكون لإضافتها أي تأثير في التربة

الكلسية والقلوية حيث يتم تثبيتها بأشكال غير متاحة. ويمكن أن تؤدي إضافتها بوجود التسميد العضوي والأخضر، وكذلك إضافتها المترافقة مع إضافة الكبريت إلى معالجة النقص.

تعد شيلات الحديد من المركبات المستخدمة لتلافي ظهور أعراض نقص عنصر الحديد على النباتات. وتختلف كفاءة شيلات الحديد المضافة إلى التربة في قدرتها على معالجة أعراض النقص في الترب الكلسية والقاعدية، ويعتمد ذلك على قدرتها على تشكيل معقدات ثابتة مع عنصر الحديد في درجات مختلفة لتفاعل التربة.

ويلاحظ أن شيلات الحديد Fe-EDDHA كانت ثابتة عند درجات تفاعل التربة pH=4-10 وبالتالي أكثر كفاءة في معالجة النقص من Fe-EDHA التي تنخفض كفاءتها في هذا الترب. لذلك تستخدم عادة مركبات شيلات الحديد وخاصة Fe-EDDHA لتسميد أشجار الفاكهة بمعدل 2-3 غ لكل 1 سم من محيط الشجرة، ومن الضروري إضافتها عند عمق مناسب وتحت تاج الشجرة وعند بعد مناسب عن الساق، ولا تعد إضافتها للمحاصيل مناسبة من الناحية الاقتصادية لارتفاع أسعارها.

2- التسميد الورقي:

يتم التسميد الورقي باستخدام مركبات الحديد اللاعضوي على شكل سلفات حديدي $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ بمعدل 3-5 غ/ل و 0.5 غ/ل من مركبات شيلات الحديد. ومن الضروري إجراء عملية الرش لعدة مرات خلال فصل النمو مع التركيز على ضرورة الرش في فترتي بداية النمو والنضج وتحقيق ابتلال كلي للأوراق والتركيز على النموات الحديثة. ويمكن النقليل من التأثيرات الموضعية لعدم تجانس توزيع الرش باستخدام مواد ناشرة تخفض التوتر السطحي لمحلول الرش.

إن استخدام المركبات المخيلية ذات الألوان الغامقة وعند رش النبات بمحاليها تتجمع قطرات المحلول على الأوراق، فيتبخر الماء وتبقى الشيلات ذات الألوان الغامقة، والتي تمتص حرارة الشمس مما يؤدي إلى حرق الأوراق في مكان تجمع قطرات المحلول. من جهة أخرى ينتج عن تجمع قطرات المحلول تحت تأثير الجذب السطحي عدم توزع أيونات الحديد على كامل سطح الورقة لذا لا يعود اللون الأخضر إلا إلى المواقع التي ترسبت عليها المركبات الشيلاتية. إضافة إلى أن الرش بالمركبات المخيلية لا يمنع ظهور الاصفرار على النموات الحديثة وهذا ما يستدعي الرش بصورة مستمرة طوال موسم النمو الأمر الذي يؤدي إلى زيادة النفقات والتلوث البيئي. لذا يفضل البعض استخدام المركبات المخيلية عن طريق إضافتها للتربة، وبمعدل 2-5 كغ/دونم.

3- التسميد مع مياه الري: يمكن استخدام سلفات الحديدي $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ مع مياه الري بمعدل 1-4 كغ/هـ حي توزع الكمية على عدد الريات.

4- التسميد بالحقن: يمكن علاج نقص الحديد على الأشجار المثمرة بحقنها بمحاليل أملاح الحديد عن طريق الجذوع وأفضل الأملاح المستعملة لهذا الغرض هي كبريتات الحديدي . وتحقن المحاليل تحت القلف بحيث لا تزيد كمية الملح المستعمل في كل موضع على 3 غ وقد يصل عدد مواضع الحقن إلى نحو 20 موضعاً. وهذا يتوقف على عمر الشجرة ودرجة نقص الحديد. ومما يؤخذ على طريقة حقن المحاليل الحديدية أن الثقوب التي تحصل نتيجة الحقن قد تكون بؤرة للحشرات والأمراض إضافة إلى أن تركيز المحاليل قد يؤدي إلى احتراق الأوراق، وهي بحاجة إلى خبرة لتنفيذها.

6-2-5- أنواع أسمدة الحديد

هناك عدة مصادر لمركبات الحديد والتي تستخدم كأسمدة لمعالجة نقص الحديد الميسر بالتربة الزراعية يوضحها جدول (6-1). وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع التربة ونوع السماد وأيضاً حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخلبية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصةً عند إضافتها للترب القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب المخلبي كبيرة وبالتالي يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر في صورة ذائبة في المحلول الأرضي وميسرة للنبات حتى في الوسط القاعدي. وقد يفسر تأثير المركبات المخلبية في زيادة صلاحية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص الكاتيون الغذائي من المركب المخلبي عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبي فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركاً الجزء العضوي في محلول التربة، ويفقد الكاتيون من المركب المخلبي يتهدم البناء الحلقي ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات المحلول الأرضي ومنها أيون الحديد والذي يزداد تيسره نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الهيدروجين ويتكون المعقد المخلبي مرة أخرى. وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات المخلبية Fe-DTPA (ثنائي الإيثيلين ثلاثي الأمين خماسي حمض الخليك) Fe-EDTA (الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخليك) و Fe-EDDHA (إيثيلين ثنائي الأمين ثنائي الفينيل هيدروكسي حامض الخليك) بالأراضي الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات، وقد وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام مركب Fe-EDDHA، وإن حوالي 65% من الحديد تظل في صورة ذائبة بالمحلول الأرضي عند استخدام نفس المركب (Lindsay) سنة 1974. ويستنتج من هذه النتائج بأن مركب Fe-EDDHA يكون أكثر ثباتاً في الأراضي الجيرية عن باقي المركبات المخلبية

الأخرى والتي يحل الكالسيوم محل الحديد الموجود بها مع ارتفاع رقم الـ pH . ومن أنواع أسمدة الحديد:

1- **كبريتات وكوريدات الحديد:** وهي أسمدة معدنية جيدة الذوبانية إلا أنها تتحول في التربة إلى أشكال غير جاهزة للنبات لاسيما في الترب الكلسية وذات درجة التفاعل المرتفعة (أعلى من 7.0).

2- الأسمدة المخلبية أو الشيلات **Chelates:**

هناك عدد من المركبات طبيعية أو مصنعة ممكن أن تغلف الحديد وتقلل من تفاعله مع مكونات التربة ومن ثم تزيد من مدة بقاءه في التربة بشكل جاهز، ومن هذه المواد:

EDTA (ethylene diamine tetra acetic acid)

DTPA (diethyl tryamine penta acetic acid)

EDDHA (ethylene diamine di o hydroxyphenyl acetic acid)

HEEDTA (Hydroxy ethylene diamine tetra acetic acid)

APCA (Amino Poly Carboxylic Acid)

يتأثر المركب المتكون من المخلب والعنصر المغذي ومدى استقراره وبقائه بدرجة تفاعل المحلول ويعد المركب EDDHA أكثر استقراراً إذ أنه يبقى مستقراً في مدى لـ pH بين 4-9 وهو مدى واسع ويشمل معظم الترب الزراعية ولذا يعد الحديد المخلبي Fe-EDDHA من أفضل أنواع الأسمدة المخلبية وأكثرها استقراراً. أما EDTA فإنه مستقر عند pH يساوي 6.5 و DTPA عند pH يساوي 7.0 وأهم الأسمدة الحاملة للحديد والمستخدمة في الزراعة:

النسبة المئوية للحديد	الصيغة الكيميائية أو الرمز	نوع السماد
20	FeSO ₄ 7H ₂ O	سلفات الحديدي
23	Fe ₃ (SO ₄) ₂ .4H ₂ O	سلفات الحديد
14	FeSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄ 6H ₂ O	سلفات الحديد النشادرية
6	Fe-EDDHA	شيلات الحديد
12-9	Fe-EDTA	شيلات الحديد
10	Fe-DTPA	شيلات الحديد
9-5	Fe-HEEDTA	شيلات الحديد

الفصل -6- الباب-3- المنغنيز (Mn²⁺):

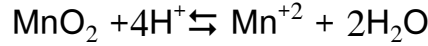
6-3-1- المنغنيز في التربة:

يتراوح تركيز المنغنيز الكلي في التربة بين 100-5000 ملغ/كغ، ولا يشكل الجزء القابل للإفادة أكثر من عدة مئات جزء بالمليون. وتختلف الأراضي فيما بينها اختلافاً كبيراً في محتواها من المنغنيز الكلي. فهناك أراضي يكون محتواها من المنغنيز الكلي قليلاً جداً قد يصل في ندرته إلى آثار، بينما أراضي أخرى قد يزيد محتواها من هذا العنصر عن 10%. ويعتبر المنجنيز الثنائي التكافؤ قابل للحركة مما يجعله يتعرض للغسيل وخاصة في أراضي البودزول الحامضية، وعلى هذا يقلل من محتوى الأرض من المنغنيز الكلي.

6-3-1-1- العوامل المؤثرة في حركية عنصر المنغنيز في التربة

1- درجة الـ pH:

هناك توازن بين شكلي المنغنيز الأكثر تواجداً في التربة Mn²⁺, Mn⁴⁺ ، يلاحظ في الظروف الحامضية تحول المنغنيز الرباعي إلى ثنائي وفق التفاعل التالي:



وتؤدي الظروف القلوية إلى تحول الشكل الثنائي إلى الرباعي. ومن الملاحظ أن ارتفاع pH الوسط يقلل من تركيز المنغنيز بمقدار مئة مرة.

ارتفاع pH التربة يؤدي إلى خفض الكمية الميسرة من المنغنيز إلى الدرجة التي لا تسمح بإمداد النباتات النامية في هذه الأراضي بحاجتها من هذا العنصر حيث يتأكسد المزيد من المنغنيز الثنائي تحت هذه الظروف. و يتضح ذلك جلياً في الأراضي الجيرية حيث أن محتوى هذه الأراضي من المنغنيز الكلي كبير ولكن الكمية الميسرة منه قليلة جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع pH هذه الأراضي. وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضي والتي تزيد من المنغنيز الميسر نتيجة لخفضها pH التربة. كذلك هناك تأثير آخر لـ pH التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة والتي لها دور هام في عمليتي الأكسدة والاختزال للمنغنيز حيث وجد أن هذه الكائنات تقوم بعملية الأكسدة عند قيم من pH حول رقم 7 ويتحول Mn²⁺ إلى صور Mn³⁺, Mn⁴⁺ غير الميسرة للنبات. وعكس ذلك في الأراضي الحامضية حيث يزداد تيسر المنجنيز إلى الدرجة التي قد يصبح معها تركيزه في المحلول الأرضي ساماً مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الأراضي.

2- كمون الأكسدة والإرجاع

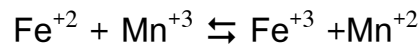
يؤثر كمون الأكسدة والإرجاع تأثيراً كبيراً فكلما كان تركيز الأشكال ذات رقم الأكسدة المرتفعة هي السائدة دلّ ذلك على ارتفاع كمون الأكسدة والإرجاع، ويتوافق تأثيره مع درجة pH التربة حيث يزداد كمون الأكسدة والإرجاع بانخفاض pH التربة.

3- محتوى الأرض من الرطوبة:

نظراً لأن المنغنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دوراً أساسياً في تحديد الكمية الصالحة من هذا العنصر (Mn^{+2}). وعلى ذلك نجد أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الأكسجين تزداد كمية Mn^{2+} نتيجة لحدوث عملية الاختزال للصور العالية التكافؤ من المنغنيز، وتلعب المادة العضوية سهلة التحلل دوراً مهماً في زيادة هذه الكمية وذلك لأن مع تحللها تتطلق الطاقة التي تستخدمها الكائنات الدقيقة المسؤولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الأرز قد لا تعاني من نقص المنغنيز لزيادة ذوبانه تحت هذه الظروف. كما أنه في بعض المناطق يحدث في وقت واحد زيادة في كلٍ من الكمية الميسرة نتيجة لظروف الاختزال، والكمية المفقودة من هذه الصورة نتيجة لعملية الغسيل، كما في المناطق الرطبة الممطرة.

4- تأثير الأيونات المغذية الأخرى:

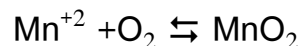
ومن أشهر العلاقات هنا علاقة الأكسدة والاختزال بين الحديد والمنغنيز، إذ تستطيع شاردة Fe^{++} أن تختزل شوارد المنغنيز Mn^{+++} كما تستطيع شوارد Mn^{++} أن تختزل شوارد Fe^{+3} وفق التفاعل التالي:



يبين هذا التفاعل أنه يمكن أن يحصل ما يعرف باسم ظاهرة التضاد Antagonism بين المنغنيز والحديد أو تآزر Synergisme وذلك تبعاً للطاقة المتبادلة +2 أو +3 وأن علاقة Fe/Mn تبقى نسبية لا تحدد الكمية الموجودة من الحديد والمنغنيز في الوسط. حيث إن الأعراض الناتجة عن المستوى المرتفع من الحديد الميسر بالتربة، تختلف عن الأعراض الناتجة عن توافر كميات عالية نسبياً من المنغنيز.

5- ظروف التربة:

تسود عمليات الإرجاع في ظروف التربة الغدقة، وتنشط الأحياء الدقيقة اللاهوائية حيث تقوم بإرجاع Mn^{+4} إلى الشاردة Mn^{+2} وبزوال ظروف الغدق وتحولها إلى ظروف هوائية يتحول المنغنيز الثنائي إلى رباعي حسب التفاعل



وتؤدي ظروف الغدق لمدة طويلة إلى توفر الشاردة Mn^{+2} بتركيز مرتفع يمكن أن يؤدي أحياناً إلى تسمم النبات.

6-3-2- المنغنيز في النبات Manganese in Plant

تمتص النباتات عادة من التربة المنغنيز الثنائي Mn^{+2} سواء الموجود بحالة ذائبة أو متبادلة على أسطح الغرويات، ويمكن لبعض النباتات أن تمتص هذا العنصر من مركبات مثل MnO_2 حيث تتميز جذورها بقدرة عالية على إرجاع MnO_2 إلى Mn^{+2} كما يمكن للنبات امتصاص المنغنيز العضوي من التربة. تمتص النباتات المنغنيز أيضاً عبر مسطحها الورقي عن طريق التسميد الورقي بشكل معدني أو عضوي. يتواجد المنغنيز في النبات بشكل ثنائي مرتبط مع مركبات عضوية، كما يتواجد جزء منه على شكل معدني Mn^{+2} ولا يشكل المنغنيز ذو التكافؤات الأعلى إلا نسبة بسيطة تستخدم في تفاعلات التمثيل الضوئي. يعتبر عنصر المنغنيز من العناصر قليلة الحركة في النبات، لذلك فإن أعراض نقصه أول ما تظهر على النموات الحديثة. تتراوح نسبة المنغنيز في النبات من 10مغ/كغ مادة جافة إلى عدة مئات وتعتبر النسبة الحدية لوجوده في النبات من 15-25 مغ/كغ. وبعد التركيز 20-30 ppm في النبات كافياً بشكل عام بالنسبة لمعظم المحاصيل. يزداد تركيز المنغنيز في الأوراق مقارنة مع البذور والدرنات والجذور.

6-3-3- علاج نقص المنغنيز:

- 1- كبس التربة بغرض تحقيق شروط الاختزال فيها: يرافق هذه العملية سوء التهوية وخفض درجة التفاعل وكلاهما غير مرغوب فيه بالنسبة للنباتات.
- 2- إضافة مواد قادرة على خفض درجة التفاعل مثل الكبريت الذي يتحول إلى كبريتات حيث أن الكبريت يتأكسد ببطء إلى حمض الكبريت.
- 3- بينت الأبحاث أن إضافة كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 يزيد من امتصاص المنغنيز.
- 4- استعمال السوبر فوسفات لأنه يحتوي على هذا العنصر كشوائب.
- 5- استعمال الأسمدة ذات التأثير الحامضي مثل سلفات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$.
- 6- إضافة مركبات ومواد تمد التربة والنبات بالمنغنيز.

6-3-3-1- طرائق إضافة المنغنيز:

1- التسميد الأرضي

يعالج نقص المنغنيز بشكل عام في التسميد الأرض باستخدام سلفات المنغنيز وتستخدم بنجاح في الترب الحامضية، وتقل كفاءتها بارتفاع pH التربة. ويمكن أن يكون لإضافة الأسمدة الحامضية الأخرى (كبريت حر سلفات الأمونيوم) أثراً إيجابياً في تحسين الامتصاص. أما استخدام شيلات المنغنيز كتسميد أرضي لا يعطي الفائدة المرجوة منه بسبب إحلل الكالسيوم أو

الزنك وأحياناً الحديد محله في الشيلات وتثبيته في التربة حيث لا يشكل المنغنيز مع الشيلات مركبات ثابتة.

2- التسميد الورقي: يمكن استخدام $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ بمعدل 0.3 غ/ل ويمكن استخدام

مركبات الشيلات بمعدل 0.5 غ/ل

ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دوراً أساسياً في تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففي الأراضي الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنغنيز في الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالي يصبح أقل تيسراً للنبات، وفي حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشاً بجوار النبات أو الأفضل استخدامها رشاً على المجموع الخضري للنبات.

6-3-4- أنواع أسمدة المنغنيز

1- كبريتات المنغنيز $MnSO_4$ بمعدل 50-100 كغ/هـ. ولا تعطي هذه الطريقة نتائج حسنة لأن أملاح المنغنيز الثنائية تتحول بسهولة إلى أملاح منغنيز ثلاثية قليلة الإتاحة. لذا يفضل استعمالها رشاً على النباتات بمعدل 15 كغ/هـ ونجاح هذه الطريقة متوقف على الظروف الجوية.

2- استعمال شيلات المنغنيز Mn - EDTA بمعدل 2-5 كغ/هـ

الفصل 6- الباب 4- الزنك ZINC

6-4-1- الزنك في التربة:

تختلف الترب في المحتوى الكلي من الزنك اختلافاً كبيراً، حيث يتراوح هذا المحتوى من 10 إلى 300 جزء في المليون، وبمتوسط عام 80 جزء في المليون. إلا أن الشكل القابل للاستفادة لا يتعدى 0.1 من الكمية الكلية.

6-4-1-1- كمية الزنك المتاحة بالتربة:

تعتبر كل من الصورة الذائبة والمتبادلة ذات درجة تيسر مرتفعة للنبات، وإن كان هناك جزء قليل من الزنك غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعادن قد لا يفي بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطيء أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن. وبصفة عامة وفي معظم الترب فإن تركيز الكمية الذائبة في المحلول الأرضي لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون، وفي الغالب تكون أقل من واحد جزء في المليون.

6-4-1-2- العوامل المؤثرة على سلوك ودرجة جاهزية الزنك في التربة:

تتأثر ذوبانية الزنك في التربة بالرقم الهيدروجيني وكمية المعادن والسعة التبادلية الكاتيونية والمادة العضوية ونوع معادن الطين. ويوجد الزنك في صورة ذائبة ومتبادلة على سطوح

الغرويات، ويترسب هيدروكسيد الزنك مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني إلى قرب التعادل، ولكن بزيادة ارتفاعه إلى الجانب القلوي تظهر صفات هيدروكسيد الزنك الأمفوتيرية، أي أنه يعمل كشق حامضي في الوسط القلوي، وتتكون زنكات القواعد. إن نقص الزنك في الترب الكلسية يعزى إلى كربونات الكالسيوم والرقم الهيدروجيني وإضافات الأسمدة الفوسفاتية وأيونات البيكربونات في مياه الري وعدم التسميد بالزنك. كما تتأثر إتاحة الزنك في الترب الكلسية بكل نوع معدن الطين وأنيونات وكاتيونات محلول التربة ونواقل الزنك، و يتحكم في قدرة التربة على ادمصاص الزنك كل من معادن الطين السليكاتية وأكاسيد العناصر والكربونات، حيث يؤثر الطين السليكاتية في ادمصاص الزنك من خلال تأثيره على السعة التبادلية الكاتيونية للتربة.

1- الرقم الهيدروجيني pH:

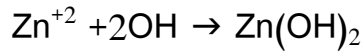
تختلف شحنات سطوح الفلزات، باختلاف الرقم الهيدروجيني، مما يدل على أهمية الرقم الهيدروجيني في ادمصاص العناصر، فقد وجد أن ادمصاص يحفز بشكل واضح وينسب متباينة في مدى من الرقم الهيدروجيني تحت شروط حدوث عمليات التحلل المائي (Hydrolysis). ويتعلق ذلك بالخواص الكهربائية للمنظومة الغروية، لأن هذه العملية تخفض الشحنات الأيونية للفلزات وتقلل من التفاعلات الأيونية في طبقة الإذابة (Solvent)، مما يؤدي إلى وصول الأيون تقريباً إلى الأسطح البنية نتيجة زيادة طاقة كولومبيك Coulombic. إن ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة يؤدي إلى ارتفاع العدد الكلي للمواقع السالبة على معادن الطين والمادة العضوية، لذلك تزداد سعة ادمصاص الزنك، كما أن الرقم الهيدروجيني يؤثر أيضاً على أشكال الزنك، فعند زيادة الرقم الهيدروجيني من 4.8 إلى 7.1 في التربة يتناقص الزنك المتبادل من 42% إلى 2% بسبب زيادة المعقدات الفلزية والأكاسيد المقيدة للزنك. إن تركيز الزنك في محلول الاتزان مع جزئيات الطين في التربة عند رقم هيدروجيني أقل من 7، يتعلق بتفاعلات ادمصاص والتحرر باختلاف الرقم الهيدروجيني وكمية الزنك المدمصة وتركيب التربة. أما عند رقم هيدروجيني مساوٍ أو أعلى من 7 وتحدث تفاعلات ترسيب وإذابة، ويعتقد أنه حتى عند رقم هيدروجيني أعلى من 7 من غير المحتمل تشكل مركبات الزنك في معظم الترب، لأن إضافة كميات كبيرة من الزنك تؤدي إلى تحفيز مواقع ادمصاص لمختلف مكونات التربة، قبل أن تبدأ عمليات الترسيب. إن الرقم الهيدروجيني يفسر حوالي 75% من تغيرات أشكال الزنك، وحوالي 80% من تغيرات الزنك المتاحة. كما يؤثر الـ pH في السعة ادمصاصية للتربة، فقد وجد ان زيادة في السعة ادمصاصية خطياً بأكثر من ثلاث مرات لكل زيادة في الرقم الهيدروجيني للتربة في المدى من 4.4 - 7.

تتوقف إتاحة الزنك للنبات بدرجة كبيرة على pH التربة، حيث تزداد الإتاحة بانخفاض الـ pH، ويتضح ذلك في الترب الحامضية. وعلى العكس من ذلك نجد في الترب القاعدية تكون الكمية

المتاحة قليلة جداً، حيث وجد أن تركيز الزنك يقل 100 مرة مع كل وحدة زيادة في قيمة الـ pH. ويعزى ظهور أعراض النقص للزنك على النباتات النامية في الترب الجيرية إلى هذا السبب بصورة أساسية. وعلى ذلك فأي عامل يؤثر على خفض أو رفع الـ pH من شأنه أن يؤثر على زيادة أو انخفاض درجة تيسر الزنك للنبات. فمثلاً إضافة الجير للترب الحامضية يرفع رقم الـ pH، وبالتالي يقلل من تيسر هذا العنصر، بينما الاستخدام المستمر للأسمدة ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي مثل كبريتات الأمونيوم يؤدي إلى خفض الـ pH، وبالتالي زيادة تيسر الزنك. وفي بعض الترب الحامضية يزداد التيسر لدرجة وصول التركيز لدرجة السمية. وعموماً وجد أن أفضل رقم pH للتربة يكون عنده الزنك ميسراً هو في مدى من 5.5 - 6.5.

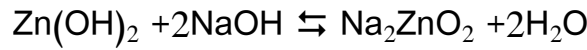
إن انخفاض إتاحة عنصر الزنك تبعاً لـ pH التربة تتم بطريقتين:

- أ- تثبيت بعض الزنك المدمص بأشكال غير قابلة للتبادل وتحصل هذه الحالة بشكل رئيسي عند توفر أكاسيد الحديد والمنغنيز وعند وجود عنصر الزنك بتركيز منخفض نسبياً.
- ب- ترسيب الزنك: وتبلغ هذه العملية ذروتها عند pH=9.5 وذلك عند وجود الزنك بتركيز كبير في التربة ويتم ذلك حسب التفاعل التالي:



إلى انحلال الراسب السابق كما في الوسط ويؤدي إلى ارتفاع pH 9.5

التفاعل التالي:



2- المادة العضوية:

مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتي تعمل عمل المركبات المخيلية مما تزيد من تيسر الزنك. وأوضحت كثير من الدراسات بأن الترب الفقيرة بالمادة العضوية تعاني من نقص في الزنك الميسر، وتزداد الكمية الميسرة في نفس التربة مع إضافة المادة العضوية. وقد يختلف تأثير المادة العضوية على تيسر الزنك وذلك حسب نوع المركب الناتج من التحلل والمرتبط مع الزنك. فالأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض مثل حمض الفولفيك Fulvic acids تكون معقدات زنك ذائبة في الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع مثل اللجنين والمركبات التي تحوي أحماض الدباليك Humic acids تكون معقدات غير ذائبة في الماء. ويلاحظ أن إضافة المادة العضوية للترب القاعدية والجيرية يزيد من تيسر الزنك بها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق خفض رقم الـ pH التربة.

3- كربونات الكالسيوم:

كثير من الأبحاث أوضحت بأن هناك تأثيراً سلبياً لكربونات الكالسيوم على تيسر الزنك في التربة الزراعية. وهناك العديد من التفسيرات التي توضح هذا التأثير ومنها: أولاً: تأثير غير مباشر

وذلك لتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم pH التربة تأثيراً مباشراً من خلال حدوث ادمصاص للزنك على أسطح كربونات الكالسيوم، وبالتالي تقل الكمية الميسرة. وتجدر الإشارة إلى أن الترب الحاوية على دولوميت يمكن أن يتبادل الزنك Zn^{+2} مع المغنيزيوم في الدولوميت $CaCO_3.MgCO_3$ وتتحول الشاردة Zn^{+2} إلى مركب ضعيف الانحلال في الماء $.CaCO_3.ZnCO_3$.

4- معادن الطين والاكاسيد:

يستطيع أيون الزنك أن يتبادل مع أيون المغنيزيوم في بناء الشبكة البلورية لمعادن الطين فيصبح بذلك غير متاح للنبات. كما أنه من الأيونات النشطة في التربة بسبب صغر كتلته وتكافؤه الثنائي لذلك فهو يدمص بقوة على غرويات التربة بشكل غير قابل للتبادل. ولقد وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على ادمصاص الزنك على أسطحها، بل أكثر من ذلك فإنه قد يحدث تثبيت للزنك ويصبح في صورة غير صالحة للنبات، فمعادن البروسيت Brucite والفيرميكيولايت Vermiculite، وأيضاً الطين المشبع بالماغنسيوم Mg- Saturated Clay تكون قدرتها على تثبيت الزنك مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت Muscovite، البينتونايت Bentonite، الكاولينيت Kaolinite، البيروفيليت Pyrophyllite البيوتيت Biotite فإنها ذات قدرة محدودة على التثبيت. كما تلعب الأكاسيد الحرة في الترب الحامضية دوراً أساسياً في تقليل درجة تيسر الزنك في هذه الترب. ويكون هذا العنصر شاردة الزنكات $HZnO_2^-$ التي تحمل شحنة سالبة تستطيع بها أن تتحد مع الشوارد الأخرى وتكون مركبات ضعيفة الذوبان.

إن الآلية الرئيسة لتثبيت الزنك في الترب الحامضية هو التفاعل الحاصل بين الزنك و أكاسيد الحديد أو الألمنيوم من خلال تشكل الرابطة التساندية (التساهمية) مع مجموعات الهيدروكسي، في حين أن الزنك يمتص من قبل كربونات الكالسيوم، ويترسب على شكل هيدروكسيدات أو هيدروكسي زنك كربوناتية، وهذه العملية تعتبر الآلية الرئيسية التي تتحكم في ذوبانية الزنك في الترب الكلسية.

5- تأثير مستوى الفوسفات في التربة:

يلاحظ عادة ظاهرة تضاد بين الفوسفور والزنك في مجال امتصاص النبات للعناصر، وهي تنسب إلى سمية الفوسفور أكثر من كونها نقصاً في كمية الزنك. وقد افترضت الدراسات الأولية أن ترسيب فوسفات الزنك في التربة يتم بشكل مشابه لعملية ترسيبها في المحاليل المائية. إلا أنه رفضت هذه الفرضية من خلال تقييم الاتزان الديناميكي الحراري. كما أشار قسم من الباحثين إلى أن الفوسفات لا تؤثر على سعة ادمصاص الزنك، إلا أنها تؤثر نوعاً ما في كثافة الزنك.

تشير بعض الأبحاث إلى تأثير الأيونات المرافقة $(Ca^{2+}, K^+, Na^+, NH_4^+, Cl^-, NO_3^-)$ على ادمصاص الزنك، حيث أن كلا من أيونات (NH_4^+, K^+, Ca^{2+}) تقلل من

ادمصاص الزنك مقارنة بالصوديوم، وأن ادمصاص الزنك يقل بوجود أيونات $H_2PO_4^-$ مقارنة بأيونات NO_3^- و Cl^- .

إن تأثير الأيونات على ادمصاص الزنك يختلف في الترب الحامضية عنه في الترب الكلسية، ففي الترب الحامضية يلاحظ ازدياد ادمصاص الزنك بوجود أيونات $H_2PO_4^-$ مقارنة بأيونات الكلور والنترات، حيث أن الأوكسجين في PO_4^{3-} يمكنه أن يشكل مواقع ادمصاص داخلية مع أكاسيد الحديد والألمنيوم وبالتالي تزيد من الشحنات السالبة للسطح. بينما في الترب الكلسية يلاحظ انخفاض ادمصاص الزنك بوجود أيونات $H_2PO_4^-$ ، حيث أن هذه الأيونات تخفض الرقم الهيدروجيني للتربة، كما أنها تذيب كميات محددة من كربونات الكالسيوم في الترب الكلسية، مما يقلل من سطوح ادمصاص الزنك، وتحرر في الوقت نفسه كميات إضافية من كاتيون الكالسيوم، والذي بدوره يدخل في تنافس مع الزنك على مواقع ادمصاص الموجودة في الطين السيليكاتي، إضافة إلى ذلك فإن زيادة أيونات الهيدروجين تنافس الزنك على مواقع الشحنة السالبة في سطوح الطين. هذا وتجدر الإشارة إلى أنه في الترب الكلسية الحاوية على كميات كبيرة من أكاسيد الحديد غير المتبلورة، يكون سلوك ادمصاص الزنك مختلفاً بوجود أيونات الفوسفات، حيث يلاحظ ازدياد نسبي في ادمصاص الزنك، مما يدل على أن تفاعل الفوسفور مع أكاسيد الحديد يؤثر على ادمصاص الزنك في الترب الكلسية. وينتج عن إضافة أيونات $H_2PO_4^-$ إلى التربة حوالي 10-25% زنك مستقر مقارنة بأيونات الكلور والنترات استناداً إلى أشكال الزنك في الترب الكلسية، وينسب تشكل الأشكال المستقرة إلى عملية التثبيت داخل المسام الصغيرة لجزئيات المجمعات أو في بنية معادن الطين، وإلى القوة ادمصاصية العالية للأكاسيد، إضافة إلى الترسيب على هيئة معادن غير ذوابة. كل هذه الآليات يمكنها أن تقلل من ذوبانية الزنك. وجد أن التركيز العالي من الفوسفور في الترب الكلسية يقلل من سعة ادمصاص الزنك. ووجد وأن إضافة الفوسفور تؤدي إلى ازدياد ادمصاص الزنك في الترب الحامضية، وبما أن الزنك يدمص فقط على مواقع ادمصاص السريعة في غياب الفوسفور، مما يدل على أن ازدياد ادمصاص الزنك بوجود الفوسفور تعزى لمواقع ادمصاص البطيئة، حيث أن أيونات الزنك الحرة تعمل كجسور ارتباط بين الفوسفور والمادة العضوية، وأن تحرر الزنك بوجود الفوسفور أو عدمه أعلى من تحرر النحاس، وقد خلصوا إلى أن كمية الزنك المتحررة بعد ادمصاص تكون أعلى في غياب الفوسفور منها بوجوده، مما يشير إلى أن ارتباط الزنك بسطوح ادمصاص يكون أقوى بوجود الفوسفور منه بغيابه. إن الإضافات الفوسفاتية إلى التربة لها تأثير بعيد المدى على مستوى الزنك المتبادل والمرتبط بالمادة العضوية، حيث يتناقص الزنك في التربة تدريجياً، بسبب انتقاله إلى جزئيات أكاسيد الحديد غير المتبلورة بعد الإضافات الفوسفاتية. وجود تراكيز مرتفعة للفوسفور في محلول التربة تترسب فوسفات الزنك، مما يساهم في انخفاض تركيز الزنك، كما لم

يلاحظوا ارتباط زنك محلول التربة بتركيز الزنك في الأسمدة أو معدل الإضافة. ولاحظ باستخدام منحنيات الامتصاص الحراري المتساوي، أن الفوسفور يؤدي إلى زيادة امتصاص الزنك في الترب الحامضية والمتعادلة، كما لاحظوا أن حوالي 50-60% من الزنك المدمص يتحرر في الترب الحامضية، بينما يتحرر حوالي 10-15% في الترب المتعادلة بالعلاقة مع الزمن. من الممكن لأيون الكربونات أن يتفاعل مع الزنك وتترسب كربونات الزنك ($ZnCO_3$) في الترب الكلسية عند تركيز منخفض للفوسفور. وأنه من غير المحتمل أن تتواجد كربونات الزنك بشكل مركب مستقر حتى في الترب الكلسية. ويقترح ترسب الزنك على هيئة كربونات الزنك الهيدروكسيلية $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ في الترب الكلسية. بينما اقترحت دراسات أخرى إمكانية ترسب $ZnFe_2O_4$ (Franklinite) في كل من الترب الكلسية والحامضية. كما يمكن تفسير تشكل الزنك المستقر في الترب الكلسية بوجود أنيونات $H_2PO_4^-$ ، إلى ترسب الزنك على هيئة $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ (Hopeite)، إلا أنه من غير المحتمل تشكل Hopeite، وذلك لأن أيونات $H_2PO_4^-$ تثبت على هيئة فوسفات حديد (Strengite) عند رقم هيدروجيني منخفض، بينما تثبت على هيئة $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ أو مركبات أخرى لفوسفات الكالسيوم أو الكربونات عند رقم هيدروجيني مرتفع.

يؤدي ارتفاع تركيز الفوسفور في التربة إلى ظهور أعراض نقص الزنك على النباتات ويمكن أن يعزى ذلك إلى عامل أو أكثر من العوامل التالية:

أ- معامل التمديد Dilution Factor يؤدي ارتفاع تركيز الفوسفور في محلول التربة إلى ازدياد الامتصاص الذي يؤدي إلى زيادة حجم المسطح الورقي، وبالتالي فإن الزنك الممتص يكون قليلاً نسبة إلى المجموع الورقي.

ب- وجود الفوسفور بكمية كبيرة يمكن أن تحفز امتصاص الزنك على أكاسيد الحديد والألمنيوم

ت- ظاهرة التضاد بين الزنك والفوسفور.

ث- ترسيب الزنك على شكل فوسفات زنك في الأراضي القلوية.

ج- المنافسة للكالسيوم المرافق للأسمدة الفوسفاتية مع الزنك.

ح- ترسيب الفوسفور للزنك ضمن النبات نفسه وخاصة الجذور

6- تأثير الأسمدة الأزوتية: أشارت نتائج كثير من الباحثين بأن إضافة الأسمدة النتروجينية تؤدي إلى نقص الزنك الميسر للنبات، وبالتالي تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات. وهناك عدة تفسيرات منها: أن الزنك يتحد مع النترات ويتكون نترات الزنك وهو مركب عالٍ في درجة ذوبانه في الماء، وبالتالي يتحرك مع مياه الصرف ويحدث غسل للزنك من منطقة نمو الجذور، ومن جهة أخرى فإن نترات الزنك المتكونة تكون مصدر لإمداد النبات بالزنك الميسر.

أما التفسير الآخر هو قابلية النبات لتثبيت الزنك في المجموع الجذري وذلك عن طريق تكوين معقدات مع البروتينات غير المتحركة *Immobilized Zn-protein complexes*، وبالتالي تثقيد حركة الزنك داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة. وتجدر الإشارة أن الأسمدة النتروجينية ذات التأثير الحامضي تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض رقم الـ pH والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير. كما أن تواجد الأزوت بكميات مناسبة في التربة يؤدي إلى زيادة حجم النبات وبالتالي إلى توزيع كمية الزنك المحدودة التي يمتصها النبات على حجم نباتي أكبر مما يؤدي إلى تخفيف تركيز الزنك وظهور أعراض النقص. وسبب هذه الظاهرة هو ما يسمى تأثير التخفيف *Dilution effect*.

7- الزنك والنحاس، الزنك والحديد: حيث يؤدي ارتفاع تركيز النحاس أو الحديد إلى انخفاض امتصاص النبات لعنصر الزنك.

8- القوة الأيونية: استناداً إلى الرقم الهيدروجيني والقوة الأيونية يمكن التمييز بين تبادل الكاتيون (*Outer Sphere Adsorption*) وادمصاص حواف الطبقة (*Inner Sphere Adsorption*)، فعند قوة أيونية عالية، تنافس الأيونات المنحلة كهربائياً (خاصة الصوديوم) الأيونات القابلة للادمصاص في المواقع المستوية (*Planar*)، ويصبح الادمصاص أكثر اعتماداً على الرقم الهيدروجيني، بينما يكون الادمصاص عند قوة أيونية منخفضة، أقل اعتماداً على الرقم الهيدروجيني، ويعتمد الادمصاص بالدرجة الأولى على المواقع الخارجية إذا كان الرقم الهيدروجيني منخفضاً، فقد وجد أن الزنك يتشكل على السطوح الداخلية لحواف الهيكوريت (*Hectorite*) عند قوة أيونية عالية، بينما يتشكل على الأسطح الداخلية والخارجية عند قوة أيونية منخفضة ورقم هيدروجيني $pH=6.5$. وبوجود معادن الأكاسيد تصبح آلية الادمصاص الداخلية هي السائدة، إن زيادة القوة الأيونية تقلل من درجة احتجاز الزنك في الترب الحامضية، لكنها لا تؤثر على ادمصاص الزنك في الترب الكلسية، فعند نفس القوة الأيونية يثبت الكالسيوم ادمصاص الزنك بشكل أكبر مقارنة بالمغنيزيوم والبوتاسيوم وبالأخص في الترب الرملية. وتزيد السلفات من ادمصاص الزنك في الترب الحامضية، إلا أن تأثيرها في الترب الكلسية يكون مهماً مقارنة بتأثير النترات والكلوريد، كما أنه استناداً إلى الكاتيون المرافق والسلفات، تحدث تأثيرات مختلفة على تثبيت الزنك وتعزى زيادة ادمصاص الزنك بوجود الصوديوم مقارنة بالبوتاسيوم والأمونيوم، إلى قلة التنافس بين الزنك والصوديوم على مواقع الادمصاص مقارنة بالبوتاسيوم والأمونيوم، حيث أن الصوديوم يملك غشاء مائياً أيونياً سميكاً ويشكل فقط مجاميع في المجال الخارجي (*Outer-Sphere*) لسطوح معادن الطين، بينما البوتاسيوم له القدرة على تشكيل مجاميع في المجال الداخلي (*Inner-Sphere*) لسطوح المعادن، ويعتقد أن سلوك الأمونيوم يشابه سلوك البوتاسيوم في تفاعلات التبادل الكاتيوني في

التربة، بسبب تماثل حجمهما الأيوني وشحنتهما. وقد وجد أنه في الترب الرملية، يتحرر النحاس طردياً مع الصوديوم وعكسياً مع الكالسيوم، بينما يتناسب تحرر الزنك طردياً مع الكالسيوم واليوتاسيوم والصوديوم.

9- عمر التربة بالماء: تقل صلاحية الزنك للنبات في الترب المغمورة بالماء مثل أراضي الأرز بعكس الحال مع عنصري الحديد والمنغنيز، يعتقد أن نقص صلاحية الزنك في الترب المغمورة قد يرجع إلى ترسبه على صورة كبريتور زنك أو على صورة معدن الفرانكلينيت $ZnFe_2O_4$.

6-4-2- الزنك في النبات Zinc in Plant

يتراوح تركيز الزنك في النبات من 15-80 ppm ويمتص النبات عنصر الزنك على شكل Zn^{+2} في الظروف الحمضية والمتعادلة، وعلى شكل $Zn(OH)^+$ في الظروف القلوية. تمتص النباتات الزنك من التربة بشكل معدني وكذلك الأشكال الذائبة من الزنك العضوي، كما تستطيع الأجزاء الخضرية امتصاص كلا النوعين. ويعد عنصر الزنك من العناصر قليلة الحركة حيث تبدأ أعراض النقص بالظهور على الأوراق الفتية.

6-4-2-1- العوامل المؤثر على مستوى الزنك في النبات أهمها:

- الجزء المأخوذ كعينة: الأجزاء الحديثة النمو تحتوى على زنك أكثر من الأجزاء المسنة.
- عمر النبات: حيث يقل تركيز الزنك بزيادة النبات في العمر.
- التداخل بين العناصر Nutrient interactions: عادة ما يقل تركيز الزنك بزيادة الفوسفور الميسر بالأرض؛ وزيادة كلٍ من الحديد والمنجنيز أيضاً.
- يمكن القول بأن تركيز الزنك في النبات يعكس مدى تيسر الزنك في التربة النامي بها هذا النبات والظروف البيئية المؤثرة عليه. وعلى ذلك فاختبارات الأنسجة النباتية (تحليل العينات النباتية) تكون معبرة عن معرفة مدى حاجة النبات إلى التسميد بالزنك من عدمه عندما تؤخذ العينات النباتية من المكان وفي الوقت المناسبين .

6-4-3- التسميد بالزنك

1- التسميد الأرضي

أ- الترب الحامضية: إن استخدام $ZnSO_4$ يمكن أن يؤدي إلى انغسالها من مقطع التربة لأن المركب ذواب وخاصة في الترب الحامضية، لذلك يفضل استخدام الجير عند استخدام هذا السماد أو إضافة الشيلات.

ب- الترب الكلسية: يعد استخدام كبريتات الزنك من المركبات المفضل استخدامها، بسبب تأثيرها الحمضي ومن المفيد استخدام أسمدة أخرى ذات أثر حمضي كسلفات النشادر.

2- التسميد الورقي: يتم بمعدل 3غ/ل باستخدام سلفات الزنك أو بمعدل 0.5 غ/ل من مركبات الشيلات، برشها على الأفرع قبل تفتح البراعم.

6-4-3-1- أنواع أسمدة الزنك:

هناك العديد من المركبات المحتوية على الزنك والتي تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية في الأراضي التي تعاني من نقص هذا العنصر. ويجب الإشارة إلى أن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هاماً في اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففي الأراضي الرملية وأيضاً القاعدية يفضل إضافة أسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتجنب فقد كمية كبيرة منه في الأرض الرملية عن طريق الغسيل، خاصةً عند استخدام كبريتات الزنك والمعروف بدرجة ذوبانه المرتفعة في الماء، بينما في الأرض القاعدية تكون الكمية المثبتة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخلبية في الأراضي القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للأراضي المنزرعة بالأرز يفضل استخدام سماد أكسيد الزنك ZnO على كبريتات الزنك ZnSO₄ بالرغم من أن درجة ذوبانه أقل وذلك لحدوث اختزال للكبريتات وينتج غاز كبريتيد الأيدروجين H₂S السام. ومن أهم أسمدة الزنك:

1- كبريتات الزنك ZnSO₄H₂O تحتوي 35% زنك.

2- كبريتات الزنك ZnSO₄7H₂ تحتوي 23% زنك.

3- كبريتات الزنك ZnSO₄4Zn(OH)₂ تحتوي 55% زنك.

4- أكسيد الزنك ZnO يحوي 78% زنك.

5- كربونات الزنك ZnCO₃ و فوسفات ثلاثية الزنك Zn₃(PO₄)₂.

6- مركبات الزنك المخلبية Zn-EDTA

ومما سبق يتبين أن الزنك يثبت بسهولة في التربة لذا يفضل إضافة مركباته رشاً على الأوراق. ويستعمل في عملية الرش كبريتات الزنك ZnSO₄ في آخر الشتاء يتبعه رشاً أخرى خلال فصل النمو. تستعمل أيضاً طريقة إضافة كبريتات الزنك مباشرة إلى التربة في بساتين الأشجار المثمرة بمعدل 0.5-3 كغ لكل شجرة. إضافة كبريتات الزنك التي هي من أهم أملاح هذا العنصر استعمالاً في علاج النقص.

الفصل -6- الباب-5- النحاس Copper

6-5-1- مقدمة: يعد عنصر النحاس أحد العناصر الصغرى التي تتميز بأهمية كبيرة ليس فقط لنمو وتطور النباتات، وإنما لكونه من العناصر الهامة والضرورية في حياة الحيوان أيضاً ويستخدم النحاس في الزراعة كسماد لتزويد النبات بهذا العنصر، كما ويستخدم كأحد مكونات بعض المبيدات الفطرية المستخدمة في مكافحة.

8-5-2- النحاس في التربة Copper in Soil

تحتوي القشرة الأرضية على عنصر النحاس بتركيز يقدر بحوالي 0.01% ويتراوح التركيز الكلي للنحاس في التربة بين 4-100 مع/كغ تربة. وتؤثر الصخور الأم التي نشأت عنها التربة تأثيراً كبيراً في محتوى التربة من عنصر النحاس. فالترب الناتجة عن صخور اندفاعية كالبازلت مثلاً تحتوي كميات كبيرة من النحاس، بينما تحوي الترب الرملية والتورب على كميات منخفضة جداً وأكثر الترب احتواءً على عنصر النحاس كتركيز كلي هي الترب العضوية التي نشأت في ظروف مستنقعية. وبشكل عام يزداد تراكم النحاس في الطبقات السطحية مقارنة مع الطبقات تحت السطحية.

6-5-2-1- العوامل المؤثرة في إتاحة عنصر النحاس في التربة

لا يشكل النحاس القابل للإفادة أكثر من 10% من التركيز الكلي للنحاس في التربة، وهذا يتعلق بعوامل عديدة منها:

- **الـ pH:** يعد مجال pH التربة بين 5-6 من أنسب درجات حموضة التربة لإتاحة عنصر النحاس للامتصاص من قبل النبات، ففي الأوساط الحامضية الشديدة (pH أقل 4.5) ينخفض تركيز النحاس المتاح للامتصاص من قبل النبات، ويمكن أن يكون ذلك عن طريق تثبيته في الشبكة البلورية للمعادن السيليكاتية أو ترسيبه (عند ارتفاع تركيز بعض الأيونات في التربة كشوارد الفوسفات)، بشكل مركبات ضعيفة الانحلال كفسفات النحاس. أما في الأوساط القلوية فنقل إتاحة عنصر النحاس في التربة نتيجة لتشكله مركبات ضعيفة الانحلال في الماء وكذلك زيادة ادمصاصه.

- **المادة العضوية:** يرتبط عنصر النحاس بالمادة العضوية، وهو من أكثر العناصر الصغرى ارتباطاً بها، وهذا يتعلق بطبيعة وشكل هذ المركبات. وبشكل عام تلاحظ أعراض نقص عنصر النحاس في الترب العضوية رغم ارتفاع محتواها الكلي من عنصر النحاس، حيث لوحظت أعراض نقص هذا العنصر في ترب عضوية كان محتواها الكلي عالياً جداً من النحاس (حوالي 1000 مع/كغ تربة). إلا أن الشكل القابل للامتصاص من قبل النبات كان منخفضاً جداً.

• **قوام التربة:** تعد التربة الرملية من أفقر أنواع التربة بعنصر النحاس، ويزداد محتوى التربة من هذا العنصر بزيادة نعومة قوامها، وبالتالي تكون التربة الطينية أكثر غنى بعنصر النحاس من التربة الرملية.

• **كربونات الكالسيوم:** تؤثر كربونات الكالسيوم على إتاحة عنصر النحاس في التربة بشكل مباشر وغير مباشر، ويتجلى تأثيرها غير المباشر في قدرتها على رفع درجة تفاعل التربة، وبالتالي خفض تركيز الأشكال المتاحة للامتصاص من قبل النبات. أما تأثيرها المباشر فيتجلى بادمصاصها لعنصر النحاس وتشكيل مركبات ضعيفة الانحلال في الماء تكون على شكل كربونات وهيدروكسيولات ويلاحظ أيضاً أن إضافة كربونات الكالسيوم إلى التربة الحامضية بهدف استصلاحها، يخفض أنياً تركيز الأشكال المتاحة للنحاس في التربة.

6-5-3 - النحاس في النبات Copper in Plant

6-5-3-1 - تركيز عنصر النحاس في النبات:

يتراوح تركيز عنصر النحاس في النبات من 2-25 مع/كغ مادة جافة، وتختلف النباتات عن بعضها في محتواها من عنصر النحاس وعادة فإن تراكيز بين 6-8 مع/كغ مادة جافة. مادة جافة في أنسجة الأوراق تكون كافية لمعظم المحاصيل.

إن أكبر تركيز لعنصر النحاس يمكن ملاحظته عند بعض الخضروات وخاصة السبانخ والخس وبعض أنواع العائلة البقولية كالقصة، بينما يقل محتوى محاصيل الحبوب من عنصر النحاس. ويعد نبات الشوفان من أكثر النجيليات احتواءً على النحاس.

يتراكم النحاس بشكل عام في الجذور أكثر من الأجزاء الأخرى للنبات.

6-5-3-2 - امتصاص النحاس وانتقاله ضمن النبات:

تمتص النباتات عنصر النحاس عن طريق المجموع الجذري على شكل Cu^{+2} ويزداد الامتصاص بزيادة تركيز في التربة من جهة والمتطلبات الفيزيولوجية للنبات من جهة أخرى وتساعد مركبات **Phytosiderophores** في تزويد النبات بعنصر النحاس. ويمكن للنبات أن يمتص النحاس من المجموع الخضري سواء بشكل معدني أو عضوي في أثناء عملية الرش بهذا العنصر.

إن احتياجات النباتات من عنصر النحاس ليست كبيرة، حيث يمتص النبات حوالي 30-120 غ نحاس/هـ. وهذا يتعلق بمتطلبات كل محصول والنوع والسن. يتواجد معظم النحاس في النباتات (حوالي 70 % منه (في الكلوروبلاست) حيث يقوم النحاس بدور منظم للكلوروفيل. ويتأثر النحاس ببعض الشوارد، حيث يلاحظ أن زيادة تركيز الشاردة NH_4^+ في النبات يقلل من

فعالية النحاس، كما أن زيادة تركيز الفوسفور والزنك في محلول التربة يقلل من امتصاص النبات لعنصر النحاس أيضاً.

6-5-3-3- النحاس وصحة الإنسان والحيوان:

يعد النحاس عنصراً ضرورياً للإنسان والحيوان كما هو الحال بالنسبة للنبات، وبغض النظر عن ظهور أعراض نقص النحاس على النباتات (عند انخفاض تركيزه) أو عدم ظهورها (في التراكيز المناسبة) فإنه من الضروري احتواء العلائق الحيوانية على تركيز لعنصر النحاس يتراوح بين 8-14 مع/كغ مادة جافة، حيث أن انخفاض النحاس عن التركيز السابق يسبب فقر دم وانخفاض الشهية عند الحيوانات بسبب دوره الهام كأحد مكونات أنزيمات الأكسدة، ودوره أيضاً في تصنيع الهيموغلوبين، ووظائفه الحيوية الكثيرة. لذلك يمكن تصحيح النقص في العلائق الحيوانية عن طريق إضافة أملاح النحاس إليها في حال انخفاضه عن القيمة الحدية له. ومن ناحية أخرى فإن ارتفاع تركيز النحاس في الأغذية والنباتات بشكل كبير يؤثر سلباً على صحة الإنسان والحيوان. ويقدر الحد المسموح به من النحاس بحوالي 30 مع/كغ مادة جافة في النباتات المعدة لتغذية الإنسان وأكثر من ذلك (50 مع/كغ مادة جافة) في علائق الحيوانات.

6-5-4- التسميد بالنحاس:

يتم اللجوء إلى التسميد بعنصر النحاس عند انخفاض تركيزه في التربة عن 0.2 مع/كغ تربة في مستخلص DTPA إذا لم تتوفر إمكانية تقديره في النبات، ولا يتم التسميد بعنصر النحاس في الحالات التي تستخدم فيها مبيدات فطرية محتوية على النحاس لأنها تزود النبات بحاجته من هذا العنصر. ويمكن استخدام عدة أساليب لإضافة الأسمدة النحاسية مثل:

1- التسميد الأرضي: يتم باستخدام مركبات النحاس المعدنية مثل سلفات النحاس بمعدل 4-6 كغ/هـ

2- التسميد الورقي: تعد هذه الطريقة فعالة وسريعة جداً لتصحيح أعراض نقص النحاس التي تظهر على النبات، وتستخدم مركبات النحاس المعدنية والعضوية لهذا الغرض، أما المركبات العضوية للنحاس مثل شيلات النحاس فتستخدم بمعدل 0.3-0.5 غ/ل. ويتم استخدام سلفات النحاس المائية بتركيز حتى 3 غ/ل كحد أقصى، و بمعدل 2 غ/ل من سلفات النحاس، ومن الضروري مزج الكمية بكمية مكافئة من أوكسيد الكالسيوم تجنباً لاحتراق الأوراق وكذلك إجراء عملية الري على فترات متباعدة.

3- تعفير ونقع البذور: إن تعفير البذور بمعدل 0.3 غ لكل كغ من البذور، أو نقع البذور بمحلول 1% من كبريتات النحاس قبل الزراعة، يحسن من إتاحة عنصر النحاس في التربة، ويمكن أن يكون بديلاً عن الطرائق الأخرى للتسميد بعنصر النحاس.

6-5-5- أسمدة النحاس:

يتم علاج نقص النحاس بإضافة أحد أملاح النحاس أو مركباته المعدنية أو العضوية إلى التربة أو رشاً على المجموع الخضري ومن أهم هذه المركبات:

- كبريتات النحاس $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $CuSO_4 \cdot H_2O$
- أكسيد النحاس CuO
- فوسفات النحاس النشادرية $CuNH_4PO_4 \cdot 2H_2O$
- خلات النحاس $(CH_3COO)_2Cu$
- المركبات المخلبية $NaH-Cu-EDTA$

يفضل اضافة المركبات النحاسية إلى التربة بدلاً من رشها على النباتات وإن أهم مركب نحاسي يستعمل لهذا الغرض $CuSO_4$ وتختلف الكمية المضافة منه باختلاف نوع التربة وشدة النقص. ومن الملاحظ أن إضافة المركبات النحاسية إلى التربة تترك أثراً متبقياً صالحاً يستمر عدة سنوات لأنه يمتز على غرويات التربة ولا يتعرض للنزوح إلى خارج منطقة انتشار الجذور. و أهم أسمدة النحاس هي:

اسم السماد	التركيب الكيميائي	النحاس %
سلفات النحاس	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	25
سلفات النحاس	$CuSO_4 \cdot H_2O$	35
كلوريد النحاس	$CuCl_2 \cdot nH_2O$	حتى 41
سلفات النحاس القاعدية	$CuSO_4 \cdot Cu(OH)_2$	53
شيلات نحاس	$Na_2-Cu-EDTA$	12
شيلات نحاس	$NaH-Cu-EDTA$	9

الفصل -6- الباب -6- البورون Boron

6-6-1- مقدمة: تم اكتشاف البورون كعنصر كيميائي عام 1808، وتم إثبات أساسية هذا العنصر لنمو وتطور النبات في عام 1923 م حيث ظهرت أعراض نقص البورون، والتي تمت ملاحظتها على العديد من المحاصيل كالشوندر السكري والتفاح وغيرها، حيث أدت إلى انخفاض المحصول كمأ ونوعاً وينتمي البورون إلى العناصر الصغرى الأيونية، ويختلف محتوى التربة من البورون اختلافاً كبيراً حسب نوع الصخرة الأم الناتجة عنها. وبشكل عام تحتوي الترب الناشئة عن صخور اندفاعية تراكيز أقل من عنصر البورون مقارنة م الصخور الرسوبية. تختلف النباتات اختلافاً واضحاً لمتطلباتها لعنصر البورون وحساسيتها لارتفاع تركيزه في التربة، ويتراوح تركيزه في النبات على مجال واسع (أقل من 1 وحتى 30 مغ/كغ مادة جافة).

6-6-2- البورون في التربة Boron in Soils

تحتوي التربة ذات المنشأ الرسوبي (صخر الشيل) على تركيز من البورون 4-10 مع/كغ تربة. وتعد الترب الفتية الناشئة على صخر الشيل من أغنى الترب بعنصر البورون. تتميز مياه البحار والمحيطات باحتوائها على تراكيز محسوسة من عنصر البورون، لذلك يرتفع تركيز هذا العنصر في الترب المجاورة لها حيث يصل إليها عنصر البورون عن طريق الرياح. تؤدي عمليات التجوية للصخور والفلزات المحتوية على عنصر البورون إلى إتاحة هذا العنصر والذي يمتص من قبل النبات، أو يغسل من التربة، أو يمكن أن يتم تثبيته بأشكال غير متاحة للامتصاص من قبل النبات على مكونات التربة المعدنية والعضوية.

6-6-2-1- العوامل المؤثرة في تثبيت عنصر البورون في التربة:

إن تركيز البورون القابل لإفادة النبات لا يتعدى 5% من التركيز الكلي للبورون، ومن الطرائق المستخدمة لتحديد الشكل القابل للإفادة من قبل النبات هي طريقة تسخين معلق التربة مع الماء لمدة خمس دقائق ويكون التركيز 1 مع/كغ تربة تركيزاً مناسباً لمعظم المحاصيل.

- **رقم pH التربة:** يؤدي ارتفاع pH التربة إلى انخفاض الأشكال المتاحة للامتصاص من قبل النبات حتى 8.5-9 وهذا الارتفاع يزيد ادمصاص البورون على أكاسيد الحديد والألمنيوم وكذلك معادن الطين. والمكونات العضوية في التربة.
- **أكاسيد الحديد والألمنيوم ومعادن الطين:** يزداد تثبيت عنصر البورون في التربة التي يرتفع فيها تركيز هذه الأكاسيد والمعادن.
- **المادة العضوية:** هناك ارتباط موجب بين محتوى الأرض من المادة العضوية وبين البورون الميسر للنبات، حيث يرتبط البورون بالمادة العضوية عن طريق المجاميع الفعالة مثل المجاميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة في درجة ذوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل هذه المواد بفعل الكائنات الأرضية الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون في الأراضي الحامضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.
- **قوام التربة:** بصفة عامة تقل كمية البورون الميسر للنبات في الأراضي خفيفة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة مع الأراضي ناعمة القوام. و نتيجة لقلة السعة التبادلية الأيونية للأراضي الرملية وبالتالي قلة أسطح ادمصاص للبورون فإنه يحدث فقد لهذا العنصر عن طريق الغسيل وخاصة في الأراضي الرطبة. وفي الأراضي الطينية يلعب نوع الطين السائد دور مهم في ادمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذو قدرة مرتفعة على ادمصاص

- البورون يليه معدن المونتييوريللونيت وأقل هذه المعادن هو معدن الكاؤولينيت. وعموماً يعتبر القوام ذا تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة مع تأثير المادة العضوية أو الـ pH.
- **رطوبة التربة:** مع جفاف التربة تزداد الكمية المثبتة من البورون، وعلى ذلك فإن حالة الجفاف المؤقت للأرض قد تعيق حصول جذور النبات على البورون المدمص بكثرة على أسطح الغرويات الأرضية، وبالتالي تظهر حالة أعراض النقص على النبات. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل حركة البورون الذائب إلى سطح الجذور وبالتالي يزداد تيسره وانتشاره.
 - **يشكل البورون العضوي** نسبة لا بأس بها من البورون الكلي في التربة، وتؤدي مواسم الجفاف أو عدم الري في الترب التي يكون فيها تركيز البورون عند حده الأدنى، إلى انخفاض تركيز الأشكال المتاحة من البورون، وربما يرجع السبب إلى انخفاض النشاط الحيوي في التربة الذي ينجم عنه بطء تزويد محلول التربة بعنصر البورون.
 - **تأثير العناصر الأخرى:** وجد أن هناك تضاد Antagonises بين الكالسيوم والبورون، وعلى ذلك تقل درجة تيسر البورون في الأراضي القاعدية، ويمكن تقليل السمية بالنسبة للبورون بإضافة الكالسيوم للأراضي الغنية بالبورون الذائب.
 - **تشبع معقد ادمصاص التربة بالصوديوم:** تؤدي زيادة الصوديوم في معقد ادمصاص التربة إلى تفرقة حبيباتها الأمر الذي يزيد من سطوح التلامس بين المجموعات الفعالة لسطوح ادمصاص البورون في التربة وزيادة ادمصاصه.

6-6-3- البورون في النبات Boron in Plant

يتراوح تركيز البورون من 0.1-30 مع/كغ مادة جافة، وتختلف المحاصيل اختلافاً كبيراً في متطلباتها من عنصر البورون، ففي حين ينخفض محتوى النباتات النجيلية من هذا العنصر، نجد أن محاصيل العائلة البقولية والصليبية والسرمقية تحتوي على تراكيز مرتفعة من عنصر البورون، وعموماً يكون تركيز البورون في المجموع الخضري أعلى نسبياً من الحبوب والبذور والدرنات والجذور، ويعد الشوندر السكري والفصّة والقطن من النباتات ذات المتطلبات العالية من عنصر البورون.

6-6-3-1- امتصاص البورون من قبل النبات:

يعد عنصر البورون عنصراً قليلاً الحركة في النبات، لذلك ينخفض تركيزه في الأوراق الحديثة مقارنة مع الأوراق المسنة. تمتص النباتات عنصر البورون عن طريق جذورها على شكل $B(OH)_4^-$ ، H_3BO_3 ويتم هذا الامتصاص وفق آلية الانتقال السلبي في التراكيز المرتفعة للبورون، بينما تكون آلية الامتصاص الفعال هي السائدة في التراكيز المنخفضة حيث أن عمل كلا الآليتين يتم بشكل مستقل.

يتم امتصاص عنصر البورون أيضاً عن طريق المسطح الورقي للنباتات في أثناء عملية التسميد الورقي. وبالرغم من أن الامتصاص عن طريق جذور النباتات يتم بشكل بورون معدني، إلا أن البورون يرتبط في النسغ الناقص والكامل للنبات على شكل مركبات عضوية للبورون.

6-6-3-2- علاقة البورون بالعناصر الأخرى:

الكالسيوم: تختلف النباتات فيما بينها في محتواها النسبي من عنصر الكالسيوم نسبة إلى البورون Ca/B ولكل نبات نسبة مثالية من Ca/B ينمو النبات عندها نمواً مثالياً وتكون هذه النسبة للتبغ مساوية حوالي 1200/1، وفول الصويا 500/1، وللبندورة 250/1، وللشوندر السكري 100/1. ويسبب الاختلال الكبير في النسب السابقة عدم التغذية المتوازنة من عنصري الكالسيوم والبورون بشكل خاص. وبشكل عام تظهر أعراض النقص إذا بلغت النسبة 800 إلى 1 أو أكثر.

يمكن من خلال نسب Ca/B الخاصة بكل نبات تحديد الحالة الغذائية للنبات من عنصر البورون والكالسيوم فارتفاع النسب السابقة الخاصة بكل نبات تؤدي إلى ظهور أعراض نقص عنصر البورون على النبات. وتعكس النسب السابقة إلى حد كبير قدرة النباتات على تحمل تراكيز البورون في التربة. فكلما كانت النسبة Ca/B صغيرة كلما ازدادت قدرة النبات على تحمل تراكيز مرتفعة من البورون في التربة (كالشوندر السكري مثلاً). كما ويمكن الاستفادة من النسب الخاصة بكل نبات من تلاقي أعراض التسمم بالبورون بإضافة الكلس مثلاً.

البوتاسيوم: البوتاسيوم يعمل على إظهار أعراض نقص البورون إذ يمنع امتصاصه في حين يعمل البوراكس على زيادة امتصاص البوتاسيوم.

6-6-4- التسميد بالبورون:

يتم تسميد النباتات بعنصر البورون باستخدام التسميد الأرضي أو التسميد الورقي، ويمكن أيضاً إضافة البورون مع مياه الري، ويتم التسميد إذا انخفض تركيز عن 0.8 مع/كغ تربة.

1- **التسميد الأرضي:** يتم تسميد المحاصيل وأشجار الفاكهة بمعدل 1-3 كغ/هـ وذلك حسب متطلبات النبات لعنصر البورون ومحتوى التربة أيضاً. وبسبب انخفاض وزن الكمية المضافة من البورون فيتم توزيع السماد وإضافته إلى التربة كما يلي: تذاب الكمية الكلية من السماد ثم ترش على كامل المساحة، أو يتم خلط الكمية مع الرمل الناعم وتوزيعها في الحقل بشكل متجانس. ويتم حالياً في بعض البلدان تصنيع أسمدة فوسفاتية (سوبر فوسفات ثلاثي) تحوي على البورون بنسبة 0.5%. حيث يضاف في هذه الحالة البورون بشكل غير مباشر قبل الزراعة وفي أثناء تحضير التربة، مع الأسمدة الفوسفاتية.

2- **التسميد الورقي:** يتم التسميد الورقي بمعدل 0.2-1 غ/ل B

3- التسميد مع مياه الري: من الضروري توخي الحذر عند استخدام البورون كسماد مع مياه الري حيث أن التركيز 0.5-0.75 مغ/ل يكون مناسباً لجميع المحاصيل حتى شديدة الحساسية منها لزيادة تركيز البورون. حيث تتحمل المحاصيل الحساسة لزيادة البورون في مياه الري حتى 0.75 مغ/ل بورون، والمتوسطة حتى 2مغ/ل، والمتحملة حتى 4 مغ/ل بورون.

6-6-5-2- علاج نقص البورون

تستعمل أملاح البورون بإضافتها إلى التربة بعد خلطها مع الأسمدة أو رشها على النباتات التي تعاني من النقص على شكل محلول. ويجب الاحتياط عند استعمال أملاح البورون في مقاومة أعراض النقص لأن العتبة ما بين الجرعة المناسبة لأفضل إنتاج والجرعة الضارة ضيقة جداً وربما تكون ملاحظة الضرر بالسمية قليلة في الترب القلوية، وتشير أغلب المراجع إلى أن تركيز البورون المتاح في التربة حوالي 2 جزء بالمليون يكون مناسباً لأغلب النباتات وإذا ارتفع إلى أكثر من 5 جزء بالمليون يمكن أن يسبب السمية. وتستخدم مركبات البورات وبعض الأسمدة الأخرى مثل سوبر فوسفات العادية ونترات شيلي، وأهم مصادر البورون:

النسبة المئوية للبورون	التركيب الكيميائي	المصدر
11	$N_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	البوراكس
18	$N_2B_5O_8 \cdot 5H_2O$	خامس بورات الصوديوم
11	$N_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	رابع بورات الصوديوم
20	$N_2B_4O_7 \cdot 5H_2O + N_2B_{10}O_{16} \cdot 10H_2O$	سلوبلور
17	H_3PO_3	حمض البوريك

الفصل 6- الباب 7- الموليبدينم Molybdenum

6-7-1- مقدمة: لا يعد عنصر الموليبدينم عنصراً من العناصر الصغرى الأساسية للنبات فقط، وإنما يؤدي دوراً أساسياً مهماً في الكائنات الحية الأخرى كالإنسان والحيوان والبكتريا كالأزوتوباكتر والرايزوبيوم وغيرها.

6-7-2- الموليبدينم في التربة Molybdenum in Soil

تحتوي الترب الناشئة عن صخور حامضية بشكل عام على تراكيز مرتفعة نسبياً من عنصر الموليبدينم مقارنة مع تلك التي نشأت من صخور قاعدية. وتعد صخور البازلت والغنايس من أكثر الصخور غنىً بهذا العنصر.

يتراوح التركيز الكلي من عنصر الموليبدنم في التربة بين 0.2-10 ملغ/كغ تربة، ووسطياً 2 ملغ /كغ تربة. يتواجد الموليبدنم في التربة على شكل شاردة سالبة، ويتم امتصاصه من قبل النبات على شكل موليبدنم سداسي التكافؤ MoO_4^{-2} عند درجة pH أعلى من 5-6 أما عند درجات pH أقل من ذلك فإنه امتصاصه يكون على شكل $HMoO_4^-$.

6-7-2-1- العوامل المؤثرة في حركية عنصر الموليبدنيوم في التربة:

يوجد الموليبدنم الكلي في الأرضي بمدى يتراوح من 0.6 إلى 3.5 جزء في المليون وبمتوسط عام 2.0 جزء في المليون. ويرجع اختلاف الأراضي في محتواها الكلي من هذا العنصر إلى مادة الأصل التي نشأت منها هذه الترب. و تتأثر الكمية الميسرة من الموليبدنم بعدة عوامل وهي:

1- رقم pH التربة: بعكس باقي العناصر المغذية الأخرى يزداد تيسر الموليبدنم مع زيادة رقم ال pH للتربة، وبالتالي يزداد تيسره في الأراضي القاعدية عنه في الأراضي الحامضية. ويمكن تفسير ذلك بأنه يمكن أن يحدث تبادل أنيوني في الأرض القاعدية بين أنيون الموليبدات المدمص وأنيون الهيدروكسيل الذائب في المحلول الأرضي. بينما في الأراضي الحامضية يحدث ادمصاص له على أسطح الغرويات الأرضية وخاصة الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم والتي تكون قوة الربط بها شديدة، وعلى هذا يُعتبر ادمصاص في هذه الحالة عملية تثبيت للموليبدنم وإعاقة لتيسره للنبات.

2- المادة العضوية: يتم ادمصاص الموليبدنم على المركبات العضوية في التربة ادمصاصاً قوياً ويكون غير متاح للامتصاص من قبل النبات ويشكل موليبدنم المادة العضوية جزءاً هاماً يتعدى بعدة مرات أشكال الموليبدنم الأخرى في التربة، فبحدوث عملية المعدنة للمادة العضوية يتحول الموليبدنيوم إلى صورة صالحة للنبات. كذلك إضافة المادة العضوية للأرض يعزز من تيسر الموليبدنيوم الموجود أصلاً بالأرض Native Mo.

3- قوام التربة: يلعب قوام التربة دوراً مهماً في كمية الموليبدنم الميسرة للنبات، حيث وجد أن الأرض الرملية تعاني من نقص الموليبدنم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح ادمصاص لهذه الأرض بسبب قلة السطح النوعي للادمصاص. والعكس في الأراضي ثقيلة القوام حيث يحدث ادمصاص للموليبدنم على أسطح غرويات التربة وتختلف قدرة الأرض الطينية على ادمصاص الموليبدنم حسب نوع معادن الطين السائدة بها.

4- كربونات الكالسيوم: وجد أن كربونات الكالسيوم تلعب دوراً مهماً في تيسر الموليبدنم للنبات وخاصةً في الأراضي الحامضية، ويفسر ذلك بتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم ال pH. للتربة، مما يزيد من انطلاق الموليبدنم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول

الأرضي. ومن جهة أخرى فإن إضافة كربونات الكالسيوم تقلل من إتاحة عنصري النحاس والمنغنيز الذين ينافسان عنصر المولبدنم على الامتصاص من قبل النبات.

5- **التداخل بين الأيونات المغذية الأخرى:** يعتبر وجود الفوسفات الذائبة في المحلول الأرضي عامل مشجع على ذوبان الموليبيدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفي بعض الأحيان ترتبط سمية الموليبيديوم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذائبة في المحلول الأرضي. والعكس في حالة زيادة الكبريتات الذائبة في المحلول الأرضي حيث يحدث إعاقة لامتصاص الموليبيدات بواسطة النبات ويُفسر ذلك بحدوث تنافس بين أنيون الكبريتات SO_4^{2-} وأنيون الموليبيدات MoO_4^{2-} على مواقع الادمصاص على أسطح الجذور خلال عملية الامتصاص. وهناك أيضاً ظاهرة التضاد بين الموليبيدوم والنحاس، حيث إن الزيادة من النحاس الميسر تؤدي إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبيدوم بواسطة النبات، وإمكان معالجة السمية الناشئة عن الموليبيدوم بإضافة النحاس إلى التربة. و أخيراً فإن الزيادة من أكسيد الحديد Fe_2O_3 تسبب نقص في الموليبيدوم الميسر للنبات.

6- **رطوبة التربة:** يزداد الموليبيدوم الميسر للنبات في التربة بزيادة رطوبة تلك الأرض.

6-7-3- الموليبيدوم في النبات Molybdenum In Plant

يتواجد عنصر الموليبيدوم في النبات بتركيز منخفض جداً أقل من 1ملغ/كغ مادة جافة. وهو من أقل العناصر الصغرى تواجداً في النبات بشكل عام. يتراوح تركيز عنصر الموليبيدوم في النباتات التي تنمو طبيعياً بين 0.5-5 ملغ/كغ مادة جافة، بينما يكون بحدود 0.02-0.2 ملغ/كغ مادة جافة في النباتات التي تظهر عليها أعراض نقص هذا العنصر.

يختلف محتوى النباتات اختلافاً كبيراً في محتواها من عنصر الموليبيدوم وتعد نباتات العائلة الصليبية والبقولية أكثر احتواءً على هذا العنصر بينما ينخفض التركيز في النباتات أحادية الفلقة. وبشكل عام يمكن القول بأن النباتات التي تنمو في ظروف الترب الحامضية بشكل جيد تكون عادة ذات احتياجات أقل من عنصر الموليبيدوم مقارنة مع النباتات التي تنمو في الترب المتعادلة والقلوية.

6-7-3-1- امتصاص الموليبيدوم من قبل النبات

يمتص النبات الموليبيدوم من التربة أو المحاليل المغذية على شكل MoO_4^{2-} خلال جذور النباتات التي تتم غالباً بآلية جريان الكتلة Mass Flow كما ويمكن أن يمتص النبات عنصر المولبدنم عن طريق المجموع الخضري. وتعرقل الشاردة SO_4^{--} امتصاص الموليبيدوم في التربة وعلى العكس من ذلك فإن وجود شاردة الفوسفات $H_2PO_4^-$ تحفز امتصاص النبات الموليبيدوم.

يؤدي ارتفاع تركيز المنغنيز في التربة إلى انخفاض امتصاص النبات للموليبدينم لذلك تزداد الحاجة لإضافة الموليبدينم بوجود تركيز مرتفع من المنغنيز والأمر ذاته يتم بوجود تركيز مرتفع من النحاس الذي يحد من امتصاص لنبات لعنصر الموليبدينم.

6-7-3-2- علاقة الموليبدينوم ببعض الشوارد:

الفوسفور: يمتص النبات كلاً من الفوسفور والموليبدينوم على صورة شوارد تحمل شوارد سالبة، وإن شوارد الفوسفات والموليبديات عرضة للتثبيت بمكونات التربة فزيادة تركيز الفوسفات في التربة يزيد من تركيز الموليبديات المتاحة، لأن الفوسفات تعمل على إشباع معقدات الحديد والالمنيوم فتبقى شوارد الموليبديات حرة في التربة ليمتصها النبات.

الكبريتات: على عكس الفوسفات تعمل الكبريتات على الإقلال من امتصاص النبات للموليبديات تحت تأثير ظاهرة التضاد Antagonism لأن النبات يمتص كلاً من الموليبديات والكبريتات على صورة أنيونات لذا يتوقع استجابة أكيدة عند تسميد المحاصيل المزروعة في ترب جبسية بأملاح الموليبدينم.

6-7-4- علاج نقص الموليبدينم

يعالج نقص الموليبدينم بإضافة أحد أملاحه إلى التربة أو رشاً على أوراق النباتات التي تعاني من النقص، ويمكن أن يضاف أيضاً إلى البذور قبل الزراعة.

يمكن رش النباتات بمحلول يحتوي الموليبديات— MoO_4 بتركيز 0.1 % أو 2 كغ/هـ يكفي لعلاج النقص.

إضافة الجير الى الترب الحامضية يعمل على رفع pH التربة وبالتالي تحرير كمية كافية من الموليبدينوم.

وبشكل عام إضافة 2 كغ /هـ من موليبديات الأمونيوم $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ أو الصوديوم $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ يزيل كل أثر لنقص هذا العنصر.

6-7-5- التسميد بالمولبيدوم

يوجد طرائق كثيرة لتحديد حاجة النبات للتسميد بالمولبيدوم ومن هذ الطرائق تقدير محتوى التربة من المولبيدوم عن طريق استخلاصه باسيتات الأمونيوم عند $pH=3.3$ وتتم عملية التسميد إذا انخفض تركيزه بهذه الطريقة عن 0.15 مغ/كغ تربة.
ومن الطرق المستخدمة في التسميد بالمولبيدوم:

- الإضافة المباشرة للتربة: ومن أهم الأسمدة المستخدمة مولبدات الأمونيوم ومولبدات الصوديوم وكلا السمادين جيد الانحلال بالماء لذلك يمكن استخدامهما في التسميد الورقي أيضاً وفي حال إضافة هذين السمادين فإن الإضافة تكون بحدود 1-2 كغ/هـ.
 - التسميد الورقي: يفضل استخدام سماد مولبدات الأمونيوم في التسميد الورقي بتركيز 1غ/ل وبمعدل 0.8 كغ/هـ.
 - نقع البذور: يمكن تلافي نقص المولبدوم عن طريق نقع البذور قبل الزراعة وعادة يكفي استخدام 60 غ مولبدوم لبذور يتم زراعتها في هكتار من الأرض.
 - إضافة الكلس: يمكن في كثير من الحالات تحسين التغذية بعنصر المولبيدوم عن طريق إضافة الكلس إلى التربة الحامضية التي تحتوي على تركيز كلي مرتفع من المولبدوم وقد أثبتت هذ الطريقة فعالية كبيرة مقارنة مع الطرائق الأخرى للتسميد بهذا العنصر.
- ولعلاج نقص المولبيدوم في التربة هناك العديد من المركبات المستخدمة كمصدر للمولبيدوم من بينها:

المصدر	التركيب الكيميائي	% للمولبيدوم
مولبيدات الصوديوم	Na_2MoO_4	46
مولبيدات الأمونيوم	$(NH_4)_2MoO_4$	49
مولبدات المولبيدوم	$H_2MoO_4 \cdot 5H_2O$	26
مولبدات الصوديوم المائية	$Na_2MoO_4 \cdot H_2O$	39

الفصل السابع - الباب الأول

1-7-1 الأسمدة المركبة Compound Fertilizers

1-1-7-1 الأسمدة المركبة: و التي تسمى أحيانا أسمدة متعددة العناصر وهي الأسمدة التي تحتوي على أكثر من عنصر سمادي. أو هي تلك الأسمدة التي تحتوي على أكثر من عنصر سمادي من العناصر الكبرى الثلاثة الرئيسية N.P.K وهي ناتجة عن الخلط الفيزيائي أو الاتحاد الكيميائي في صورة صلبة أو سائلة. وتبعاً لهذا التعريف فهي تشمل أسمدة تحتوي على العناصر التالية NPK, NP, NK, PK.

1-7-2 أنواع الأسمدة المركبة:

- أسمدة مركبة ناتجة عن خلط الأسمدة البسيطة ميكانيكياً
- أسمدة مركبة معقدة ناتجة عن التفاعلات الكيميائية
- أسمدة مركبة سائلة

1-7-2-1-1 التكنولوجيا الحديثة في تصنيع الأسمدة المركبة (متعددة العناصر) كيميائياً:

إن تصنيع الأسمدة متعددة العناصر يتطلب مراعاة عناية كبيرة في تفاعل المواد مثل الأمونيا وأحماض النتريك والكبريتيك والفسفوريك مع كلوريد البوتاسيوم (خلط كيميائي). ومن أهم معالم صناعة هذه الأسمدة هو تجنب استخدام الكبريت أو حامض الكبريتيك كخطوة أولى في معادلة خام الفوسفات ويستخدم بدلاً منه حامض النتريك، وبلي ذلك معاملة الناتج بحامض الفسفوريك أو الأمونيا لإنتاج السماد المتعدد العناصر، وقد يستخدم أيضاً حامض كبريتيك في هذه الخطوة. وتوجد أربع مواد أساسية تستخدم لتحضير الأسمدة متعددة العناصر

وهي: 1- صخر الفوسفات. 2- حمض الكبريتيك. 3- الأمونيا. 4- كلوريد البوتاسيوم .

وتحضر الأسمدة المركبة إما آلياً وذلك بخلط أسمدة بسيطة للعناصر الغذائية مع بعضها خطأً طبيعياً. وفي هذه الحالة فإن أية حبيبة منفردة من هذا المخلوط تحتوي على عنصر واحد فقط من العناصر المكونة للمخلوط. أو تتم العملية باتباع طرق تصنيعية، وفي هذه الحالة فإن أي حبيبة من السماد الناتج تحتوي على بعض أو كل من N, P_2O_5, K_2O .

وتتم عملية التصنيع باتباع الخطوات التالية:

التحميض Acidulation -النشدة Ammonification- إضافة الأسمدة البوتاسية- التحبيب Granulation

ويقصد بعملية التحميض معاملة المادة الخام بالحامض. أما عملية النشدة فيتم فيها إدخال الأمونيا في مركب السوبر فوسفات مكوناً سوبر فوسفات الأمونيوم. ثم بعد ذلك تضاف أملاح

البوتاسيوم. وفي عملية التحبيب يتم تجميع الحبيبات الصغيرة فى حبيبات كبيرة أو فى صورة مكورة .

ويجب أخذ ما يلي فى الاعتبار عند إنتاج هذه الأسمدة:

1- أن تكون سهلة الاستخدام فى الحقل وتحفظ بخواصها الطبيعية والكيمائية لحين إضافتها فى الحقل .

2- أن تقلل من تكاليف النقل والتخزين عند استخدامها .

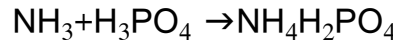
وفي الوقت الحاضر يوجه إنتاج الأسمدة متعددة العناصر ناحية إنتاج أسمدة كاملة Complete Fertilizers ذات محتوى عالٍ من العناصر أي مركزة.

ومن أنواع الأسمدة المركبة والمحضرة بطريقة تصنيعية

1- أسمدة نيتروجينية فوسفاتية:

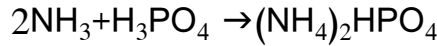
أ- الأموفوس: فوسفات الأمونيوم: ويتم تحضيرها بمعاملة حامض الفوسفوريك بالأمونيا

حيث يتكون فوسفات أمونيوم أحادية وهو سماد رتبته 11: 48:0 وفق التالي:



وبزيادة كمية الأمونيا المضافة تتكون فوسفات أمونيوم ثنائية ورتبته 18 : 48 : 0

وفق التالي::



ت- النتروفوسفات: تنتج عن مفاعلة الفوسفات الطبيعية بحمض النتريك ثم معادلة الناتج

بالأمونيا وأحياناً يخصب الناتج إضافة سماد نترات الأمونيوم وبذلك يمكن الحصول على

صيغ سمادية متنوعة جداً.

ب- فوسفات الأمونيوم النتراتية: وتحضر باستخدام ملح نترات الأمونيوم، الأمونيا، حمض

الفوسفوريك. وفيها يتم معادلة ثلثي كمية حامض الفوسفوريك بالأمونيا ثم تغذى فوسفات

الأمونيوم الناتجة بملح نترات الأمونيوم ثم الكمية الباقية من حمض الفوسفوريك . ورتبته

السمادية 30:10:0 .

4- أسمدة نيتروجينية بوتاسية: نترات البوتاسيوم 14:0:44 و كلوريد البوتاسيوم النشادرى

12:0:24

2- أسمدة نيتروجينية فوسفاتية بوتاسية (كاملة):

1- أموفوسكا 12:24:12

كذلك ينتج فوسفات أحادي أو ثنائي الأمونيوم بمعادلة الأمونيا مع حامض الفسفوريك والناتج

يستخدم كمادة وسيطة لإنتاج أسمدة أخرى متعددة العناصر ومختلفة الخواص الطبيعية والرتب

السمادية فتحتوي على نسب مختلفة من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم لتتوافق مع المحاصيل

المختلفة في الأراضي المختلفة تحت الظروف المناخية المعينة وهذه يطلق عليها أسمدة خاصة
. Special Fertilizers

7-1-2-2- الأسمدة المركبة المخلوطة (الناتجة عن الخلط الميكانيكي)

يطلق على هذا التحضير الخلط الكلي، وفي هذه الحالة فإن كل حبيبة سماد في المخلوط تحتفظ
بخواصها، والأسمدة المستخدمة في الخلط الآلي هي:

- 1- سوبر فوسفات . 2- فوسفات الأمونيوم . 3- نترات الأمونيوم . 4- اليوريا . 5- كلوريد البوتاسيوم

7-1-2-3- الأسمدة المركبة السائلة

أصبحت هذه الأسمدة شائعة الاستعمال في الوقت الحاضر على الرغم من حداثة عهدها وذلك
لانخفاض أسعارها في بعض الأحوال لوحدة السماد بها. وهي تحتوى على نفس العناصر
الغذائية الهامة التي تحتوى عليها الأسمدة الصلبة وعلى الرغم من أنها تحتاج إلى أجهزة رش
وتوزيع إلا أن سهولة تقنياتها وتوزيعها وانسيابها وإمكانية خلطها مع المبيدات عملت على
انتشارها مؤخراً . وتستخدم أيضا في مزارع الخضر والفاكهة عن طريق الري، وهي عموما
محاليل مركزة ولذا يراعى عدم حدوث تبلور لبعض الأملاح الداخلة في تركيبها ويراعى أيضا ألا
يتغير رقم pH المحلول أثناء التخزين، وعموما فإن محاليل الرش متعددة العناصر تحتوى على
نفس مكونات الأسمدة الصلبة، وأساسها أنها تتكون من فوسفات أحادي وثنائي الأمونيوم
وبوليفوسفات الأمونيوم ونترات الأمونيوم واليوريا وكلوريد البوتاسيوم

ويستخدم Superphosphoric acid وتركيز الفوسفور به مرتفع عنه في أرثووبوليفوسفات
وبإضافة الأمونيا له يتكون محلول يحتوى على: 33% P_2O_5 , 11% N

كذلك هناك معلقات من مخاليط الأسمدة وهذه تحتوى على حبيبات دقيقة معلقة في محاليل
مشبعة وبذلك يمكن إضافة مواد قليلة الذوبان ولا نخشى الترسيب ولكننا نحتاج في نفس الوقت
لمواد تحفظ المعلق ثابتاً. ومن أمثلة: هذه المعلقات السمادية المركب المحتوى على فوسفات
متعدد الأموني ومحلل يوريا - نترات الأمونيوم - كلوريد البوتاسيوم - طين جيلاتيني وماء.

وتوجد طريقتان لتحضير الأسمدة السائلة متعددة العناصر:

أولاً : وهى الأسهل وفيها يتم إذابة الكميات المطلوبة من الأسمدة الصلبة مثل اليوريا - نترات الأمونيوم- كلوريد البوتاسيوم- فوسفات الأمونيوم، ويتم خلط الكميات المطلوبة في خزانات من الصلب أو الخشب وتقلب جيداً، ويخزن الناتج في خزانات مماثلة لخزانات الخلط. ثانياً: والفكرة الأساسية لهذه الطريقة أن تتم معادلة حامض الفوسفوريك بالأمونيا. ثم بعد ذلك تضاف اليوريا أو نترات الأمونيوم إذا كان المطلوب تحضير سماد يحتوى على نسبة أكبر من النتروجين. وأخيراً، يضاف كلوريد البوتاسيوم ويحتاج الأمر إلى استخدام خزانات تتحمل الضغط وتقاوم التآكل.

وأهم ما يجب مراعاته في استخدام الأسمدة السائلة عدم حدوث تسمم نباتي نتيجة الرش وهذا يمكن تجنبه بالدقة الشديدة والحذر عند تحضير المحلول كما يستحسن الرش في الصباح الباكر

7-1-3- عيوب الأسمدة المركبة

1. باستخدام الأسمدة المركبة لا يتيسر إضافة عنصر معين في الوقت الذى يفضل إضافته فيه لمقابلة احتياجات المحصول من هذا العنصر.
2. يكون التركيز الكلى للعناصر الغذائية في الأسمدة المخلوطة أقل مما هو موجود فيها في الأسمدة التي استخدمت لتحضير هذه المخاليط، ومن هنا نجد انه لكي نوفر كمية معينة من عنصر معين يلزم استخدام كميات أكبر من المخلوط.

7-1-4- ما يجب مراعاته عند خلط الأسمدة

يلجأ المزارعون إلى خلط الأسمدة البسيطة قبل نثرها إذا كان موعد التسميد بهذه الأسمدة واحداً وذلك للاقتصاد في عملية إضافة السماد. وقد تكون الأسمدة المخلوطة في المزرعة أصعب في تداولها وتوزيعها عن تلك المحضرة صناعياً. وعند إجراء عملية الخلط يجب الحذر لتلاقي الأضرار التي تحدث نتيجة عملية الخلط ومنها:

- 1- قد يحدث انفصال للحبيبات المخلوطة إذا خزنت لفترة أكثر من عدة أيام ويحدث انفصال الحبيبات نتيجة اختلاف حجم وكثافة الحبيبات. وللتغلب على مشكلة انفصال الحبيبات يتبع التالي:

- عدم تحضير كميات كبيرة من المخلوط أكثر مما يلزم استخدامه في فترة قصيرة .
- يمكن إضافة بعض المواد مثل مسحوق الفوسفات المعدنية ولو أن ذلك يزيد من تكاليف المخلوط .

2- تجنب فقد النتروجين النتراتي: وذلك بعدم خلط أي أسمدة نتراتية مع أسمدة بها حامض منفرد، مثل السوبر فوسفات الذى يحتوى على حامض فوسفوريك منفرد حتى لا يتسرب حامض النتريك أو يتحلل ويفقد النتروجين على صورة أكاسيد نتروجينية. كذلك يجب عدم خلط أسمدة

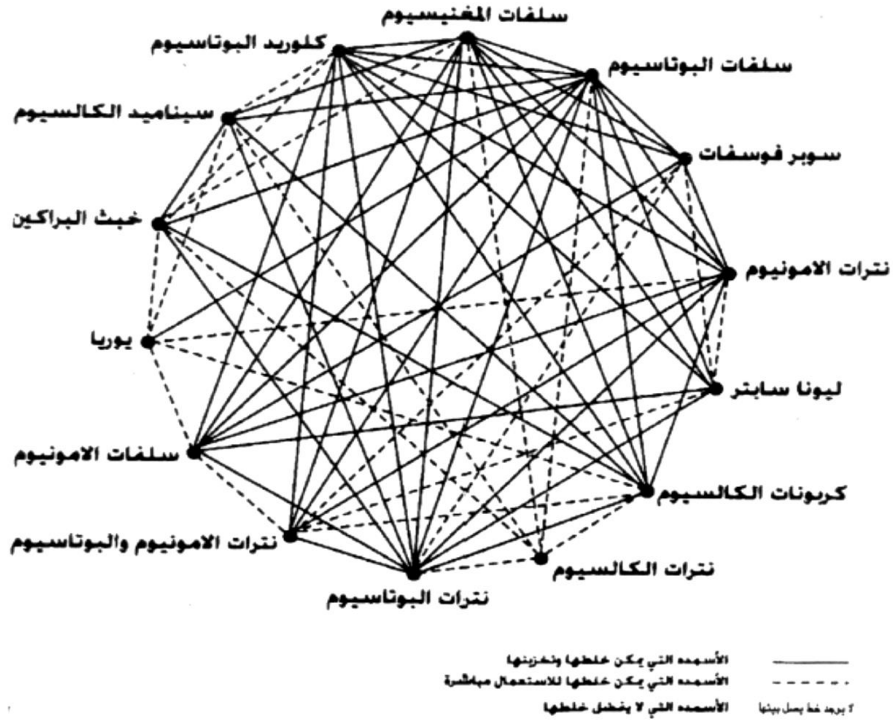
نتراتية مع سماد الإسطبل أو الأسمدة العضوية حيث يؤدي الخلط إلى فقد النتروجين عن طريق عملية عكس التآزت.

3- تجنب فقد النتروجين النشادري: ولذا يجب عدم خلط الأسمدة النشادرية مع أسمدة أو مواد تحتوى على مواد قلوبية أو جير منفرد .

4- تجنب حدوث استحالة الفوسفات: ولذا يجب عدم خلط السوبر فوسفات بأي سماد يحتوى على كالسيوم ذائب مثل نترات الجير (الشكل 7-1).

5- رداءة الخواص الطبيعية للمخلوط: يجب عدم خلط الأسمدة المتميعة مثل نترات الجير بأي أسمدة أخرى حيث تؤدي إلى تحويل المخلوط إلى كتلة صلبة يصعب تداولها. ويحدث التصلب Caking إذا كانت درجة الرطوبة النسبية للخليط أقل من درجة الرطوبة النسبية لكل سماد على حدة حينئذ تزداد قابلية الخليط لامتصاص الرطوبة من الجو عند نفس درجة الحرارة مثل خليط اليوريا والسوبر فوسفات وأيضا اليوريا و نترات الأمونيوم.

ويلاحظ أن مثل هذه المشاكل يمكن حلها إذا ما خلطنا الأسمدة تحت ظروف أكثر إحكاما وكذلك تضاف بعض المواد ضد التصلب Anticaking مثل الحجر الجيري أو الطين الناعم بكميات صغيرة لتمنع تكثف السماد، وقد تضاف العناصر الدقيقة للسماد وكذلك يراعى أن يكون رقم الحموضة مناسباً. وأن يكون السماد المخلوط متجانساً لذلك يجب قبل تحضير المخلوط مراعاة الآتي: دق الكتل الكبيرة تقسم الأسمدة إلى أجزاء صغيرة. يبدأ في عمل طبقة من السوبر فوسفات بسمك 15 سم تليها طبقة بنفس الارتفاع من الأسمدة النتروجينية وأخيرا طبقة من الأسمدة البوتاسية. يلزم لحساب كميات الأسمدة لتحضير مخلوط سمادى معرفة:أ- رتبة السماد ب- كمية المخلوط المراد تحضيرها ج- أنواع الأسمدة البسيطة المتوفرة .



الشكل (7-1): إمكانية خلط الأسمدة

الفصل السابع -7- الباب -2- المواصفات القياسية للأسمدة الكيميائية

7-2-1- السماد: هو كل مادة يؤدي استخدامها إلى تغذية النبات أو تزيد من خصوبة التربة أو تعمل على تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة. ويمكن تصنيف الأسمدة وفق التالي: أولاً- الأسمدة المعدنية: هي مجموعة الأسمدة التي تتكون من ملح أو أملاح العناصر الضرورية للنبات، ويمكن أن تحتوي عناصر شيلاتية مضافة، ولا تحتوي الكربون العضوي أو تحتويه بنسب أقل من الحد المسموح به في الأسمدة العضوية:

7-2-2- تصنيف الأسمدة المعدنية:

7-2-2-1- أسمدة العناصر السمادية الكبرى الرئيسية N,PK :

أ- الأسمدة البسيطة: مجموعة الأسمدة التي تحتوي على عنصر سمادي واحد من العناصر الكبرى الرئيسية N,P,K الضرورية لتغذية النبات وتضم:

1- اليوريا: هو مركب ثنائي أميد حمض الكربون الناتج عن تفاعل الأمونيا NH_3 مع غاز الكربون CO_2 ويكون السماد على شكل حبيبات بيضاء اللون خالية من الشوائب المرئية والكتل وهو سماد عالي الذوبان في الماء.

2- السوبر فوسفات (أحادي - ثنائي - ثلاثي) وعناصره:

• صخر الفوسفات: صخر طبيعي يحتوي أساساً على الأباتيت (فوسفات الكالسيوم)

- **الفوسفات المتاحة:** هي الفوسفات القابلة للذوبان في محلول سترات الأمونيوم المتعادل.
- **الفوسفات الكلية:** هي الفوسفات الذائبة في حمض معدني قوي التركيز.
- 3- **سلفات البوتاسيوم K_2SO_4 :** هو سماد يتم الحصول عليه كيميائياً من أملاح البوتاسيوم بحيث يحتوي على كبريتات البوتاسيوم كمادة أساسية.
- 4- **سلفات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$:** سماد كبريتات الأمونيوم عبارة عن ملح متبلور على هيئة بلورات صغيرة شفافة لا لون لها أو بيضاء أو مائلة إلى البياض، فيه كمية من المسحوق لا تزيد على 5% من وزن تلك البلورات على أن يكون السماد خالياً من الشوائب والكتل.
- ب- **الأمثلة المركبة:** هي مجموعة الأسمدة التي تحتوي على أكثر من عنصر سمادي من العناصر السمادية الأساسية الثلاث (N,P,K) ، ويتم الحصول عليها إما كيميائياً أو بالخلط أو كليهما. و من الممكن أن تحتوي هذه الأسمدة على العناصر الثانوية الكبرى (كالسيوم Ca و المغنيزيوم Mg و الكبريت S) وعناصر صغرى (حديد Fe و منغنيز Mn ونحاس Cu و زنك Zn و بورون B و موليبدنيوم Mo) بنسب غير ضارة بالنبات والتربة حسب نوع النبات.

المواصفات العامة الواجب توافرها في الأسمدة المعدنية:

- 1- ألا يزيد محتواها من الصوديوم Na الذائب عن 3% وزناً.
- 2- ألا يزيد محتواها من الكلور Cl الذائب عن 3% وزناً.
- 3- أن تكون خالية من الهرمونات والمواد المشعة.
- 4- ألا يزيد محتواها من العناصر الثقيلة مقدراً PPM كما هو موضح:

رصاص	زرنبيخ	كروم	نيكل	كاديوم	زئبق
150	25	150	70	5	3

المواصفات القياسية الخاصة وفق نوع السماد:

الأمثلة البسيطة:

1- الأمثلة النتروجينية:

ج- اليوريا $CO(NH_2)_2$:

ألا تزيد نسبة مادة البيوريت عن 1.1% وزناً ، ألا يقل محتواها من الآزوت عن 46% وزناً، ألا يزيد محتوى الرطوبة عن 0.5% وزناً، ألا تقل نسبة الحبيبات التي تمر من منخل أقطار فتحاته 4 مم و المحتجزة على منخل فتحاته 1 مم عن 95% وزناً ولا تزيد نسبة الحبيبات الناعمة الأقل من 1مم عن 5% وزناً.

ح- اليوريا المنترجة: $Nitro\ urea-CH_3N_3O_3$: ألا تقل نسبة النيتروجين الكلي الذائب

في الماء عن 32%.

خ- نترات اليوريا $\text{Urea Nitrate} - \text{CH}_5\text{N}_3\text{O}$: ألا تقل نسبة النيتروجين الكلي الذائب في الماء عن 32%.

د- الأمونيا: ألا تقل نسبة النيتروجين عن 82%

ذ- نترات الامونيوم NH_4NO_3 : ألا تقل نسبة النيتروجين الكلي الذائب في الماء عن 33% ، على أن تكون نصف هذه النسبة على صورة نتراتية والنصف الآخر على صورة أمونيوم.

ر- سلفات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$:

ألا تقل نسبة الآزوت الكلي عن 20% وزناً، ألا يزيد محتوى الرطوبة عن 0.5% وزناً، ألا تزيد نسبة حمض الكبريت الحر عن 0.5% وزناً.

ز- نترات الصوديوم: ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 16%

س- نيتريت الصوديوم: ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 20%

2- الاسمدة الفوسفاتية:

- السوبر فوسفات الأحادي $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$: مسحوق ناعم رمادي اللون يذوب جزئياً في الماء: ألا تقل نسبة الفوسفات الكلية الذوابة مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 15% وزناً، ألا تقل نسبة الفوسفات المتاحة (الذوابة في الماء وسترات الأمونيوم) مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 16% وزناً، ألا تزيد نسبة حمض الفوسفوريك الحر مقدراً على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 4% وزناً، ألا يزيد محتواها من الرطوبة عن 12% وزناً، ألا يكون في صورة متحجرة أو متعجنه أو متكتلة ويفضل أن يكون بصورة محببة أو بودرة.

- السوبر فوسفات الثنائي 36% (P_2O_5) : مسحوق ناعم رمادي اللون يذوب جزئياً في الماء: ألا تقل نسبة الفوسفات الكلية الذوابة في حمض معدني مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 35% وزناً، ألا تقل نسبة الفوسفات المتاحة مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 33% وزناً، ألا تقل نسبة الفوسفات القابلة للذوبان في الماء مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 30% وزناً، ألا تزيد نسبة حمض الفوسفوريك الحر مقدراً على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 4% وزناً، ألا يزيد محتواها من الرطوبة عن 4% وزناً، أن يكون على هيئة حبيبات حر الانسياب وخالياً من الكتل الصلبة (التحبيب 95% من 1-5 مم، التحبيب 2% أقل من 1 مم، التحبيب 3% أكبر من 5 مم).

ش- السوبر فوسفات الثلاثي $\text{TSP}, \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$: ألا تقل نسبة الفوسفات الكلية الذوابة في حمض معدني مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 46% وزناً، ألا تقل نسبة الفوسفات المتاحة (الذائبة في الماء وسترات الأمونيوم) مقدرة على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 44% وزناً، ألا تقل نسبة الفوسفات القابلة للذوبان في الماء مقدرة

على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 42% وزناً، ألا تزيد نسبة حمض الفوسفوريك الحر مقدراً على شكل خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 عن 4% وزناً، ألا يزيد محتواها من الرطوبة عن 4% وزناً، أن يكون على هيئة حبيبات حر الانسياب وخالياً من الكتل الصلبة ويجب ألا تقل نسبة الحبيبات التي تمر من منخل فتحاته 4مم والمحتجزة على منخل فتحاته 1مم عن 90% وزناً وألا تزيد نسبة الحبيبات الناعمة الأقل من 1مم عن 5% وزناً.

- صخر الفوسفات (الفوسفات الخام): ألا تقل نسبة الفوسفور P_2O_5 عن 32%
3- الأسمدة البوتاسية:

سلفات البوتاسيوم K_2SO_4 :

ألا تقل نسبة البوتاسيوم (K_2O) الذائب في الماء عن 50% وزناً، ألا تزيد نسبة الرطوبة عن 0.5%، ألا تزيد نسبة الكلور في السماد عن 0.2%، ألا تقل نسبة الكبريت (S) عن 17%.

كلوريد البوتاسيوم KCl :

ألا تقل نسبة البوتاسيوم (K_2O) عن 60%، ألا تزيد نسبة الرطوبة عن 1%
7-2-2-2- الأسمدة المركبة: هي تركيبات سمادية تحتوي على أكثر من عنصر من العناصر الغذائية الرئيسية حيث تحتوي على عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم N,P,K.

- أسمدة عناصر رئيسية (NPK) تحتوي على عنصري النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.
- أسمدة عناصر رئيسية (NP) تحتوي على عنصري النيتروجين والفوسفور
- أسمدة عناصر رئيسية (NK) تحتوي على عنصري النيتروجين والبوتاسيوم.
- أسمدة عناصر رئيسية (PK) تحتوي على عنصري الفوسفور والبوتاسيوم

المواصفات القياسية للأسمدة المركبة

أ- الأسمدة المركبة (حبيبي):

يجب أن يكون السماد متجانس الخلط وحر الانسياب، ويجب ألا تقل نسبة الحبيبات التي تمر من منخل فتحاته 4مم والمحتجزة على منخل فتحاته 1مم عن 90% وزناً، ألا تزيد نسبة الحبيبات الناعمة الأقل من 1مم عن 5% وزناً، الأسمدة ذات الحجم الأكبر من 4.76 مم تعتبر مقبولة في حال كانت كل حبة تمثل العينة الكلية وزناً، أما بالنسبة لأشكال الأسمدة المختلفة فتعتبر مقبولة إذا كانت كل قطعة منها تمثل العناصر الموجود في السماد وزناً، أن يذوب محتواها من الفوسفور المعلن P_2O_5 بالماء 50% كحد أدنى وحتى 95% بالماء وسترات الأمونيوم، أن يذوب محتواها من البوتاسيوم المعلن في أوكزلات الأمونيوم بنسبة 95% كحد أدنى، ألا يقل مجموع نسب العناصر في السماد المركب عن 24% ولا يقل الحد الأدنى لعنصرين رئيسيين عن 5% وزناً لكل منهما.

ب- الأسمدة المركبة الذوابية (بودرة- سائل- معلق)

المواصفات العامة:

أن تكون ذوابة في الماء بنسبة 95% وزناً، ألا يزيد محتواها من عنصر الصوديوم الذائب عن 2% وزناً، ألا يزيد محتواها من عنصر الكلور عن 3% وزناً، يجوز أن تستخدم في أجهزة الري الحديثة، أن تكون خالية من الهرمونات والمواد الإشعاعية وتكون العناصر الثقيلة ضمن الحدود المسموح بها.

المواصفات الخاصة:

يجب أن تتمتع أسمدة العناصر الكبرى **NPK** بالمواصفات التالية:

ألا تقل نسبة العناصر الكبرى منفردة أو مجتمعة عن 30% وزناً في الأسمدة الصلبة (البودرة) وعن 25% وزناً في الأسمدة السائلة والمعلقة، ويكون التقدير الوزني على الأساس التالي:

• بالنسبة للآزوت يحسب على شكل N

• بالنسبة للفسفور يحسب على شكل P_2O_5

• بالنسبة للبوتس يحسب على شكل K_2O

أما بالنسبة للأسمدة المركبة التالية يجب أن تكون بكامل المواصفات الطبيعية والكيميائية ومحتواها من العناصر الغذائية المحددة:

فوسفات اليوريا:

• ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 17%.

• ألا تقل نسبة الفسفور (P_2O_5) الذائب في الماء عن 44%.

فوسفات ثنائي الأمونيوم (DAP):

• ألا تقل نسبة الفوسفور (P_2O_5) الذائب في الماء عن 41%.

• ألا تقل نسبة الفوسفور (P_2O_5) الذائب في حمض الستريك عن 46%

• ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 18%.

• أن يكون السماد في صورة محببة يتراوح حجم حبيباته بين (1 . 3) مم.

فوسفات أحادي الامونيوم (MAP):

• ألا تقل نسبة الفوسفور (P_2O_5) الذائب في الماء عن 48%.

• ألا يقل النيتروجين الذائب في الماء عن 11%.

فوسفات أحادي البوتاسيوم: (MKP)

• ألا تقل نسبة الفسفور (P_2O_5) الذائب في الماء عن 52%.

• ألا تقل نسبة البوتاسيوم (K_2O) الذائب في الماء عن 34%.

نترات البوتاسيوم:

- ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 13%.
 - ألا تزيد نسبة الرطوبة عن 1%
 - ألا تقل نسبة البوتاسيوم (K_2O) الذائب في الماء عن 46%.
- أسمدة العناصر الثانوية الكبرى (الكالسيوم و المغنيزيوم و الكبريت) مع عناصر صغرى أو بدونها

- يجب أن يكون عنصر الكالسيوم على شكل نترات أو أكسيد أما المغنيزيوم فيجب أن يكون على شكل نترات أو كبريتات أو أكسيد.
 - ألا يقل محتوى السماد من كل عنصر من العناصر (الكالسيوم و المغنيزيوم و الكبريت) عن 5% وبشكله الحر وبنسبة وزناً إلى وزن.
- 7-2-2-3 - أسمدة العناصر الثانوية وهي أسمدة غير عضوية تحتوي على عنصر واحد أو أكثر من العناصر الغذائية الثانوية ، وتشمل:

أسمدة الكالسيوم وتضم:

نترات الكالسيوم:

- ألا تقل نسبة الكالسيوم (CaO) في الماء عن 19% .
- ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 15% .

سلفات الكالسيوم:

- أن تكون نسبة الكالسيوم (CaO) الذائب في الماء 29 - 27% .

كلوريد الكالسيوم:

- ألا تقل نسبة الكالسيوم (CaO) الذائب في الماء عن 36% .

د) شلات الكالسيوم:

- ألا تقل نسبة الكالسيوم عن 10% .

أسمدة المغنيزيوم وتشمل:

نترات المغنيزيوم:

- ألا تقل نسبة المغنيزيوم (MgO) الذائب في الماء عن 15% .
- ألا تقل نسبة النيتروجين الذائب في الماء عن 11% .

2- سلفات المغنيزيوم:

- ألا تقل نسبة المغنيزيوم (MgO) الذائب في الماء عن 16% .

ج) كلوريد المغنيزيوم:

- ألا تقل نسبة المغنيزيوم (MgO) الذائب في الماء عن 25% .

د) شلات المغنيزيوم:

- ألا تقل نسبة المغنيسيوم (MgO) الذائب في الماء عن 6. %

أسمدة الكبريت:

الكبريت يعتبر من العناصر الغذائية الثانوية يستخدم كعنصر حر أو من خلال الأسمدة التي بطبيعتها تحتوي على هذا العنصر.

- 7-2-2-4 أسمدة العناصر الصغرى (الحديد ، الزنك ، النحاس، المنغنيز، البورون ، والمولبدنم):

وهي الأسمدة الحاوية على عنصر أو أكثر من العناصر الصغرى على شكل أملاح ويجب أن تتمتع بالموصفات التالية:

- ألا يقل محتواها من العنصر أو مجموع العناصر عن 10% كعنصر نقي (يتم التقدير على شكل حر وليس على شكل أكاسيد) أو عناصر نقية محسوبة على أساس وزن/وزن ويستثنى من ذلك عنصري البورون والمولبيديوم التي يسمح بوجودهما بنسبة لا تقل عن 5% عند وجود كل منهما منفرداً في السماد الواحد.
- أن تكون أملاح العناصر على شكل نترات أو كبريتات.

- 7-2-2-5 أسمدة عناصر كبرى رئيسية N,P,K ذوابة تحتوي عنصراً واحداً منها فقط مضافاً إليه عنصر أو عناصر أخرى من الثانوية الكبرى أو الصغرى ويجب أن تتحقق فيه الموصفات التالية:

- ألا يقل محتوى السماد من العنصر الرئيسي عن 15% وزناً ومحسوب على N, P₂O₅, K₂O
- ألا يقل محتوى السماد من أحد العناصر الأخرى المضافة (غير الأساسية) منفرداً أو مجتمعاً مع غيره عن 5% (يتم التقدير على أساس الشكل الحر وليس شكل أكاسيد).
- إن إضافة آثار أو شوائب من أي عنصر أو مركب لا تستوجب تحليل العنصر أو المركب.

الفصل الثامن - الأسمدة العضوية Organic fertilizers

8-1 - الأسمدة العضوية Organic fertilizers:

تعتبر المخلفات الزراعية النباتية والحيوانية نواتج ثانوية داخل منظومة الإنتاج الزراعي يجب تنظيم الاستفادة منها، بتحويلها إلى أسمدة عضوية أو أعلاف أو غذاء للإنسان أو طاقة نظيفة، وللاستفادة القصوى من المخلفات العضوية لابد من معرفة مصدر هذه المخلفات وخصائصها حتى يكون التخطيط صحيحاً لتدوير هذه المخلفات وبغية الاستفادة المثلى منها في الإنتاج الزراعي. ومن هنا فإن الأسمدة العضوية Organic fertilizers هي تلك المخلفات التي تحتوي على المادة العضوية Organic matter أي أنها المخلفات التي تحتوي على الكربون والذي يستخدم كأساس للتقييم ويمكن تقسيم الأسمدة العضوية إلى:

- أسمدة عضوية مزرعية وهي التي تشمل مخلفات المزرعة (نباتية وحيوانية) مثل السماد البلدي والسماد الأخضر والبيت Peat.
- أسمدة عضوية تجارية Organic commercial fertilizers وهي الأسمدة العضوية التي تنتج من معاملة المخلفات العضوية ببعض المعاملات التي تتيح الاستخدام الآمن لهذه المخلفات مثل السماد البلدي الصناعي Compost، وسماد البيوجاز وسماد قمامة المدن، ومخلفات المجاري حيث يجب أن تكون هذه المخلفات خالية من أي ملوثات مثل العناصر الثقيلة (كادميوم ورساوص) كما أن إضافتها بالتربة لا يضر بصحة الإنسان والنبات ويضاف لهذه الأسمدة مسحوق الدم والعظام والقرون ويمكن أن يضاف لهذه الأسمدة التجارية بعض الأسمدة المعدنية التي تزيد من محتواها من NPK.

8-2 - فوائد الأسمدة العضوية Benifites of organic fertilizers

إن فوائد الأسمدة العضوية تأتي من تأثيراتها أو وظائف محتواها من المادة العضوية على التربة والتي في النهاية تنعكس على النبات ومعظم هذه التأثيرات تنتج أساساً من مكوناتها الفعالة الناتجة بعد تحلل المخلفات العضوية والتي يطلق عليها الدبال الذي هو عبارة عن مجموعة أحماض دبالية (Humus, Humin, Fulvic acid) وهذه الأحماض ذات وزن جزيئي كبير ومقاومة للتحلل أي أنها أكثر ثباتاً عن المواد الأصلية وهذه الأحماض تحمل مجموعة من المجاميع الفعالة التي عند تأينها ينتج شحنة سالبة مثل الكربوكسيل والهيدروكسيل الفينولي. أو ينتج عنها شحنة موجبة باكتساب البروتونات كما في مجاميع الأمين أو الهيدروكسيل. وهذه الشحنات تزيد من السعة الإدمصاصية للتربة مما يزيد من قدرة التربة على الارتباط (حفظ) الكاتيونات أو الأنيونات على التوالي مما يحميها من الفقد أي تعتبر كمخزن للعناصر الغذائية الصالحة لامتصاص النبات.

وهناك العديد من الفوائد الأخرى للأسمدة العضوية (مادة الأرض العضوية) والتي يمكن ذكرها باختصار كالآتي:

- 1- زيادة حرارة التربة نتيجة لكل من لونها الداكن وتحسينها لبناء التربة مما يساعد على امتصاص العناصر الغذائية ويزيد النشاط الميكروبي بالتربة الذي يساعد على زيادة صلاحية العناصر الغذائية الموجودة أصلاً في التربة في صورة غير صالحة.
- 2- زيادة قوة حفظ التربة وهذا ينعكس على نمو ومحصول النبات.
- 3- تحسين حالة التهوية: التربة من حيث إمداد الأكسجين أو خروج ثاني أكسيد الكربون.
- 4- تحسين بناء التربة وبالتالي انخفاض الكثافة الظاهرية مما يؤثر تأثيراً موجباً على ما سبق ذكره من حرارة التربة، وقوة حفظ التربة للماء، وتحسين تهوية التربة، وتيسير اختراق الجذور للتربة، وزيادة نفاذية التربة للماء كل هذا يحسن من بيئة النبات التي تزيد من امتصاص النبات للعناصر الغذائية وبالتالي تحسين كل من النمو والمحصول.
- 5- تعتبر مصدر لعديد من العناصر الغذائية الصالحة والتي تنتج بعد تحلل هذه الأسمدة العضوية (N,P,K,S) وغيرها من العناصر الغذائية الصغرى.
- 6- تعتبر مخزن لأيونات مثل (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , MoO_4^{2-} , H_2BO_4^-) لارتباطها بالشحنة الموجبة بالمادة العضوية والتي تمد النبات بها عند الحاجة إليها:
- 7- تزيد من السعة التبادلية الكاتيونية Cation exchange capacity (C.E.C) بالتربة وبالتالي تعتبر مخزن لكاتيونات العناصر الغذائية لارتباطها بالشحنة السالبة بالمادة العضوية والتي تمد النبات بها عند الحاجة إليها.
- 8- زيادة صلاحية العناصر الكبرى والصغرى الموجودة أصلاً بالتربة في صورة غير صالحة وذلك عن طريق انطلاق CO_2 مكوناً حمض كربونيك أو أحماض عضوية أخرى تخفض من pH التربة وبالتالي زيادة صلاحية العناصر الغذائية أو عن طريق خلب العناصر الغذائية الصغرى.
- 9- يمكن أن تؤدي إلي تثبيت العناصر بطريقتين: إما داخل أجسام الميكروبات (مؤقتة) أو تكوين معقدات غير ذائبة مع نواتج التحلل (مستديمة). وهذا التثبيت ضار في حالة العناصر الغذائية مثل النحاس ولكنه قد يكون مفيداً في حالة المعادن الثقيلة (رصاص، نيكل، كاديوم).
- 10- إفراز مواد منشطة للنمو Growth factors مثل الفيتامينات و المضادات الحيوية (الاستربتوميسين والتراميسين) والتي يمكن للنبات أن يمتصها. وبالتالي يكون مقاوماً لبعض الأمراض.

- 11- إفراز مواد مثبطة للنمو Growth inhibitors وهي ذات تأثير سالب حيث أنها تؤخر نمو النبات وقد تؤثر على النبات عند وجودها بتركيز عالي.
- 12- تحمي سطح التربة من التعرية (ماء، رياح).
- 13- زيادة النشاط الميكروبي نتيجة التأثيرات السابقة مما يزيد صلاحية العناصر الصغرى بالتربة.

8-3- الأسمدة العضوية ذات المنشأ الحيواني (المزرعية):

8-3-1- السماد البلدي Farmyard manure:

يطلق على السماد البلدي تسميات مختلفة منها (الدمن أو الزبل أو سماد المزرعة أو السرجن أو سماد الإسطبل أو سماد الزرائب أو السباخ البلدي). وإن كانت هذه المفاهيم تختلف تبعاً للمراجع. والسماد البلدي هو عبارة عن نواتج مخلفات المزرعة وهي الروث والبول بالإضافة إلى فرشة الحيوانات التي قد تتكون من مخلفات المزرعة النباتية مثل القش أو التربة. والروث أساساً عبارة عن مادة صلبة ولكن قد يكون في حالة شبه صلبة أما البول فيكون في صورة سائلة ويتكون أساساً من اليوريا وحمض اليوريك، ويسمى السماد الناتج باسم حيوانات المزرعة. وهو أهم الأسمدة العضوية، حيث يحتوي على جميع العناصر الضرورية لتغذية النبات، ولهذا فهو يدعى بالسماد الكامل، ومن ثم فإنه لا يمكن الاستغناء عنه مهما كان إنتاج الأسمدة المعدنية كبيراً نظراً لدوره في تحسين خصائص التربة، وزيادة إنتاجية المزروعات. ويمكن تقسيم السماد البلدي طبقاً لحالته الطبيعية إلى:

- السماد البلدي غير السائل Non liquid manure: وهو السماد بحالته الطبيعية حيث مكوناته الأساسية هي روث الحيوانات والفرشة، أحياناً يتواجد معه جزء من البول ويحتوي السماد على العديد من العناصر الغذائية N,P,K.
- السماد البلدي السائل Liquid manure: وهو عبارة عن معلق مكوناته الأساسية بول الحيوانات مختلط ببعض أجزاء من الروث وتصل مكونات السماد من اليورين 50% والمادة الجافة 1-3% ويسود به اليوريا (حيث تتحول إلى أملاح أمونيومية في حالة التخمر) كما يحتوي على حمض اليوريك ثم يتحول إلى حمض بنزويك الذي يحتوي على النتروجين ويزداد محتواه من البوتاسيوم والنتروجين الذائبين ولهذا فالعناصر بهذا السماد سهلة الصلاحية أي يعتبر السماد سريع الفعالية.
- السماد البلدي شبه السائل Semi-liquid manure: وهو خليط من نواتج إخراج حيوانات المزرعة (روث+ يورين) وقليل من الفرشة مع تخفيف السماد بالماء وهذا بهدف نقله ميكانيكياً.

8-3-2- أهمية السماد البلدي Importance of Farmyard Manure:

يعتبر أهم النواتج الثانوية للمزرعة التي يستفيد منها المزارع وذلك للأسباب التالية: حيث أنه يعيد إلى التربة جزءاً كبيراً من العناصر الغذائية التي امتصت بواسطة المحاصيل التي زرعت بها. كما أنه يمد التربة بالمواد العضوية التي تتحول فيها إلى دبال يحسن من خواصها الطبيعية والكيميائية. وعند إضافته للتربة فإنه يعتبر نوعاً من تلقيح الأرض بأنواع عديدة من البكتريا والكائنات الدقيقة الأخرى التي تحول الأغذية النباتية المخزونة في التربة إلى صورة أكثر صلاحية لتغذية النبات. ويحتوي السماد على المواد المنظمة للنمو Growth regulating substances.

8-3-3- مكونات السماد البلدي:

يتكون السماد البلدي من روث وبول الماشية مع الفرشة. ولكي نفهم طبيعة السماد البلدي لا بد أن نلم بما يأتي:

- التغيرات الكيميائية التي تحدث لمكونات الغذاء في القناة الهضمية للحيوان.
- تركيب الإفرازات الحيوانية والعوامل المؤثرة عليها .

8-3-3-1- التغيرات الكيميائية التي تحدث لمكونات الغذاء في القناة الهضمية للحيوان.

تختلف مكونات الغذاء في درجة قابليتها للهضم فمثلاً:

- السكريات البسيطة والنشويات تهضم بسهولة.
- الدهون والهيميسيليلوز والسيليلوز أقل سهولة في هضمها.
- اللجنين يقاوم فعل العصارات والإنزيمات لذا يبقى دون تمثيل أو امتصاص.
- تختلف البروتينات في درجة قابليتها للهضم وبالتالي يختلف معامل الإفادة منها.
- يمتص معظم البوتاسيوم ويفرز في البول.
- يخرج جزء قليل جداً من الفوسفور في البول بينما يخرج الجزء الأكبر في الروث.

8-3-3-2- تركيب الإفرازات الحيوانية والعوامل المؤثرة عليها: يختلف تركيب الروث والبول

باختلاف: نوع الحيوان - التركيب الكيميائي للغذاء وقابلية محتوياته للهضم- عمر الحيوان والغرض من تربيته. فبالنسبة لأثر نوع الحيوان على كمية وتركيب الإفرازات، حيث تكون إفرازات البقر والجاموس رغم أن محتواها قليل من العناصر السمدية إلا أنها تعتبر أكثر استخداماً دون حدوث ضرر في المراحل الأولى من عمر النبات وتبعاً لذلك يكون سماد بارد. إفرازات الغنم غنية بالعناصر السمدية يمكن أن تؤدي إلى حدوث ضرر للنبات في أطواره الأولى وتبعاً لذلك يكون سماداً حاراً ويستخدم في تسميد الحقائق. أما إفرازات الدواجن ليس لها تركيب ثابت وتتخمر الإفرازات بسرعة.

ويلاحظ أنه كلما كان الغذاء الذي يتناوله الحيوان غنيا بالبروتين كلما كانت الإفرازات غنية بالنتروجين وينطبق ذلك أيضاً على كل من الفوسفور والبوتاسيوم. وتحتاج الحيوانات الصغيرة إلى بناء عضلات وتكوين عظام لذا فهي تحتاج إلى كميات كبيرة من النتروجين والفوسفور والكالسيوم وعناصر أخرى ولذا فإن إفرازاتها تكون محتوية على كميات قليلة من تلك العناصر. فمثلاً تبلغ نسبة كل من النتروجين - الفوسفور - البوتاسيوم التي تفرز في البول والروث بالنسبة للحيوان الصغير من 50-75 % من تلك الكمية الموجودة في الغذاء وذلك مقابل حوالى 90-95% من كمية أي منها في العليقة وذلك بالنسبة للحيوانات التامة النمو. من ناحية أخرى نجد أن الحيوانات التي تنتج الألبان والصوف تستهلك من العناصر الغذائية كمية أكبر من الحيوانات التي تربي للتسمين. ومن ذلك نجد أن إفرازات الحيوانات الأخيرة تكون أغنى في محتواها من العناصر السمادية عن حيوانات المجموعة الأولى.

8-3-4- خواص مكونات السماد البلدي

1- الروث: يحتوى الروث بصفة عامة على: نصف أو أكثر من النتروجين الذى يفرزه الحيوان. ويوجد النتروجين في الروث على صورتين هما: أولاً- البروتينات التي قاومت فعل العصارات الهاضمة والإنزيمات وبكتريا الأمعاء وهي لهذا السبب تكون مقاومة للانحلال البيولوجي في كومة السماد أو التربة. وثانياً بروتينات الأحياء الدقيقة المكونة لخلايا البكتريا الحية والميتة وهذه الصورة سهلة التحلل نسبياً عند إضافتها للأرض. كما يحتوي قليلاً من البوتاسيوم، وكل الفوسفور، وكميات كبيرة من اللجنين. ومن هنا يمكن القول: إن جزءاً كبيراً من المادة العضوية في الروث يكون في صورة مركبات تشبه الدبال الذي يوجد في التربة.

2- البول : يختلف البول عن الروث في النقاط التالية: أ- قليل الاحتواء على الفوسفور. ب- غني بالبوتاسيوم. ج- يحتوى على نصف كمية النتروجين التي يفرزها الحيوان والتي توجد في صورة يوريا - حمض الهيبيوريك - حمض يوريك. د- جميع أو معظم مكونات البول توجد في صورة ذائبة وهي إما أن تكون في صورة صالحة مباشرة أو سهلة التحول إلى الصورة الصالحة عند إضافتها للأرض.

3- الفرشة: وهي كل ما يوضع تحت الحيوانات في زرائبها لإراحتها وامتصاص بولها وروثها. والفرشة إما أن تكون من التراب أو من الفضلات النباتية أو خليطاً منهما. وتختلف كمية الفرشة التي توضع أسفل الحيوان حسب نوع الحيوان كما يلي:

في حالة فرشة القش: البقر : 4 كغ / يومياً، الغنم 0.5-1 كغ يومياً مع ملاحظة أن هذه الكميات تختلف حسب نوع القش - عمر الحيوان - نوع العليقة.

في حالة فرشاة من التراب: يوضع لكل ماشية كبيرة 10/1 م³ تراب مع ملاحظة أن هذه الكميات تمثل أقل كمية من المادة يمكنها امتصاص جميع الإفرازات السائلة. مع مراعاة عدم المغالاة أيضا في كمية الفرشة وخاصة إذا كانت من القش لأنها تمنع اندماج الكومة مما يزيد من النشاط الميكروبي ويؤدي بالتالي إلى تحول النتروجين الصالح إلى نتروجين عضوي أقل صلاحية. ويفضل دائما استخدام الأسمدة العضوية التي يستخدم فيها القش كفرشة، وذلك لأن الفرشة من تراب لها أضرار كثيرة . والأفضل من ذلك كله إنتاج السماد البلدي داخل المزرعة عن طريق الإنتاج الحيواني القائم على زراعة محاصيل الأعلاف وخاصة في الأراضي التي لا تصلح إلا لزراعة هذه المحاصيل سطحية الجذور.

8-3-5- التفاعلات الكيميائية التي تحدث في مكونات السماد عند تخمره:

توجد المواد الكربوهيدراتية في الجزء الصلب من السماد وتشمل: السيليلوز، الهيميسيليلوز، اللجنين، قليل من السكريات، النشويات ويتوقف معدل وطبيعة التحلل ونوع المواد الناتجة من التحلل أساساً على درجة التهوية.

8-3-5-1- التخمر Fermentation

أ- التخمر تحت الظروف الهوائية Fermentation under aerobic conditions

كما في حالة الكومات المفككة، ويحدث أن تبدأ المركبات الكربوهيدراتية في التحلل السريع إذا صاحب ذلك ارتفاع طفيف في درجة الحرارة وتوفر رطوبة مناسبة، وقد يبطؤ قليلا عند وجود كثير من البول المحتوي على اليوريا والتي تتحول إلى كربونات أمونيوم ويتم ما يلي:

- أكسدة بيولوجية للسيليلوز الذي يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وهذان يفقدان بالتطاير.
- تنطلق كمية كبيرة من الطاقة في صورة حرارة ترفع درجة حرارة السماد.
- تستعمل الميكروبات المسؤولة عن هذه العملية جزءاً من الطاقة مع جزء من كربون المواد الكربوهيدراتية والنتروجين في بناء أجسامها وبذلك يتحول النتروجين الذائب إلى نتروجين عضوي.

والمحصلة النهائية لهذه العملية هي: نقص في وزن المادة الجافة وتحول النتروجين الأمونيومي إلى نتروجين عضوي.

ب- التخمر تحت الظروف اللاهوائية Fermentation under anaerobic conditions

ويحدث هذا النوع من التخمر في الكومات المندمجة ويكون التخمر في هذه الحالة أبطأ من التخمر الهوائي وتتكون نواتج وسطية وأخرى نهائية هي:

النواتج الوسطية: حمض الخليك، حمض البيوتريك، حمض اللاكتيك. ولذا يسمى التخمر اللاهوائي تخمرا حامضيا وهذه الأحماض تتحد مع الأمونيا مما يقلل من فقدها. النواتج النهائية: غازات الميثان، ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين. والمحصلة النهائية لهذه العملية هي: ارتفاع طفيف في درجة الحرارة، ونقص قليل في وزن المادة الجافة، و المحافظة على الأمونيا من الفقد، وإنتاج غاز الميثان. ومن هنا يتضح أهمية عدم ترك الكومة مفككة فيتخللها الهواء.

8-3-5-2- التبدل Humification

ويقصد بالتبدل تحول المادة العضوية في السماد إلى صورة دبال في الأرض وذلك بأن تفقد الأجزاء الليلية في السماد والموجودة في القش والروث كل آثار التركيب النباتي الأصلي وتتحول إلى كتلة سوداء دبالية. والفرشة (عندما تكون من القش) وكذلك الروث يحتويان على نسبة كبيرة من اللجين. وفي نفس الوقت يمكن أن يتكون خلال عملية التحلل كميات كبيرة من بروتين الأحياء الدقيقة فإنه من المتوقع زيادة المادة المتبدلة في كومة السماد نتيجة اتحاد اللجين مع بروتين الأحياء الدقيقة. ويصاحب هذا التحول فقد في الكربون والأهدروجين في صورة مركبات غازية ويحدث نتيجة لذلك اختزال كبير في حجم السماد (بسبب الفقد في ثاني أكسيد الكربون والماء).

8-3-5-3- التغيرات في المكونات المعدنية:

- **الفوسفور P:** يفرز كل الفوسفور تقريبا في الروث ويوجد في صورة مركبات عضوية مثل الليثين، الفيتين، النيكلوبروتين، والفوسفوبروتين وغيرها، وأيضاً في صورة مركبات غير عضوية تشمل عدداً كبيراً من أملاح حمض الفوسفوريك. ويحدث أثناء التحلل تحول مركبات الفوسفور العضوية إلى مركبات غير عضوية وبذا يكون تأثير تخمر المركبات الفوسفاتية العضوية هو زيادة صلاحيته ومن النادر أن يحدث فقد للمركبات الفوسفاتية في السماد.
- **البوتاسيوم K:** يفرز جزء كبير من البوتاسيوم في البول، وعلى ذلك يكون في صورة ذائبة في الماء أو على الأقل في الصورة التي ستصبح سريعة الصلاحية للنبات. ويتحول البوتاسيوم أثناء التخمر إلى كربونات بوتاسيوم نتيجة توفر ثاني أكسيد الكربون الناتج من تحلل المادة العضوية وتقوم كربونات البوتاسيوم بمعادلة الأحماض الناتجة من تخمر المواد الكربوهيدراتية ولا يحدث فقد لهذه المركبات نتيجة عمليات التخمر التي تحدث في السماد.

8-3-5-4- التغيرات في المواد النتروجينية:

أ- **نتروجين البول:** يوجد النتروجين في البول أساساً على صورة يوريا، حمض هيبوريك، حمض يوريك. وتحدث لتلك المركبات عدة تغيرات ملخصها كما يلي:

1. **عملية النشدة:** ويقصد بها تحول اليوريا وحمض الهيبوريك وحمض اليوريك إلى نشادر

• **تحلل اليوريا:** يكون البول عند إفرازه معقماً. إلا أنه سرعان ما يتلوث بأنواع مختلفة من البكتريا المحللة لليوريا والتي توجد في هواء الإسطبل أو في الفرشة أو الروث وتؤدي إلى فقد النتروجين في صورة NH_3 . وعند تخمر اليوريا $CO(NH_2)_2$ فإنها تتحد بالماء لتكوين كربونات الأمونيوم $(NH_4)_2CO_3$ وهذه تتحد مع ثاني أكسيد الكربون مكونة بيكربونات الأمونيوم $2NH_4HCO_3$ وهذه المركبات تفقد غاز الأمونيا وثاني أكسيد الكربون لعدم ثباتها ويحدث تخمر اليوريا في الظروف المناسبة بسرعة ويمكن أن يتم كلية في ظرف 3-4 أيام.

• **تحلل حامض الهيبيوريك:** يتم التحلل بوجود الماء إلى نشادر وحامض أوكسي خليك

• **تحلل حمض اليوريك:** يتأكسد حمض اليوريك في وجود الماء إلى يوريا وثاني أكسيد كربون ثم تحلل اليوريا كما سبق شرحه.

2. **التأزت Nitrification:** ويقصد بعملية التأزت أكسدة الأمونيا بواسطة أكسجين الهواء الجوي وبكتريا خاصة إلى حامض نتروز ثم إلى حامض نتريك، وبما أن السماد يحتوي على كالسيوم وبوتاسيوم وخلافهم فتتكون أملاح النترات لهذه القواعد. ويجب أن يكون معلوماً أنه ليس الغرض من عمل سماد الإسطبل أن نجعل النشادر تتحول إلى نترات بل على العكس لا يصح بالمرّة أن نحاول أكسدة النشادر إلى نترات إذ يجب العمل على المحافظة على النشادر كما هي بقدر المستطاع.

3. **عكس التأزت Denitrification:** عملية التأزت تحدث هذه العملية بعد وجود النترات أو النتريت، وتتم في الشروط التالية: توفر ظروف غير هوائية، توفر مادة عضوية ذائبة، وينتج عن ذلك فقد للنتروجين في صورة أكاسيد نتروجينية أوننتروجين.

4. **الاختزال:** حيث ينفرد النتروجين ويتكون في نفس الوقت أكاسيد نتروجينية. ويحدث الاختزال بفعل ناتجات البكتريا وليس بفعل البكتريا نفسها.

5. **تفاعل اليوريا أو النشادر مع حمض النتروز:** ويتكون في الحالتين نتروجين على حالة انفراد N_2 .

6. **عملية تأكسد النشادر:** وفيها ينفرد النتروجين أيضاً بتأكسد النشادر بواسطة الأكسجين ويفقد.

7. **عملية تمثيل النتروجين:** عندما يكون النتروجين موجوداً في صورة أمونيا فإن هذا النتروجين يثبت على صورة بروتين في أجسام الكائنات الحية الدقيقة مع جزء من الكربون وهذا التثبيت له فائدة في حفظ النتروجين من الفقد بالتطاير أو التسرب في صورة أمونيا ولو أن هذه الفائدة يقابلها ضرر من ناحية أخرى حيث يصاحب هذه العملية نقص في صلاحية النتروجين في تغذية النبات ويلزم لعملية التمثيل هذه ظروف هوائية

ب- نتروجين الروث والفرشة

يتكون الجزء الصلب من السماد من مواد نباتية إما متحللة أو متحللة جزئياً بالإضافة إلى كميات قليلة من أنسجة حيوانية متحللة وخلايا بكتيرية ويوجد النتروجين في هذه المكونات أساساً في صورة بروتين الطعام غير المهضوم وفي أجسام البكتيريا في الإفرازات الصلبة. وكلا النوعين من النتروجين مقاوم للتحلل، إلا أن هناك بعض الميكروبات يمكنها أن تحلل هذه المركبات إلى درجة محدودة سواء كانت الظروف هوائية أو غير هوائية، وفي هذه العمليات يفقد بعض الكربون على صورة ثاني أكسيد كربون، بينما يتحول الجزء الآخر إلى أحماض عضوية. ويتحول بعض النتروجين إلى أمونيا والبعض الآخر يدخل في تكوين بروتين الأحياء الدقيقة وتكون المحصلة هي النقص في النتروجين العضوي. يلاحظ أن الرائحة الكريهة تتكون نتيجة تكوين بعض المواد مثل الإسكاتول - الأندول - كبريتيد الهدروجين، وكلها نواتج تخمر البروتين.

8-3-5-5- عمليات الفقد في السماد

هناك العديد من العمليات التي تسهم في فقد بعض العناصر السمدية والمادة العضوية من السماد. وأهم مصادر الفقد هي:

1- الفقد في الجزء السائل ويرجع ذلك إلى:

- عدم استعمال الفرشة أسفل الحيوان بالكمية الكافية.
- تسرب السائل خلال الثقوب والشقوق الموجودة بأرضية الإسطبل.
- تسرب السائل من أكوام السماد والذي يحدث دائماً عند تخمر السماد.

2- الفقد بالغسيل: يحدث الفقد في هذه الحالة إذا تعرض السماد للأمطار، ويكون الفقد كبيراً في حالة وضع السماد في كومات صغيرة مفككة، وتمثل المواد المفقودة في هذه الحالة المواد السهلة الذوبان وبالتالي السريعة الصلاحية، ولا يقتصر الفقد هنا على الجزء السائل بل يشمل أيضاً مركبات النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وكذا المادة العضوية الموجودة في الجزء الصلب من السماد والقابلة للذوبان في الماء، ويلاحظ أنه قد تتعرض كميات أكبر من المادة العضوية للذوبان والفقد بالغسيل إذا كانت الظروف قلوية حيث تفقد على صورة هيوامات صوديوم أو بوتاسيوم.

3- الفقد أثناء تداول السماد وتخزينه: تشير الدراسات إلى أن نصف النتروجين والبوتاس والمادة العضوية وتلث حمض الفوسفوريك على الأقل يفقد من سماد المزرعة حتى باتباع الوسائل الجيدة للعناية بالتخزين. ويزيد الفقد بالطبع في المزارع التي يترك فيها السماد معرضاً للجو لعدة أشهر، وغالباً ما يصل الفقد إلى نصف المكونات الغذائية في السماد أي ما يمثل أكثر من نصف قيمة المخصب، لأن العناصر المفقودة هي أكثر العناصر تيسراً للنبات وإذا أخذ الفقد في الغذاء أثناء الهضم بالاعتبار وكذلك الضائع من السماد عند تداوله وتخزينه فلا ينتظر أن

يزيد ما يعود إلى الأرض على 25% من المادة العضوية، 40% من النتروجين، 50% من خامس اكسيد الفوسفور، 45% من البوتاسيوم K_2O .

4- الفقد بالتطاير

المواد المعرضة للفقد بالتطاير هي النتروجين الموجود بالمادة العضوية. تتكون كميات كبيرة من الأمونيا في السماد سواء من اليوريا أو من المركبات النتروجينية الأخرى. ويزداد الفقد في الحالات الآتية:

- زيادة تركيز كربونات الأمونيوم.
- ارتفاع درجة الحرارة: وعادة لا يحدث فقد للأمونيا أو يحدث فقد قليل في درجات الحرارة العادية إذا كان رقم pH أقل من 7.
- الرياح: إذ تعمل على زيادة التبخير وبذا تقل قدرة الماء على مسك الأمونيا - ولذا نجد أنه يحدث فقد كبير في الأمونيا نتيجة حركة الرياح في الكومات المفككة وفي السماد المتحلل الذي يقلب باستمرار .
- يتعرض السماد عند تخمره لنقص كبير في محتوياته من المادة العضوية وهذا النقص يقع على كاهل محتويات السماد من المواد الكربوهيدراتية ويكون الفقد أسرع ما يمكن تحت الظروف الهوائية وإن أحد المركبات النهائية لهذه العملية هو ثاني أكسيد الكربون الذي يفقد معظمه من السماد بالتطاير ويكون النقص في الوزن أو الحجم المصاحب للتخمر دليلاً على فقد المادة العضوية.

8-3-5-6- طرق حفظ النتروجين من الفقد:

فصل البول عن الروث: وذلك عن طريق عمل جور خاصة أو خزان غير قابل للتآكل لجمع البول على حدة، كما يعمل أيضا بطرق خاصة على حفظ الأمونيا من الضياع من البول المنفصل، فيراعى أن تكون أرضية الإسطبل والجورة مبطنة بالإسمنت حتى تكون أرضية الإسطبل وجدران الجورة غير منفذة للسوائل. ولكي يمكن جمع المواد السائلة (البول):

يعمل مرقد الحيوان في الاسطبل ضيقا بحيث ينزل البول مباشرة في مجرى صغير يوصل إلى الجورة مباشرة. ويلاحظ عمل المجرى خلف البقر أما للثيران فيعمل المجرى في الوسط ويغطي بشبكة قوية من الحديد كما يجب منع تسرب الهواء إلى البول بقدر الإمكان وذلك عن طريق ما يلي:

- أ- إضافة زيت رخيص للسائل فيطفو على سطحه ويمنع تسرب الهواء إليه.
 - ب - وضع ألواح خشبية على سطح الجورة ولكن هذه الطريقة لا تمنع وصول الهواء تماما.
 - ج- أن تضاف مواد كيميائية لمنع فقد النشادر على أساس أنها تؤدي الأغراض الآتية:
- منع التخمر البيولوجي لليوريا وعدم تحولها إلى كربونات الأمونيوم.

- تحول كربونات الأمونيوم إذا تكونت إلى ملح من أملاح الأمونيوم غير القابلة للتطاير .

ولكن يلاحظ أن هذه الطريقة ليست اقتصادية علاوة على أنها ليست سهلة في إجرائها، ويتضح ذلك إذا علمنا أنهم كانوا يستعملون حامض الكبريتيك المركز والسوبر فوسفات والجبس إلا أن هذه المواد لا تفي بالغرض المطلوب تماما ويحسن عدم استعمالها. والمهم أن يمنع الهواء بقدر الإمكان من الوصول إلى البول. ويتبع أيضا لتقليل الفقد في النشادر إضافة كمية من السماد البلدي القديم على أرضية الإسطبل، وهذا ينتج غاز ثاني أكسيد الكربون فيقلل من تحلل كربونات الأمونيوم.

8-3-7- طرق تحضير وتخزين السماد البلدي

1- تخزين وتحضير السماد داخل الحظيرة: وهي إحدى الطرق الشائعة الاستخدام في حفظ وتخزين السماد وتسمى طريقة سماد الإسطبل الدائم أو العميق وتتم وفق التالي:
توضع الفرشة تحت الحيوانات يوميا بكمية تناسب نوع الحيوان وعمره بحيث تكفي لتشرب بول وروث الحيوان. وتستمر عملية الإضافة اليومية فترة تتراوح 3-6 أشهر. فيرتفع سطح السماد تحت الحيوانات إلى حوالي 1/2 - 3/4 م. بعدها يقطع ويؤخذ وتستعمل مباشرة في الحقل ويجب ألا تكون الفرشة أكبر من اللازم حتى لا يبقى فيها جزء جاف، كذلك يجب أن يقطع القش (إذا استعمل كفرشة) تقطيعاً صغيراً (10-20) سم. لتزداد قدرته على لامتصاص لتتوزع السوائل فيه بانتظام فيكون التخمر كاملاً.

يوفر هذا السماد على المزارع عمل كومة وما يتبع ذلك من مجهود في إخراج السماد يوميا وملاحظته والعناية به وقيمة هذا السماد عالية لأن المواشي ترطبه ببولها وترقد عليه فتكسبه فيمنع عنه الهواء وبذا لا تحدث عمليات التآزت أو فقد النتروجين بكمية كبيرة. ويشترط فيه ألا تترك المواشي الإسطبل مده طويلة وإلا تعرض للجفاف ولفقد كبير في النتروجين. وتصلح هذه الطريقة للحيوانات الصغيرة وللثيران ولا تصلح لحيوانات اللبن أو الخيول. ومن الممكن في هذا النظام أيضاً عمل حفرة في أحد أطراف الحظيرة بعمق واحد متر أرضيتها غير نفوذة للسوائل وذلك لنقل السوائل وجزء من المواد الصلبة إليها.

2- النقل المباشر إلى الحقل:

عملية نقل السماد الطازج إلى الحقل يوميا طريقة جيدة لتلافي فقد العناصر السمادية ولا سيما إذا وزع وقلب في الأرض مباشرة، إذا تقوم التربة بادمصاص العناصر المعدنية الناتجة عن عملية التخمر، كما أن ترك السماد على سطح في المناطق الجافة ونصف الجافة يؤدي إلى جفاف المادة العضوية وتوقف عمليات التخمر.

3- تحضير السماد وحفظه في أكوام خارج الحظيرة

الغرض من عمل الكومة هو إتمام عملية التخمر والتحلل لمكونات السماد وتخزينه لحين الحاجة الى استخدامه. وفيما يلي الخطوات المتبعة في عمل الكومة:

1. اختيار الموقع المناسب لعمل الكومة بحيث يكون قريباً من موقع الحظائر وأن تكون الأرض غير منفذة للسوائل.

2. ينقل السماد من الحظائر إلى الموقع ويوضع في أكوام بعرض 2م وطول 3م وارتفاع قد يصل حتى 7م. وتكرر الكومات بنفس الطريقة عند زيادة كمية السماد الناتج من الحظيرة أو الحظائر.

3. يتم حماية الكومة من حرارة الشمس وكذلك الرياح والأمطار بتغطيتها بأكياس من الخيش أو القش أو بعض الأتربة مع ترطيبها بالماء من حين الى اخر وخاصة في الأشهر الحارة.

4. أثناء عمل الكومة تضاف مواد كالجبس الزراعي وخلطه مع مكونات الكومة لمنع تكوين الأمونيا وتطايرها.

5. يجب حفظ السماد مبعلاً وذلك لأهمية الماء في عمليات التحلل البيولوجي.

6. بعد إتمام عمليات التخمر بالكومة السمادية يجب خفض درجة الحرارة أثناء عملية التخزين لان الحرارة العالية تقلل من قيمته السمادية.

وبعد انتهاء عملية التخمر يصبح لون السماد بني غامق وتختفي مكونات الفرشة التي وضعت تحت الحيوانات، كما يكون السماد الناتج هشاً يمكن طحنه بسهولة وعند تحليل السماد كيميائياً فيجب أن لا تقل نسبة الأزوت عن 3% ونسبة خامس أكسيد الفوسفور عن 0.1% وأن تكون نسبة C/N في حدود 25 : 1 وبهذه المواصفات يكون السماد جيداً ويمكن استعماله بدون أضرار على الأرض أو النبات.

4- تخزين السماد وتحضيره داخل الحظائر المكشوفة:

تربى الحيوانات في هذا النظام داخل حظائر غير مسقوفة، حيث تترك الحيوانات تسير بحرية فوق السماد لتضغطه في طبقة متراسة، ولا يضاف القش في النظام إلا بكمية قليلة، وهو سماد جيد النوعية إلا أن فرص فقد المواد الأزوتية بالرشح والتطاير كبيرة.

8-3-7- استخدام السماد البلدي

للحصول على أكبر عائد من استخدام السماد، يجب مراعاة ما يأتي:

1- إضافة السماد بطريقة مناسبة وعلى عمق مناسب في التربة:

أ- أثبتت التجارب أن مكونات السماد البلدي وخاصة الأمونيا تتعرض للتطاير عند نثره بالحقل ما لم يتم حرثه أو تغطيته مباشرة، ومن هنا فإنه يجب استخدام السماد بعد نقله مباشرة من كومته ودفنه بسرعة في الأرض.

ب- قد يتم دفن السماد في شكل قنوات بين قنوات الري أو في حلقات حول جذوع الأشجار في حدائق البساتين فيكون في متناول جذور الأشجار على اعتبار أن الجذور تمتد عادة حتى نهاية ظل الشجرة.

ت- ينصح البعض بخلط السماد بجزء من تراب الجورة التي ستزرع فيها الشجرة مع استبعاد جزء من تراب الجورة في مقابل كمية السماد المستخدمة.

ث- يتوقف العمق الذي يجب أن يصل إليه السماد في الأرض على: المناخ ونوع السماد. وعموماً، يجب أن يضاف السماد على عمق مناسب عند زراعة المحاصيل الحقلية بحيث يتخلل الهواء الطبقة التي فيها السماد، وغالبا ما تكون تلك الطبقة هي الطبقة المستخرثة، وفي نفس الوقت يراعى تحاشي عملية الفقد بالجفاف. كما أن العمق الذي يطمر فيه السماد البلدي في التربة يتوقف على نوع التربة، حيث أنه في التربة الخفيفة جيدة التهوية يطمر السماد على عمق أكثر منه في التربة الثقيلة.

2- **موعد الإضافة:** يضاف سماد الحظائر إلى التربة الخفيفة في فصل الربيع إذ يكون جاهزاً لتحرير العناصر. كما أن السماد غير الناضج يضاف إلى التربة الثقيلة في فصل الخريف، ومما يؤخذ على التسميد في فصل الخريف أن الشتاء القادم يعمل على تشجيع عمليات النترجة والغسل، وفي كل الأحوال يجب طمر السماد مباشرة في التربة لمنع فقد الأمونيا ولا سيما في المناطق كثيرة الرياح والمشمسة. ويطمر السماد في التربة بمحاريث قرصية بعد نثره. ويضاف السماد البلدي أثناء تحضير الأرض للزراعة قبل الحرث حتى تتحول المواد العضوية إلى الصورة الصالحة لامتصاص النبات في الوقت الذي يكون فيه معدل نمو النبات كبيراً. أما إذا استخدم البول بمفرده فيضاف قبل فترة النمو الأعظمي للنبات.

3- **نوع المحاصيل:** إن إضافة السماد المتخمر جزيئاً أو طازجاً يفيد المحاصيل التي تحتاج إلى تربة مفككة مثل البطاط والملفوف. ولا ينصح باستخدام الأسمدة العضوية في تسميد التربة التي ستزرع بالمحاصيل النجيلية (قمح وشعير) عدا الشوفان ونجيليات المراعي الدائمة أو المؤقتة. تحتاج التربة الخفيفة والكلسية والتربة شديدة النفاذية إلى كميات كبيرة من المادة العضوية لتحسين خواصها الفيزيائية والكيميائية والحيوية وهنا عادة يستخدم السماد الطازج. يضاف السماد عند زراعة النباتات الجذرية على عمق أكبر مما هو عليه عند زراعة المحاصيل الأخرى. وكذلك من المحاصيل التي تستجيب للتسميد بالسماد

البلدي نجد: الذرة - محاصيل المراعي غير البقولية - الموز - معظم محاصيل الفاكهة - محاصيل الخضر خاصة البطيخ والشمام. ويستحسن دائماً إضافة كميات كبيرة من السماد البلدي في حالة توافره للخضر والبساتين والمحاصيل التي تزرع في البيوت البلاستيكية. وفي الواقع إذا ما أحكم تداول هذا السماد فإنه يصبح من أحسن المخصبات في الزراعة الكثيفة ولا يرجع ذلك فقط إلى مكونات السماد من العناصر الغذائية بل يرجع أيضاً إلى محتوياته من المادة العضوية السهلة التحلل والتي تضاف للأرض في نفس الوقت فتحسن من خواصها الطبيعية والكيميائية والحيوية وبالتالي تزيد من قدرتها الإنتاجية. وذلك إذا روعيت الاحتياطات التالية بدقة:

- 1- أن يكون السماد تام النضج بمعنى أن يكون متحللاً.
 - 2- أن يكون خالياً من بذور الحشائش بقدر الإمكان حتى لا تنتشر هذه الحشائش في الأرض المسمدة به وأيضاً خالياً من النيماطودا.
 - 3- أن يكون التراب المستخدم كفرشة خالياً من الأملاح الضارة.
- يحتاج الهكتار إلى نحو 20-30 طناً من السماد البلدي، تؤدي في سنة الإضافة إلى زيادة غلة المزروعات على النحو التالي (طن/هـ): الحبوب 0.6-0.7، البطاطا 6-7، الدرنات الجذرية ومحاصيل الأعلاف 15-20، علماً أن الاستعمال السليم للسماد البلدي يعطي مردوداً عالياً في جميع المناطق الزراعية ولاسيما الفقيرة بالمادة العضوية، ويستمر تأثيره عدة سنوات.

8-3-8- تركيب السماد البلدي

يحتوي السماد البلدي التام النضج على: 8% مادة عضوية، 0.3% N، 0.4% P_2O_5 ، 1.2% K_2O . وعلى ذلك فإن (1م³) المتر المكعب من السماد والذي يزن 800 كغ يحتوي على ما يلي: 64 كغ مادة عضوية، 2.4 كغ نتروجين، 3.2 كغ P_2O_5 ، و9.6 كغ K_2O . وتجدر الإشارة هنا إلى أن بعض العناصر السامة في السماد البلدي توجد غالباً في صورة غير قابلة للذوبان مباشرة في الماء، ومعنى ذلك أنها لن تصبح صالحة لتغذية النبات إلا بعد تحولها إلى الصورة المعدنية. وبذا يتخلف بالتربة في حالة التسميد بالسماد البلدي كميات مناسبة من النتروجين والفوسفور و البوتاسيوم. وهذا يؤدي إلى ما يعرف بالأثر المتبقي للسماد. كما أن الإفرازات الصلبة والسائلة غير متماثلة من حيث تركيبها وقيمتها السامة، ففي الإفرازات السائلة يبلغ محتوى الآزوت (0.4-1.9%) والبوتاسيوم (0.5-2.3%) وهي أكثر مما هي في الروث الذي يبلغ (0.3-0.6% N) (K_2O 0.1-0.3%)، أما الفوسفور فهو على النقيض من ذلك، إذ يكون تركيزه أكبر في المفرزات الصلبة (0.14-0.17%) مقارنة بـ (0.07-0.1%) في البول.

يدخل الآزوت والفوسفور في تركيب المواد العضوية للروث ويتحولان إلى حالة قابلة للامتصاص من المزروعات بعد عملية تمعدنها mineralization، أما في البول فإن عناصر التغذية تكون دائبة لذا تكون قابلة للامتصاص مباشرة من قبل المزروعات.

تؤثر كمية الأعلاف ونوعيتها في تركيب الروث والبول ونسبتهما، فعند استعمال الأعلاف الطازجة عالية الرطوبة تزداد نسبة البول، كما أن زيادة الهضم تقلل من كمية المادة الجافة في الرجيع، وعند زيادة كمية الأعلاف المركزة تزداد كمية الآزوت والفوسفور في السماد البلدي. ويذهب من الأعلاف المستهلكة إلى السماد البلدي وسطياً نحو 40% من المادة العضوية و50% من الآزوت و80% من الفسفور و95% من البوتاسيوم. علماً أن كمية المواد الغذائية في السماد البلدي تعتمد على نوع الحيوان، إذ يحتوي دمن الخيول والأغنام على نسبة ماء أقل ونسبة مادة عضوية أعلى وكذلك الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم قياساً بدمن الأبقار.

لنوع الفرشة وتركيبها دور مهم في زيادة حجم السماد البلدي وتحسين نوعيته. إذ تعمل الفرشة على تحسين خصائصه وحجز البول وامتصاص النشادر الناجم عن تحلل البول فتقلل من فقد الآزوت.

يستعمل قش محاصيل الحبوب أو التبن أو الخث (فرشات) في الحظائر، وقد تستعمل نشارة الخشب في نطاق ضيق. ويحتاج رأس الحيوانات الواحد من فرشة القش: 4-6 كغ للبقر، و2-4 كغ للخيول، و0.5-1.2 كغ للأغنام. وعند زيادة كمية الفرشة يزداد تراكم السماد البلدي ويقل فقدان الآزوت بـ (3-4) مرات لدى خزنه.

هذا ويفضل الخث على القش في حال وجوده لأنه أغنى بالآزوت بـ (3-4) مرات وأقدر على امتصاص السوائل والأمونيا (النشادر) (الجدول 8-1).

جدول (8-1) متوسط تركيب السماد الجيد والمحضر باستعمال القش كفرشة

الحيوان	الماء %	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O
البقر	77	0.42	0.26	0.40
الخيول	71	0.58	0.28	0.53
الغنم	64	0.83	0.23	0.67

المصدر: عوض الله، 2003 (أسمدة وتسميد)

وعادة ما يخلط سماد الحيوانات المختلفة في الكومة وبذلك يختلف تركيب السماد الناتج ويكون تركيب السماد الجيد منه كما يلي بالتقريب:

الماء (75-77%)، N (0.5-0.7%)، P₂O₅ (0.23-0.35%)، K₂O (0.6-0.8%). أما متوسط تركيب السماد المحضر باستعمال التراب كفرشة فيكون كما يلي: N% 0.3، P₂O₅ % 0.4، K₂O % 12.

8-3-9- مقارنة السماد الطازج بالسماد الناضج

يزداد الإقبال على السماد الناضج (المتخمّر) عن السماد الطازج وهذا التفضيل صحيح في ضوء المقارنة التالية:

1. السماد الناضج أغنى في مكوناته من العناصر الغذائية عن السماد الطازج وذلك على حساب النقص الكبير في الوزن الجاف.
2. يحدث انخفاض في نسبة C/N في السماد الناضج وهذا يؤدي إلى سرعة عمليات المعدنة عند إضافة السماد للأرض.
3. تزداد نسبة اللجنين في السماد الناضج ونقص في نسبة السيليلوز والهيميسيليلوز وهذا يقلل من النشاط الميكروبي في السماد الناضج.
4. السماد الناضج أحسن في خواصه الطبيعية وهذه ظاهرة ذات أهمية في استخدام السماد.
5. تزيد نسبة الفوسفور غير العضوي عند حسابها كنسبة مئوية من الفوسفور الكلي.
6. تؤدي إضافة السماد الطازج قبل الزراعة مباشرة إلى خفض مؤقت في نمو المحاصيل في أطوارها الأولى وذلك لوفرة المواد الكربوهيدراتية السهلة التحلل والموجودة أساساً في الفرشة إذ تكون مصدراً للغذاء الكربوني للأحياء الدقيقة وهذه تتنافس مع المحاصيل على النتريت والأمونيا الموجودة في الأرض مما قد يؤدي إلى ظهور أعراض نقص مؤقت للنيتروجين على النباتات.

8-3-10- الأمور الواجب مراعاتها عند تحضير واستخدام السماد البلدي

- 1- العناصر الغذائية الموجودة في البول أكثر صلاحية لامتصاص النبات عن الموجودة في الروث لهذا يحتاج السماد البلدي إلى تحلل (تحضير قبل استخدام) وإضافته قبل الزراعة وذلك لزيادة صلاحية العناصر بالروث والفرشة.
- 2- أثناء تخزين السماد وإضافته قبل الزراعة تحدث به مجموعة عمليات وهي التحلل الميكروبي لمكونات السماد، النشدة Ammonification، والتآزت Nitrification، وعكس التآزت.
- 3- لتقليل فقد الأمونيا يجب تغطية السماد وكبسه مع إضافة الماء لتحول الأمونيا NH_3^+ إلى النشادر NH_4^+ مع الحفظ في مكان مظلل بعيد عن أشعة الشمس وتقليل التقليب ويمكن خلط الجبس أو السوبر فوسفات (لاحتوائه على الجبس) لتكوين كربونات الأمونيوم.
- 4- لتحضير السماد البلدي يجب إتباع الآتي: أن تكون أرضية الحظائر غير منفذة للسوائل (أسمنت أو مدكوكة)، وإضافة فرشة تكفي لامتصاص البول وسوائل الروث فقد تكون تراب ($10/3$ م³ حيوانات) أو المخلفات النباتية (5 كغ/حيوان) مع ملاحظة جفاف وعدم ملوحة التربة وأن تكون المخلفات صغيرة ومتجانسة، وبقاء السماد البلدي أطول فترة (في حالة

الخيول وحيوانات اللين يرفع يوميا) لتجذب تخمره وتكوين النشادر وبالتالي تطايرها، وأن تكون أسقف الحظائر مرتفعة والأرض منخفضة عن المدواد أو تكون المدواد متحركة ليناسب ارتفاعها الحيوانات.

5- في حالة تجميع البول في أبار لابد من وضع طبقة من الزيت على السطح مع قفل الفوهة لمنع التهوية وتطاير الأمونيا(النشادر).

6- من أسس تخزين السماد (لاستكمال نضجه أو لاستعماله عند الحاجة) أن يكون في أكوام ارتفاعها لا يقل عن 2 متر مع الدك الجيد (الكبس)، والترطيب بالماء من فترة لأخرى والقرب من الحظائر ويتم حمايته من التعرض لأشعة الشمس والرياح والأمطار، والتغطية بالتراب أو بأي غطاء (خيش أو قش).

7- فرشة المخلفات النباتية أفضل من التراب لتحسينها التربة من خلال إضافتها للمادة العضوية لهذه التربة.

8- المعدل المضاف للتربة يتراوح بين 20-40 طن/هـ تبعاً لحاجة التربة.

9- معدل استخدام العناصر الغذائية Nutrient utilization rate في حالة السماد البلدي يصل إلى 20-30% من أجل النتروجين في السنة الأولى (قد يصل إلى 50% في السنة الأولى من الزراعة) وفي حالة P,K معدل الاستخدام يماثل الأسمدة المعدنية (15-20% للفوسفور و 50-60% لأجل البوتاسيوم).

10- كثافة السماد البلدي 0.6-0.8 غ/سم³ أما السبلة 0.2-0.3 غ/سم³

11- في التربة الجيدة يفضل إضافة السماد البلدي مع الكبريت لخفض درجة تفاعل التربة، وزيادة صلاحية العناصر المختلفة عدا الموليبدنوم.

12- توجد أسمدة عضوية أخرى مثل السبلة وسماد الدواجن وهي أغنى من السماد البلدي في محتواها من العناصر الغذائية كما أن نسبة C/N منخفضة تصل إلى 1-12 وهذه مصادر هامة في التسميد العضوي.

13- أن يكون السماد مندمجا ومحتويا على كمية مناسبة من الرطوبة بحيث إذا مسك السماد باليد وضغط عليه لا يتساقط منه أي سائل لكنه يترك راحة اليد مبللة.

14- لا تنقل الكومة من مكانها إلا عند الاستعمال. وحماية الكومة من الظروف الجوية.

8-4-1- سماد زرق (مخلفات) الدواجن Poultry manure

تنتشر مزارع الدواجن الخاصة بالتسمين وإنتاج البيض في مناطق مختلفة حيث تبلغ سعة المزرعة الواحدة من خمسة آلاف حتى 450 ألف طائر في الدورة الواحدة وفي مزارع التسمين تربي أكثر من دورة خلال العام الواحد بالإضافة إلى الطيور التي تربي في المنازل، وفي المتوسط يقدر ما يخرج الطائر بحوالي 5% من وزنه الحي وفي المتوسط فإن الطائر بمتوسط وزن 2 كغ يفرز حوالي 0.1 كغ مخلفات يومية بها حوالي 25% مادة جافة أي تقدر كميات المخلفات سنوياً بحوالي مليون طن مادة طازجة سنوياً أو 1.5 مليون طن مادة جافة ومخلفات الدواجن الناتجة من مزارع التسمين حيث تستخدم تبن القمح أو الفول أو نشارة الخشب كفرشة تقوم بامتصاص السوائل والإفرازات مع تجميع خليط المخلفات مع الفرشة كل شهرين تقريباً بعد نهاية كل دورة حيث تكون صالحة للاستخدام، ويتميز سماد دواجن التسمين بجفافه (حوالي 23-25 رطوبة)، وارتفاع محتواه من العناصر الغذائية والمادة العضوية، ويجب أن يكون السماد العضوي الناتج من مزارع الدواجن الخاصة بالتسمين أو البياض محتوياً على بعض النسب من النتروجين الكلي والمادة العضوية والرطوبة كما في جدول (8-2).

جدول (8-2): المواصفات التي يجب أن يكون عليها سماد الدواجن.

النسبة أو الوزن	التسمين	البياض
	%	
نسبة النتروجين الكلي	2.5-2	3.5-3
نسبة المادة العضوية	60-50	75-70
نسبة الرطوبة	25-20	15-6
وزن المتر المكعب	250 كغ	575 كغ

المصدر: حمادة ، 2010 (البيئة والزراعة العضوية في العالم العربي)

لقد عرفت القيمة السمادية لمخلفات الدواجن منذ مئات السنين، و تحتوي مخلفات الدواجن على العناصر السمادية بكميات تفوق كثيراً ما هو موجود فعلاً في الأسمدة العضوية الأخرى التي تحضر في المزارع كسماد الإسطبل والسماد العضوي الصناعي.

تتوقف صلاحية العناصر السمادية في هذه المخلفات على الصورة التي توجد عليها هذه العناصر، فمثلاً في حالة الإفرازات الطازجة يكون النتروجين والفوسفور على صورة عضوية وغير عضوية. أما في حالة جفاف هذه المخلفات فإن كثيراً من النتروجين غير العضوي يمكن أن يفقد، ويلاحظ أن الأمونيا تتكون بسرعة خلال الأيام الأولى من إضافة السماد إلى الأرض الدافئة الرطبة، وتبلغ أقصاها في الأسبوعين الأولين من إضافة السماد إلى الأرض. أما النتترات

فإنها تكون بطيئة التكوين في الأسبوع الأول ثم تزداد تدريجياً حتى تصل إلى أعلى مستوى في نهاية الأسبوع الرابع.

وقد دلت البحوث الحديثة على أن 30-60% من النتروجين الكلي تصبح سهلة المنال للنبات خلال ستة أسابيع . ويوجد معظم الفوسفور على حالة عضوية، وتتوقف درجة صلاحيته للنبات على درجة تحلله وتتوقف أهمية السماد على كميته، فمثلاً حيث توجد أبراج الحمام الكبيرة يكون لزبل الحمام أهمية تجارية. وكذلك الحال في مزارع الدواجن الكبيرة التي تضم آلاف من هذه الدواجن.

8-4-2- حفظ مخلفات الطيور وتصنيع الأسمدة منها

1- يؤخذ سماد مخلفات الحمام بحالته الطبيعية ويسمد به مباشرة، عادة لا يخلط به قش. هذه الطريقة تعرض جزءاً من نتروجين زبل الحمام للفقْد. ويمكن تحسين طريقة حفظه بأخذه على فترات متقاربة (بدلاً من تركه فترة طويلة في الأبراج) وتعريضه لهواء لافح لتجفيفه بسرعة فتتفك التفاعلات الكيميائية عندما تصل درجة رطوبته إلى الدرجة المناسبة.

2- تجفف مخلفات الدواجن بهواء ساخن لتجف بسرعة إلا أن هذه الطريقة تحتاج إلى معدات خاصة، هذه الطريقة تؤدي إلى خفض نسبة الرطوبة إلى 25% بدلاً من 70 أو 75% في المخلفات الطازجة.

3- خلط المخلفات بالقش في الحظيرة أي بإضافة الفرشة تحت الطيور بنسبة 1 قش : 5 مخلفات، لم تؤدي هذه الطريقة إلى خفض نسبة الرطوبة في السماد الناتج وذلك لتساقط كميات من ماء الشرب على القش في الحظيرة.

4- خلط المخلفات بسماد سوبر فوسفات الكالسيوم ويحتاج الطن من المخلفات إلى 50 كغ من السماد

8-4-3- المحاصيل الأكثر استجابة للتسميد بمخلفات الدواجن

يكثر استخدام السماد للنباتات السريعة النمو كالبطيخ والشمام وأنواع المقات وكذا الفراولة وبعض الخضر والبساتين. ويجب توخي الحذر عند التسميد بزبل الحمام لأنه سماد حار (به نسبة مرتفعة من العناصر السمادية) وأن زيادة الكمية المضافة عن اللازم قد تؤدي إلى إضرار بالمحصول المسمد به.

8-4-4- القيمة السمادية لسماد الدواجن

يعد زرق الدواجن والطيور poultry dung من أجود أنواع الأسمدة العضوية نظراً لاحتوائه عموماً على تراكيز عالية من العناصر الغذائية قياساً بغيره من الأسمدة العضوية الأخرى كدمن

الماشية، علماً أن تلك التراكيز تتفاوت بين أنواع الدواجن والطيور المختلفة. ويبين الجدول (8-3) أهم المكونات الكيميائية في زرق بعض أنواع الدواجن.

الجدول (8-3) التركيب الكيميائي لزرق بعض أنواع الدواجن كنسبة مئوية من الوزن الرطب

المكونات (%)	الدجاج	البط	الإوز	الحمام
مادة عضوية	21 - 26	40	14	31 - 32
N	1.7 - 2.6	0,7	0.6	1.2 - 2.4
P ₂ O ₅	1.1 - 6.7	1 - 2.2	0.9	3.0 - 4.2
K ₂ O	2.0	0.4	1 - 4	2.0 - 3.2
ماء	65	53	82	62

المصدر: أبو نقطة و الشاطر، 2011 (خصوبة التربة والتسميد). الموسوعة العلمية

يتضح من الجدول (8-3) التباين في تركيب زرق مختلف أنواع الدواجن وقيمته التسميدية؛ فزرق البط أغناها بالمادة العضوية والمادة الجافة، وزرق الحمام أغناها بالفوسفور والبوتاسيوم، ولهذا فهو يعد الأفضل من بين مخلفات الدواجن المذكورة، كما يلاحظ أن زرق الإوز أقلها احتواء على المادة العضوية والجافة نظراً لارتفاع نسبة الماء فيه، علماً أن تركيب الزرق لنوع الطير الواحد يختلف تبعاً لنوعية العلف.

ونظراً لوجود نسبة عالية من الآزوت بحالة غاز نشادر NH₃ سهل الانطلاق والضياع فإنه يفضل إضافة كمية من السوبرفوسفات إلى هذا الزرق لربط النشادر بصورة فوسفات الأمونيوم الأكثر ثباتاً قياساً بالنشادر، وقد توضع عادةً فرشاة أو جفوف من نشارة الخشب أو غيرها كما هو الحال في حظائر الماشية. الزرق سريع التأثير، كما أن الاستفادة منه جيدة، وبالتالي يستعمل في أثناء موسم نمو الخضراوات وغيرها من المزروعات، وليس قبلها كما هو الحال في أسمدة الحظائر، كما أن مقننات هذه الأسمدة تقدر ببضع مئات من الكيلوغرامات للهكتار الواحد في حين تضاف عشرات الأطنان للهكتار من أسمدة الحظائر. هذا و يبلغ مقدار المخلفات السنوية السمادية نحو 5 كغ للدجاجة و 8 كغ للبطة و 19 كغ للإوزة و 2,5 كغ للحمامة.

بينت التجارب التي أجريت لدراسة القيمة السمادية لسماذ الدواجن الطازج: (29 % مادة جافة، 1.4 % N ، 1.2 % P₂O₅ ، 0.6 % K₂O) كمصدر للنترجين أن كفاءته السمادية للنجيليات تساوى حوالى 50 % من فاعلية نترجين الأسمدة الصناعية، إلا أنه باستمرار التجارب اتضح أن لسماذ الدواجن أثرًا متبقياً كبيراً، أما بالنسبة للسماذ الجاف: (86 % مادة جافة، 3.6 % N ، 3.6 % P₂O₅ ، 1.8 % K₂O) فقد وجد أن تأثير نترجين السماذ كان كما يلي مقارنة مع نترجين سلفات النشادر: 53% بالنسبة للبطاطا، 100% للشوندر السكري.

8-6- الأسمدة العضوية ذات المنشأ النباتي:

8-5-1- الأسمدة الخضراء **Green manures**: هي بعض النباتات البقولية (القرنية)

التي تزرع ثم تقلب كتلتها الخضراء في التربة لتزويدها بالمواد العضوية والآزوت. وتضم الأسمدة الخضراء نباتات الترمس ورجل الطير والبرسيم والفصة والبيقية وما إليها.

تستطيع النباتات البقولية تثبيت الآزوت الجوي بمساعدة بكتيريا العقد الجذرية التي تنمو على جذورها، وأن تزود التربة بمركبات الآزوت. فعند زراعة هذه النباتات ينتج الهكتار منها نحو 40 - 50 طناً من الكتلة الخضراء التي تحتوي على 150 - 200 كغ من الآزوت. واعتماداً على كمية الآزوت فإن طناً واحداً من الأسمدة الخضراء يعادل طناً واحداً من الدمن (الجدول 8-4).

الجدول (8-4): تركيب الدمن والأسمدة الخضراء

كمية العناصر المغذية، كغ لكل طن واحد				المادة
CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	
7	5.5	2.4	5	دمن مخلوط
4.7	1.7	1	4.5	الترمس الأخضر
9.7	1.9	0.5	7.7	البرسيم الأخضر

المصدر: أبو نقطة و الشاطر، 2011 (خصوبة التربة والتسميد). الموسوعة العلمية

بعد قلب المزرعات المذكورة وتمعدن كتلتها الخضراء في التربة يتحول آزوت المواد العضوية إلى صور معدنية تمتصه المزرعات، علماً بأن درجة تمعدن آزوت الأسمدة الخضراء في السنة الأولى تكون أكثر بنحو ضعفي آزوت الدمن. وكذلك فإن الأسمدة الخضراء البقولية ذات الجهاز الجذري المتفرع والمتعمق في التربة تسحب العناصر المغذية من الطبقات العميقة للتربة، وكذلك تمتص الفسفور والمواد المغذية الأخرى من المركبات صعبة الذوبان. ولهذا عند تحلل الكتلة النباتية المقلوقة في التربة فإن طبقة الحرثاء للتربة لا تغنى بالمواد العضوية وبمركبات الآزوت القابلة للامتصاص فحسب وإنما بالفسفور والبوتاسيوم والكلسيوم وغيرها من عناصر التغذية أيضاً. تزداد كمية الدبال في التربة تحت تأثير الأسمدة الخضراء وتشتد العمليات الميكروبيولوجية وتزداد السعة المائية والامتزازية للتربة وتتحسن نوعية هذه الأخيرة. ونتيجة لكل ذلك تزداد بدرجة كبيرة خصوبة التربة، كما تزداد غلال المحاصيل اللاحقة.

على المزارع أن يضع في الاعتبار النقاط الهامة التالية حتى يحدد الهدف من استخدامه لهذا النوع من التسميد العضوي:

1- المناطق التي تفنقر إلى الأسمدة العضوية أو التي ترتفع بها تكاليف نقلها يفضل استخدام الأسمدة الخضراء لتحسين خواص التربة خاصة بالأرضي الحديثة الاستصلاح.

- 2- يفضل أن تكون الأسمدة الخضراء من نباتات بقولية مثل البرسيم، والفل، واللوبياء، والترمس، والفل السوداني حيث أن هذه النباتات لها القدرة على تثبيت النتروجين والتي يستفيد منه نباتات المحصول التالي بعد التحلل وكذلك لانخفاض نسبة C/N بها مما يسهل ويسرع تحللها بالتربة ويسرع من توفير محتواها من العناصر الغذائية في صورة صالحة وفي فترة قصيرة حتى يستطيع أن يستفيد منها المحصول التالي في مرحلة أقصى احتياج لهذه العناصر.
- 3- يمكن استخدام محاصيل أخرى غير بقولية مثل محاصيل الحبوب أو الزيوت ولكن يشترط أن يكون نموها سريع وكبير حتى يمكن إضافة العناصر الغذائية بغزارة كما يمكن استخدام أوراق، الشوندر السكري في حالة عدم استخدامه كعلف للحيوانات.
- 4- في حالة استخدام نباتات المراحل الأولى من النمو يقل السليلوز واللجنين بهذه النباتات وبالتالي يقل الدبال الناتج بعد تحلله وهو المسؤول عن خواص التربة الطبيعية والكيميائية كما أن هذه النباتات تزيد من النشاط الميكروبي بالتربة مما يساعد على تحلل دبال التربة الموجود أصلا (انخفاض خواص التربة).
- 5- لابد على المزارع أن يراعي الفترة التي تترك بين حرث النباتات وزراعة المحصول التالي وهي تقل في حالة استخدام نباتات بقولية وتزيد في حالة استخدام محاصيل أخرى كما تقل عند استخدام نباتات في مراحل نموها الأولى (للسرعة تحللها).
- 6- التسميد الأخضر يزيد من صلاحية العناصر الموجودة أصلا بالتربة سواء التي امتصتها نباتات التسميد الأخضر أثناء نموها أو زيادة الصلاحية بالتربة أثناء تحلل هذه النباتات وهو لا يضيف عناصر جديدة للتربة إلا في حالة النتروجين إذا تم زراعة نباتات بقولية.
- 7- تأثيرات التسميد الأخضر عديدة طبقا لنوعها فهو يماثل الأسمدة العضوية الأخرى من حيث تحسين خواص التربة مثل:
- تفكيك التربة الثقيلة، زيادة قوة حفظ التربة الرملية للماء.
 - خفض درجة تماسك القشرة السطحية بالتربة الجيرية عند زيادة الرطوبة والتي في حالة زيادة تماسكها تؤدي إلي صعوبة إنبات البذور واختراق جذور البادرات مما يقلل المحصول.

الفصل التاسع

9-1- أسمدة التصنيع العضوي (الأسمدة التجارية)

9-1-1- كومبوست المخلفات النباتية:

يطلق اسم الكمبوست Compost على المخلفات العضوية التي أخضعت لعمليات تحلل حيوي في ظروف هوائية أو لا هوائية، حيث تتحول إلى مواد ثابتة التركيب أكثر ملائمة لاستعمالها في التسميد قياساً بالمركبات المكونة لها، ويمكن أن يدعى الكمبوست سماداً عضوياً صناعياً أو خليطاً. يؤدي نشاط الأحياء الدقيقة خلال عمليات تحلل المخلفات العضوية إلى توليد حرارة بدرجات متفاوتة، ففي الأجزاء الخارجية لكومة الكمبوست تنشط البكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة (24-40 م) أما داخل الكومة فترتفع الحرارة إلى 40 - 65 م، حيث تنشط البكتيريا المحبة للحرارة العالية. ويمكن أن يضاف إلى كومات الكمبوست في أثناء تخميرها لقاحات خاصة (inoculums) لزيادة النشاط الميكروبي في عملية التحلل. وتجدر الإشارة إلى أن نوعية المخلفات التي تستعمل في تحضير الكمبوست متعددة أو متباينة، وهي التي تحدد الزمن اللازم لإتمام عمليات التحلل ومستوى جودة الكمبوست.

9-1-2- لماذا يفضل تحلل المخلفات العضوية خارج التربة:

- يفضل التحلل خارج التربة حتى لا يتم تمثيل النيتروجين الصالح بالتربة داخل أجسام الكائنات الدقيقة وفي هذه الحالة تستطيع النباتات الحصول على احتياجها من النيتروجين الميسر بسهولة ودون منافسة وبالتالي تعطي نمواً جيداً ومحصولاً عالياً. من المعروف أن دبال التربة قد وصل لدرجة عالية من التحلل وأصبح مقاوم نسبياً للتحلل بواسطة الميكروبات ونجد أن نسبة C/N له ضيقة جداً (منخفضة) حيث تصل 1:10 والمخلفات العضوية الطازجة ذات نسبة CIN ratio عالية جداً تصل في النجيليات إلى 1:90 وفي البقوليات لارتفاع النيتروجين بها تقل إلى حوالي 1:80 ولهذا عند إضافتها للتربة تنشط الميكروبات وتستخدم كربون المخلفات في نشاطها وتحتاج إلى مصدر نيتروجيني سهل التيسير لبناء أجسامها وبالتالي يكون مصدره النيتروجين الصالح بالتربة ولهذا عند إضافة مخلفات عضوية طازجة وزراعة البذور في نفس الوقت فإن البادرات لا تستطيع الحصول على احتياجها من النيتروجين بسبب التثبيت أي حدوث تنافس بينها وبين ميكروبات التربة التي تثبته في النهاية داخل أجسامها Immobilization وتضعف النباتات المزروعة ويظهر عليها الأضرار، وإن كان سوف يضاف هذا النيتروجين المثبت إلى التربة بعد موت الميكروبات وتضييق C/N المخلفات حتى تقارب C/N التربة ويصبح النيتروجين في صورة صالحة لحدوث عملية المعدنة ولكن بعد أن مرت أقصى مرحلة من احتياج النبات للعناصر الغذائية ومنها النيتروجين لهذا يكون المحصول في النهاية ضعيف.

- تجنب حدوث فقد للنتروجين في صورة نتروجين منفرد أو أكاسيد نتروجينية.
- تجنب الحرارة الناتجة عن التحلل الميكروبي والتي تؤثر على نمو جذور البادرات وامتصاص النبات للعناصر الغذائية.
- تجنب المركبات السامة المتكونة أثناء التحلل والتي تؤثر على النبات لامتناسها هذه المركبات ولكن مع التحلل خارج التربة يعطي فرصة لتكسير هذه المركبات وبالتالي يضاف للتربة سماد عضوي خالي من المواد السامة.
- تجنب هدم دبال التربة الموجود أصلاً بالتربة.
- تجنب انتشار الأمراض الحشوية والفطرية لأن حرارة التحلل قادرة على قتل الكائنات الممرضة عدا المحبة للحرارة.
- تجنب ترك التربة بدون زراعة.

9-1-3- العوامل التي تؤثر على درجة ومعدل تحلل بقايا المحاصيل والمخلفات العضوية في الأرض

يتأثر تحلل المخلفات العضوية بالعديد من العوامل منها: التركيب الكيميائي للمخلفات، محتواها من اللجنين، درجة الحرارة، نسبة C/N، درجة تجزئة المادة العضوية، طبيعة الميكروبات السائدة، محتوى الأرض من العناصر الغذائية، رقم الـ pH، قوام التربة.

1- نسبة C/N الكربون : النتروجين The C : N Ratio

لما كانت بقايا المحاصيل تحتوي على نفس الكمية من الكربون تقريباً أساس نسبة C/N. والجدول (9-1) يبين التركيب الكيميائي لبعض المخلفات النباتية، فكلما قل محتوى المخلفات العضوية من النتروجين أي كلما اتسعت نسبة ك : ن كلما انخفض معدل تحلل تلك المادة، وعندما تصل نسبة 1:17 تصبح المادة قابلة للتحلل، وعادة يضاف إلى المخلفات أسمدة معدنية تحتوي على النتروجين والفسفور بحيث تقلل من نسبة C/N وتسهل من عملية المعدنة.

الجدول (1-9): التركيب الكيميائي لبعض المخلفات النباتية

نسبة C/N	% على أساس الوزن الجاف تماماً			المخلفات النباتية	
	البوتاسيوم	الفوسفور	النتروجين		
130-80	1.72-0.48	0.22-0.04	0.94-0.12	المحتوى	تبين القمح
105	1.06	0.11	0.54	المتوسط	
130-80	3.3-0.04	0.17-0.2	1.01-0.36	المحتوى	قش الأرز
105	1.45	0.15	0.58	المتوسط	
-	2.3-0.55	27%-0.004	1.33-0.44	المحتوى	حطب القطن
-	1.45	0.15	0.88	المتوسط	
60-50	1.14-0.19	0.69-0.06	0.75-0.42	المحتوى	حطب الذرة
55	1.11	0.31	0.55	المتوسط	
120-115	0.5	0.04	0.35	المتوسط	قصب السكر
32	-	-	1.3	المتوسط	فول الصويا
-	1.34	0.32	1.57	المتوسط	حطب الفول
-	2.2	0.19	1.99	المتوسط	لوبيا
-	2.11	0.17	2.56	المتوسط	الفول السوداني
-	-	-	1.6	المتوسط	عرش البطاطس
12	-	-	3.6	المتوسط	كرنب
-	-	-	3.7	المتوسط	الخس
15	-	-	2.6	المتوسط	بصل
15	-	-	2.6	المتوسط	قليل
12	0.28-0.01	0.31-0.29	2.3-1.84	المتوسط	طماطم
27	-	-	1.6	المتوسط	جزر
80-40	0.75	0.43-0.17	1.51-0.5	المتوسط	مخلفات الأشجار
35	0.66-0.01	0.18-0.11	1.9-0.7	المتوسط	مخلفات الفاكهة

المصدر: حمادة ، 2010 (البيئة والزراعة العضوية في العالم العربي)

2- محتوى المادة من اللجنين:

يتناسب معدل تحلل المخلفات النباتية مع محتواها من اللجنين. فكلما زادت نسبة اللجنين في المخلفات كلما كانت أبطأ في التحلل. تشير بعض الدراسات إلى أن محتوى المادة من اللجنين قد يكون مؤشراً مناسباً على معدل تحلل المخلفات عما في حالة نسبة C/N. كما وجد أيضاً أن هناك علاقة بين نسبة ما بالمادة من البنترولانات إلى اللجنين ودرجة مقاومتها للتحلل إذ كلما اتسعت هذه النسبة سهل الانحلال والعكس بالعكس (الجدول 2-9).

الجدول (9-2): العلاقة بين نسبة المادة من البنتوزانات إلى اللجنين ودرجة مقاومتها للتحلل

درجة الأنحلال	نسبة البنتوزانات: اللجنين	اللجنين %	البنتوزانات %	نوع البقايا النباتية
بطيئة	0.88	25.7	22.7	ساس الكتان
بطيئة	0.83	20.6	17.20	حطب القطن
سريعة	2.72	7.3	19.9	قش الأرز
سريعة	2.42	10.5	25.4	تبن الشعير
متوسطة	1.33	15.07	20.16	تبن الحلبة
متوسطة	1.44	13.67	19.65	تبن العدس
سريعة	2.38	7.55	17.96	مصاصة القصب
سريعة	2.27	9.5	21.55	قشور بذور الخروع

المصدر: عوض الله، 2003 (أسمدة وتسميد)

ويلاحظ أنه إذا زادت النسبة على 2 سهل الانحلال، وإذا قلت عن ذلك فيما عدا مصاصة القصب وقشور بذور الخروع فهي بطيئة التحلل عمليا ولو أنها سريعة من الناحية النظرية، وقد يرجع ذلك إلى ما بهما من شموع تجعلهما في حالة ناعمة الملمس قليلة الاحتفاظ بالماء.

3 - درجة الحرارة: يؤثر التغير في درجات الحرارة على نوعية الأحياء الدقيقة لأن للميكروبات المختلفة درجات حرارة عظمى وأخرى مناسبة لنموها ونشاطها ويكون معدل التحلل عند مستواه الأعظم في درجات حرارة ما بين 30-35م.

4- التهوية: يصل معدل التحلل إلى أقصاه عندما يتوفر إمداد كاف من الأكسجين، فبينما تستطيع أنواع عديدة من البكتريا النمو في ظروف لا هوائية إلا أنها تكون أقل نشاطاً. ولا تستطيع معظم الفطريات والأكتينومييسينات النمو إطلاقاً في مثل هذه الظروف ولذا نجد أن المخلفات تتحلل ببطء ويكون انحلالها غير تام تحت الظروف اللاهوائية.

5- الرطوبة: لا يحدث تحلل بصفة عامة في المادة الجافة، وكلما زادت الرطوبة إلى حد ما زادت سرعة التحلل وتعتبر نسبة الرطوبة المناسبة في المادة النباتية 60-70.

6- درجة تجزؤ المادة النباتية: كلما كانت درجة التجزؤ في المادة النباتية أكبر كلما زادت سرعة تحللها .

7- رقم الـ pH: يتراوح pH المناسب للتحلل السريع للمخلفات العضوية بين 6.5-8.5 وتتشط البكتريا والأكتينومييسنا عند pH قريبة من التعادل ولا يناسبها الوسط الحامضي في حين تنمو الفطريات في البيئات الحامضية.

مما سبق يمكن تلخيص القواعد الأساسية التي يجب توافرها عند عمل سماد عضوي صناعي:

- أن تكون المادة مجزأة بحيث لا يزيد طولها عن 10-15سم.
- أن تكون الرطوبة مناسبة 50-60%
- إضافة كمية كافية من المركبات النتروجينية بحيث تصل النسبة إلى 70-75% من المادة.
- أن يكبس القش جيدا في جميع أماكن الكومة حتى يكون التخمر منتظما.
- ملائمة الوسط لميكروبات التخمر فيكون التأثير متعادلاً.
- مراقبة درجة الحرارة حتى يمكن العمل على بقائها في الحدود المناسبة.

9-1-4- تحضير الكومبوست Preparation of Compost

توجد طرق عديدة لتحضير الكومبوست مثل الكومة والصندوق، والأساس فيها متشابه والتي تتلخص في الفرز، والتقطيع، وعمل طبقات مكونة للكومة، وإضافة منشطات وخاصة N ومصدر للميكروبات، وضبط الرطوبة، والتقليب، ومرحلة النضج، والاستخدام.

9-1-4-1- استعمال سائل الإسطبل أو مخلفات الصرف الصحي

1- يحضر مكان عمل الكومة على أن تكون الأرضية غير منفذة للسوائل بقدر الإمكان، ويلزم لكل 10 طن من القش مساحة 20م³.

2- يحضر سائل الإسطبل من الجور التي سبق أن تجمعت فيها المواد السائلة والعادة أن تصل نسبة النتروجين في سائل إسطبل البقر 1% وفي إسطبل الخيل 2% وتتراوح كمية السائل من 12-20 ل يوميا للأبقار و 5-8 ل للخيل، وعادة ما يفقد كمية من النتروجين أثناء جمع السائل لتصل نسبة النتروجين إلى 0.4-0.5% وبذلك تصبح مساوية لتلك النسبة في القش.

إذا استخدمت مخلفات المجاري يراعى تخفيفها بالماء لتعديل سيولتها ولتعديل نسبة النيتروجين بها لتصل إلى حوالي 0.5%.

3- تؤخذ كمية من القش توضع في السائل السابق عدة ساعات لتترطب، ثم تنقل إلى مكان الكومة لتعمل في طبقة تغطي ربع المساحة، وتكون الطبقة بارتفاع 50-70سم ثم تداس بالأقدام وتغطي بالوواح من الخشب.

- في اليوم التالي: تعمل طبقة مشابهة بجوار الأولى، وهكذا حتى تغطي مساحة الكومة بارتفاع طبقة تخمر واحدة.
- في اليوم الخامس: تكون درجة حرارة الطبقة في الربع الأول من الكومة قد بلغت 55-65م فيكبس حتى يصل ارتفاعها إلى 25-35سم ويوضع فوقها طبقة تخمر جديدة.
- في اليوم السادس: تعمل طبقة تخمر فوق طبقة تخمر اليوم الثاني بعد دكها بالأقدام بعد أن تكون درجة حرارتها قد وصلت هي الأخرى إلى الدرجة السابقة.

- في كل مرة تغطي طبقات التخمر بألواح خشب ، وكذلك تحاط الجدران بالخشب أو القش.
 - 4- يستمر في وضع طبقات التخمر حتى يصل ارتفاع الكومة إلى حوالي 3-4م، تغطي الكومة بطبقة من التراب بسمك 10 سم لكي يكون الفقد في الكربون والنتروجين أقل ما يمكن .
 - 5- تترك الكومة حوالي 3-4 أشهر يتم بعدها نضج السماد، والذي تصل نسبة النتروجين به حوالي 1-1.5% محسوبة على أساس الوزن الجاف.
- ملاحظات :

- عادة ما تأخذ طبقات تخمر الأربعة أيام الأولى وقتا أطول من تلك التي تليها لتصل إلى درجة الحرارة التي يلزم بعدها دكها ومنع التهوية عنها.
 - يجب عدم ترطيب طبقات التخمر قبل وضعها في مكانها أو قبل دكها بكميات زائدة وإلا أدى الأمر إلى تحرك السوائل إلى الطبقة التي أسفلها مما يسبب لزوجة السماد الناتج.
- 9-1-4-2- تحضير السماد العضوي الصناعي من مخلفات المزرعة والأسمدة الكيميائية:**
- أ- الأسمدة الكيميائية المستخدمة: الأسمدة النتروجينية (اليوريا أو سلفات النشادر)، ويلاحظ أنه يجب عدم استخدام الأسمدة النتراتية خوفا من فقد النترات أثناء عمل السماد. الأسمدة الفوسفاتية (سوبرفوسفات عادي). الأسمدة البوتاسية (لا داعي لإضافتها لأن كمية البوتاسيوم في القش كافية لإنتاج سماد متوازن من ناحية العناصر السمادية الثلاثة). وكميات الأسمدة المستخدمة (المنشط) لكل طن مينية في الجدول (9-3).
- ب- كميات الماء اللازمة: يحتاج الطن من القش الكميات التالية من الماء: 800 لتر أثناء بناء الكومة، وبعد الأسبوع الأول. وبعد الأسبوع الثاني. وبعد الأسبوع الثالث. ويلاحظ أنه إذا استعملت مواد طرية كورق وسوق الموز فيجب أن يؤخذ نحو 1.5 طن بدلا من طن واحد مع تقليل كمية الماء التي تعطي أثناء وبداية العمل فقط، أما مقادير المياه التي تضاف بعد العمل فتبقى كما ذكر.

ت- المساحة اللازمة: يلزم لكل طن من القش مساحة 2.5*2.5م

الجدول (9-3): المواد المختلفة وما تحتاجه من المخلوط المنشط لكل طن

نوع المادة	في حالة استخدام سلفات النشادر
قش الأرز، الحشائش الخضراء، ورق الشجر، ورق الخضروات، البصل التالف	15 كغ سلفات نشادر + 3 كغ سوبر + 15 كغ كربونات كالسيوم + 100 كغ تراب
تبن البرسيم والحلبة والقمح والشعير	20 كغ سلفات نشادر + 4 كغ سوبر + 41 كغ كربونات كالسيوم + (70-100) كغ تراب
تبن الفول واللوبياء وعروش الطماطم وقش القصب وعروش الفول السوداني أو البطاطا.	25 كغ سلفات نشادر + 4 كغ سوبر + 25 كغ كربونات كالسيوم + 100 كغ تراب
حطب الذرة، سوق الموز، حطب الترمس، حطب الخروع	30 كغ سلفات نشادر + 5 كغ سوبر + 3 كغ كربونات كالسيوم + 100 كغ تراب
حطب القطن، بقايا تقليم الأشجار، مصاصة القصب، ساس الكتان	35 كغ سلفات نشادر + 7 كغ سوبر + 35 كغ كربونات كالسيوم + 100 كغ تراب

المصدر: عوض الله، 2003 (أسمدة وتسميد)

خ- خطوات العمل:

1. يفرش في المساحة المخصصة للكومة بعد ذلك الأرض جيدا عشر المادة الأصلية المراد تحويلها إلى سماد.
- يرش عليها بالتساوي 1/10 عشر كمية الماء اللازمة في أثناء العمل مع دوس العمال عليها بالأقدام في أثناء الرش ليتبلل جيدا .
- ينثر عليها بالتساوي أيضا عشر 1/10 مخلوط الأسمدة الكيماوية المراد إضافتها، بهذا يتم عمل الطبقة الأولى من الكومة.
2. يفرش العشر الثاني من المادة الأصلية (ويمكن تقديره بالحجم أو الارتفاع لهذه الطبقة وما يليها)، ثم يرش عليها عشر كمية الماء ويتبعه عشر مخلوط الأسمدة كما سبق، وبذا يتم عمل الطبقة الثانية.
3. يستمر العمل هكذا حتى يتم عمل الطبقات العشر وتغطي طبقة المخلوط الأخيرة بقليل من المادة الأصلية.
4. تغطي الكومة بعد ذلك ترش كميات الماء السابق ذكرها وبنفس الترتيب.
5. بعد انتهاء إعطاء هذه الكميات من الماء ترش الكومة كلما لزم الأمر حسب الأحوال الجوية بحيث إذا أخذت قبضة من الكومة على عمق 20 سم وضغطت باليد جيدا رطبت

اليد فقط ، أي يجب ألا يكون السماد جافا وألا يكون مشبعاً بالماء لدرجة تساقطه منه بالضغط ، ودرجة الرطوبة هذه ضرورية جداً لنجاح العملية ويجب المحافظة عليها حتى ينتهي نضج السماد.

6. تقالب الكومة بعد ستة أسابيع من بنائها لتهويتها ويكون ذلك بنقل محيطها إلى وسطها ويقالب عليها سافلها، ثم تداس بالأقدام قليلاً وذلك لتقليل التالف وتنشيط عملية التخمر .

7. تكرر عملية التقليل كما سبق بعد ثلاثة أسابيع، ثم بعد أسبوعين آخرين.

8. يتم نضج السماد بعد مدة تختلف باختلاف المادة المراد تحويلها، وعادة ما تتراوح بين 3-8 أشهر.

المنتظر أن يعطى الطن الواحد من المادة الأصلية نحو طنين ونصف طن تقريباً أي حوالي 2.5 م³ من السماد الصناعي الذي يساوي المتر المكعب من حيث قيمته السمادية 2م³ على الأقل من السماد البلدي.

بما أن السماد الناتج يحتوي على نحو 50-70 % من الرطوبة فيمكن خلطه بالتراب عند الاستعمال ليسهل نثره.

ويحتوي السماد العضوي الصناعي على 60 % رطوبة، 15 مادة عضوية، 0.6% N ، 0.4% P₂O₅ ، 0.4% K₂O .

9-1-4-3- خطوات تحضير الكومبوست:

1. يتم اختيار المساحة المخصصة للكومة على أساس أن الطن يشغل حوالي 2×3 م ، يفضل إعداد قطعة أرض مناسبة بكل حقل لعمل أكوام السماد من مخلفات الحقل نفسها. وذلك بالقرب من مورد مائي مناسب، وتلك الأرض جيداً لتلافي الرشح، مع حفر قناة حولها بعرض 20 سم وعمق 10 سم بحوض تجميع الراشح حتى يمكن إعادة استخدامه في رش الكومة.

2. توضع طبقة من المخلفات النباتية عرضها 2×3م وسمك 50-60 سم ثم توضع فوقها طبقة من المخلفات الحيوانية سمك 10-15 سم، وفي حالة عدم توفر هذه المخلفات ترش بخليط من الأسمدة المعدنية تتوقف كميتها على طبيعة المخلفات النباتية المستخدمة، وبعد ذلك ترش بالماء للترطيب. وكلما زادت نسبة C/N كلما زادت كمية المنشطات المضافة ويمكن ترتيبها كالاتي القطن، والكتان، والقصب، وفروع الأشجار (لارتفاع اللجنين) < الذرة < البقوليات والخضر < الارز والمخلفات الورقية للنبات.

3. تكرر هذه العملية من تناوب طبقات المخلفات مع الماء حتى الوصول إلى ارتفاع 1.5-2 م ثم ترش من الخارج. وترطب الكومة بعد ذلك بكميات من الماء مرة كل أسبوع شتاء ومرتين إلى ثلاث مرات كل أسبوع صيفا أو كلما لزم الأمر.

4. يفضل تقليب الكومة كل أسبوعين أو ثلاثة على الأكثر وضبط الرطوبة وإعادة بناء الكومة وذلك للمساعدة على خلط المكونات وزيادة التحلل. ضبط الرطوبة بين 50-60% هام وتعرف بترك آثار بسيطة في راحة اليد، بحيث إذا أخذت قبضة من الكومة على عمق 50 سم تقريبا في مواقع متعددة وضغمت باليد جيدا رطبت اليد فقط، أي يجب ألا يكون السماد جافا وأن يكون مشبعاً بالماء لدرجة تساقطه منه بالضغط، وتعتبر درجة الرطوبة ضرورية جدا لنجاح عملية الكمر الهوائي ويجب المحافظة عليها حتى يتم نضج السماد. ويجب ضبط الحرارة 55م° هام ويكون عن طريق التقليب في الفترات الأولى من التحلل كما يجب تقليل التقليب في الفترات الأخيرة قرب النضج. وهنا شكل وحجم الكومة هام لتخلل الهواء بسهولة وعدم فقد الحرارة بدرجة تقلل تفاعلات التحلل (التخمر).

5. في هذه الحالة ترتفع درجة الحرارة داخل الكومة (الكمرة) بعد 48-72 ساعة إلى أكثر من 50 م° وتزداد حتى 65 إلى 70م° وتستمر على ذلك لمدة أسابيع على حسب نوع المخلف النباتي وتكون كافية للقضاء على جميع مسببات الأمراض والنيماتودا وبذور الحشائش.

6. وينصح بعدم خلط بعض أوراق الأشجار بالكمبوست، مثل أوراق شجر الجوز الأسود السامة، وأوراق شجر الأوكالبتوس (الكافور) والأوراق الإبرية للسيدر الأحمر red cedar وأوراق الصنوبر لأنها بطيئة جداً في تحللها.

9-1-5- علامات نضج سماد الكمبوست:

يمكن التعرف على نضج السماد بالحقل عن طريق اختفاء معالم المخلفات الأولية، والتحول إلى اللون الأسود أو البني، درجة حرارة الكومة لا تزيد عن الجو المحيط بها، واختفاء رائحة التحلل (التعفن، التخمر)، المنتج ذو قوام اسفنجي حيث تهتك أنسجة المخلفات عند مسكها في قبضة اليد (حببيات متعجنة أو متهنكة) ويمكن التعرف بالمخبر بقياس كربون الدبال المستخلص حيث نجده يزداد أو قياس كربون الكومة فنجدته يقل وعند تقدير النتروجين نجده يزداد نسبياً لنقص المادة الجافة أو عند حساب نسبة C/N نجدها منخفضة والأفضل ألا تصل إلى نسبة أقل من 1:20 كما يمكن قياس بعض المخلفات مع تقدم فترة التحلل، الرطوبة النسبة في الكومة حوالي 50%، تتراوح درجة الحموضة ما بين 7.5-8.5.

9-1-6- الشروط الواجب توفرها لإنتاج كومبوست مثالي:

- يحتوي عالي من المادة العضوية OM.
- يحتوي على العناصر الغذائية الصغرى والكبرى في صورة بطيئة الفاعلية.
- يحتوي على أنزيمات ومضادات حيوية وهرمونات ضد أمراض النبات المختلفة.

- لا يحتوي على بذور حشائش، و مواد سامة، و إضافات صناعية.
- سهولة التعامل معه.
- كلما زادت نعومة المخلفات وإضافة المنشطات كلما تحسنت خواص السماد الناتج.
- يمكن تحسين محتوى السماد من العناصر الغذائية بإضافتها إليه.
- يعامل بالسماد البلدي وصخر الفوسفات والأسمدة الحيوية.
- يحسن من خواص التربة الطبيعية والكيميائية.
- ذو سعر مناسب (اقتصادي).

9-1-7- فوائد إنتاج الكمبوست

- الحد من الروائح الكريهة المنطلقة من المخلفات العضوية.
- تحسين خصائص المخلفات.
- إنقاص معدل إنبات بذور الحشائش، والمساعدة على تحلل بقايا المبيدات في حال وجودها.
- تنشيط الكائنات الحية الدقيقة في التربة.
- فوائد اقتصادية تتمثل بتحويل المواد العضوية من مواقع الطمر الصحي إلى سماد عضوي مما يوفر كلفة عمليات الطمر الصحي واليد العاملة، وأيضاً تسهم بتزويد السوق بالكمبوست المفيد لأغلب الترب والمزروعات.
- إقلال كمية الراشح الناتج من تحلل المواد العضوية في المطامر المختلفة.
- تحويل المخلفات إلى سماد بلدي صناعي يعمل تخمر لها أو كمر Composting تعتبر أفضل الطرق للحفاظ على البيئة من التلوث. بجمع صورته خاصة الناتج عن حرق المخلفات.

9-1-8- خزن و إضافة الكومبوست إلى التربة

- 1) يجب أن تكون المخلفات المضافة للتربة بعد نضج الكومبوست ذات نسبة C/N 1:20 تقريباً، حيث تسود عملية تثبيت النتروجين في حالة استخدام أسمدة عضوية ذات نسبة C/N أكبر من 1:30 ، وفي هذه الحالة لا بد أن يتم التخمر خارج التربة وتسود عملية المعدنة إذا قلت هذه النسبة 1:20 وفي هذه الحالة يكون النتروجين معرضاً للفقد ولهذا يجب ألا تصل نسبة CN عند نضج السماد العضوي لدرجة منخفضة جداً تقترب من دبال التربة 1:10 حتى لا يتحلل الدبال من ناحية ويفقد النتروجين من ناحية أخرى والنسبة في حدود 1:20 هي المناسبة وبعض المراجع تنصح بنسبة 1:30.

- (2) يمكن نثر السماد أو حرثه بالتربة أو وضعه في جور وفي هذه الحالة لا بد أن يخلط مع محتويات الجورة الترابية.
- (3) دائما لا يتم بذر البذور أو زراعة الشتلات عقب إضافة السماد العضوي بل لا بد أن يكون بعد وضع السماد بفترة لتجنب حرارة التحلل العالية التي تنتج في أول مراحل التحلل للوصول إلي حالة الاتزان مع التربة ولتجنب تكون بعض المواد السامة.
- (4) يخزن السماد بنفس طريقة تخزين السماد البلدي وذلك بتركه في كوماته مكبوسا جيدا مبللا دائما بعيداً عن أشعة الشمس والرياح من خلال التغطية بالقش أو بالخيش، وعند خزن الكمبوست تجرى في داخله عمليات النترجة للأمونيا، أما النترات المتكونة فتخضع لعملية عكس النترجة مكوّنة الآزوت الحر. ولهذا قد يحدث فقدان كبير في الآزوت عند الخزن طويل الأمد للكمبوست. ولأجل إيقاف عمليات النترجة وعكس النترجة وتقليل فقدان الآزوت ينصح بإضافة 0.5 - 1 % من أملاح كلوريد البوتاسيوم إلى الكمبوست حيث إن الكلور يوقف نشاط النترجة بالماء.

9-2- سماد البيوجاز Biogas fertilizers

يطلق اسم البيوجاز على ذلك المخلوط الغازي الناتج من تخمير المخلفات العضوية تحت سطح الماء بمعزل عن الهواء تخميراً (لا هوائياً) بفعل الميكروبات اللاهوائية. وما يتبقى بعد إنتاج الغاز يكون في صورة معلق مكون من خليط من مواد صلبة وأخرى سائلة يطلق عليه سماد البيوجاز.

الفكرة الأساسية في الحصول على غاز وسماد البيوجاز:

تتعدد تصميمات وحدات إنتاج غاز وسماد البيوجاز من دولة إلى أخرى ولكن الأساس العلمي واحد ويتلخص في الآتي: حوض (بئر) عميق يتم فيه تخمر المخلفات مع الماء بمعزل عن الهواء وله فتحات لدخول وخروج المخلفات وله غطاء محكم لعزله عن الهواء وبه فتحة لخروج غاز البيوجاز الذي يمر في أنابيب تمتد إلى أماكن الاستخدام.

ملاحظات Notes

- 1) تركيب غاز البيوجاز الناتج بعد تخمر المخلفات لا هوائياً هو مخلوط من الميثان حوالي 70% وثنائي أكسيد الكربون حوالي 25%. وغازات أخرى مثل النتروجين والهيدروجين وكبريتيد الهيدروجين (حوالي 5%).
- 2) للهب الناتج أزرق شديد الحرارة قد تصل حرارته إلى 600م، صديق للبيئة، غير سام، عديم اللون. أخف من الهواء، لا يتخلف عنه عوادم.
- 3) يستخدم في أغراض عديدة مثل الطهي، والإنارة، والتدفئة، وإدارة توربينات توليد الكهرباء.

4) السماد العضوي الناتج يتواجد في صورتين صلبة وسائلة وهو غني بالعناصر الغذائية الكبرى والصغرى والذي قد يصل محتواه منها إلى نسبة أكبر من بعض الأسمدة العضوية الأخرى وغير المضاف إليها أسمدة معدنية.

5) محتوى العناصر الكبرى بالسماد يقترب من القيم التالية: N(1.5%), P(0.5%), K(0.25%).

6) يتوقف التركيب الكيميائي للسماد على طبيعة المكونات الأصلية.

7) السماد الناتج صحي وغير ملوث للبيئة حيث أنه خالي من ناقلات الأمراض وبذور الحشائش.

8) مصادر مواد التخمير التي تستخدم عديدة وهي أي مخلفات عضوية مزرعية وغير مزرعية مثل مخلفات حيوانات المزرعة (إفراز + الفرشة)، والسبلة، ومخلفات الدواجن، والتبن، والحطب، ومخلفات المصانع، وقمامة المدن» ومخلفات محطات الصرف الصحي.

9) يمكن عمل هذه الوحدات في محطات الصرف الصحي لاستخدام مخلفاتها في الحصول على سماد آمن وغاز يستخدم مباشرة أو لإدارة توريينات للحصول على الكهرباء.

3-9-3 سماد قمامة المدن Town refuse

يطلق على هذا السماد أيضاً Municipal refuse أو Town waste السماد من كمر Composting مخلفات المدن الناتجة عن النشاط الإنساني والتجاري بالمدن، وهناك مصادر عديدة لهذه المخلفات (محلات تجارية، مطاعم، فنادق، معاهد علمية، مستشفيات، مصانع أهلية، و مصانع صغيرة) وقد تعددت وسائل التخلص من هذه المخلفات والتي كانت تتمثل في: المقالب المكشوفة، الحرق في الهواء المكشوف، الحرق الصحي باستخدام المحارق، الدفن الصحي، المصانع.

3-9-3-1 طرق تحويل القمامة إلى سماد

تعتمد هذه الطرق على كمر المخلفات لتحويلها إلى سماد وتعرف عملية الكمر بأنها تحلل هوائي متحكم فيه أو أكسدة بيولوجية للفضلات العضوية. وهناك وسيلتان لتحويل القمامة إلى سماد عضوي وهما الكمر في أكوام والكمر في المصانع.

3-9-3-1-1 الطريقة الأولى:

وفيها توضع القمامة المفروزة في خندق مبطن بالطوب على شكل طبقات بعضها فوق بعض دون ضغط بحيث ترطب كل طبقة بكمية مناسبة من سائل المجاري تكفي لجعل نسبة النيتروجين في الكومة 0.8 %، وبعد أسبوع ترطب الكومة وتضغط جيدا فيخرج منها ما يمكن

إخراجه من الهواء، ثم تغطي الكومة جيدا بطبقة كثيفة من الطين وتترك نحو ثلاثة أشهر يتم فيها نضج السماد .

9-3-1-2- الطريقة الثانية

1- يختار المكان المناسب لعملية تحويل القمامة إلى سماد على أن تتوفر الشروط التالية:
يبعد عن المساكن بحوالي 500 م حتى لا تصل الروائح التي تحملها الرياح إلى المنازل. وتكون أرضيته صلبة ومستوية. ويكون مجهزا بمصدر للمياه. ومحاط بحاجز من الأشجار.

2- تفرغ القمامة من العربات ثم تفرز مما بها من مواد غير قابلة للتخمر (حديد - صفيح - زجاج .. إلخ).

3- تكوم القمامة في أكوام مكعبة $10*12*0.5$ م ترش جيدا بالماء وكسح المراحيض ثم تكبس. تعمل طبقة ثانية وثالثة ورابعة، وهكذا حتى يصل ارتفاع الكومة إلى 2 متر ثم تغطي بالتراب بارتفاع 30-35 سم.

4- ترش الأكوام بالماء كلما كان ذلك ضروريا، تقلب الأكوام بعد حوالي 3 أشهر بحيث تهوى جيدا، ثم يعاد تكويمها ويعاد ترطيبها بعد التقليب وكبسها وتغطيتها بالتراب.

5- وتترك حتى تمام النضج بعد حوالي أربعة إلى ستة أشهر من بداية العملية. ويحسن أن نترك الكومات التي يتم نضجها مدة ستة أشهر أخرى قبل استخدامها في التسميد بشرط أن تبقى مرطبة بالماء.

ويحتوى السماد عادة على 30 % رطوبة - 14 % مادة عضوية و 0.54% N و P_2O_5 0.4% و 0.45% K_2O .

9-3-1-3- الطريقة الثالثة: وفيها يتم التحضير باستخدام الماء والكيميائيات كما يلي:

1- تفرز القمامة.

2- تكوم مع الضغط في طبقة واحدة، وتبلل بالماء، يرش عليها بالتساوي مخلوط مكون من 16 كغ سلفات نشادر + 21 كغ كربونات كالسيوم + 3 كغ سوبر فوسفات عادي وذلك للطن من القمامة الخام.

3- في اليوم الثاني توضع الطبقة الثانية، وهكذا حتى يتم بناء الكومة في ستة أيام. تغطي بطبقة قليلة من القمامة وفوقها طبقة من التراب، وتضغط وتبلل بالماء حسب الحاجة لتصير الكومة محتوية دائما على نحو نصف وزنها من الماء.

4- تقلب الكومة بعد ستة أسابيع ثم مرة أخرى بعد أربعة أسابيع.

ويلزم للطن من القمامة المفرزة $5م^2$ ، وينتظر أن ينضج السماد بعد أربعة اشهر من بدء العملية. ويحتوى السماد عادة على 40 % رطوبة - 14 % مادة عضوية و 0.55% N و P_2O_5 0.45% و 0.45% K_2O .

9-3-1-4- طريقة المصانع

1) تفرز القمامة لفصل الورق، البلاستيك، الزجاج، الأقمشة والعظام يدويا، والمعادن الحديدية مغناطيسيا.

2) تنقل القمامة إلى أسطوانة دوارة مزودة بتجهيزات للخلط والمجانسة والتقطيع وضبط نسبة الرطوبة، ثم يتم فصل النفايات كبيرة الحجم باستخدام مناخل مناسبة.

3) تنقل الحبيبات (السماد الخام) إلى المساحة المخصصة للكمر بواسطة سيور ناقلة حيث ترص في أكوام طولية، أو دائرية لتتم عمليات التخمر مع التقليب الدوري للتهوية وضبط نسبة الرطوبة. تستمر فترة التخمر هذه 4-5 أسابيع.

4) يخزن السماد بعد ذلك لفتنر 4-5 أسابيع لإتمام النضج.

يتشابه السماد العضوي الناتج من تخمر القمامة تخميراً جيداً مع الصناعي الناتج من تخمر المخلفات الزراعية، وهو يشترك مع السماد العضوي الصناعي في تركيبه الكيميائي، أي أن قيمته السمادية تبلغ ضعفي قيمة سماد الإسطبل الجيد. ويلاحظ أن محتوى سماد القمامة من العناصر الصغرى أعلى بكثير من مثلتها في سماد الإسطبل، ومن هذا نجد أن التسميد بكميات كبيرة من سماد القمامة قد يضر نمو النبات. وهنا تجدر الإشارة إلى أن سماد القمامة سماد بالغ الأهمية لسببين وهما:

- حاجة أراضي التوسع الأفقي بحكم خواصها الطبيعية والكيميائية والحيوية إلى التسميد العضوي الكثيف
- حاجة المحاصيل البستانية ومحاصيل الخضر المتزايدة في المساحة إلى التسميد العضوي المنتظم ولا سبيل إلى سد هذه الحاجة إلا عن طريق الأسمدة العضوية الصناعية.

9-3-2- ملاحظات حول سماد القمامة:

1- تعتبر المقالب المكشوفة أو الحرق في الهواء وسائل غير آمنة صحيا حيث تؤدي إلى التلوث البيئي رغم أنه يمكن الحصول منها على سماد عضوي.

2- طريقة الحصول على السماد العضوي في المصانع طريقة تماثل الطريقة التي ذكرت في السماد البلدي الصناعي فهي طريقة بيولوجية تعتمد على التخمر إلا أنها تتم داخل المصانع.

3- طريقة الحصول على السماد العضوي من المصانع هي أفضل الطرق الآمنة.

4- يستدل على نضج السماد بنفس الطرق الحقلية والمعملية المذكورة في السماد البلدي الصناعي.

5- السماد الناتج يصلح لجميع أنواع المحاصيل وفوائده عديدة كما ذكر في فوائده: الأسمدة العضوية.

6- السماد يماثل الكومبوست أيضا في عدم احتوائه على بذور الحشائش والكائنات الضارة.

7- يمكن تحسين محتوى السماد من العناصر الغذائية بإضافة أسمدة معدنية مختلفة مثل NPK وأسمدة العناصر الصغرى.

8- يلاحظ أن نفايات المستشفيات الضارة تحرق في محارق خاصة داخل المستشفيات ولا تخلط في قمامة المدن.

9- لا بد من التأكد من عدم احتواء السماد على عناصر ثقيلة Heavy metal بنسب ضارة بالتربة أو النبات و الذي ينعكس بدوره على الإنسان، والتي قد تنتج من مخلفات المصانع الأهلية والصغيرة.

9-4- سماد المجاري (الحمأة)

في المدن التي تتمتع بمشروعات المجاري العامة تتصل وحدات المياه المنزلية بشبكة صرف صحي ممتدة في باطن الأرض عن طريق فتحات خاصة، حيث تلتقى مياه المجاري المنزلية بمياه المصانع ومياه الأمطار وغيرها مكونة ما يسمى مياه المجاري (الصرف الصحي). ويلاحظ أن مياه الصرف الصحي تحتوى على العديد من الكائنات الحية الدقيقة، ليست كلها مسببة للأمراض ولو أن ما يوجد منها يكفي لإحداث أمراض للإنسان والحيوان، وعموما إذا ما تمت معالجة مياه الصرف الصحي بدرجة مناسبة قبل استخدامها فإن خطورتها تقل بدرجة كبيرة . يشترط أيضا أن تكون المياه ذات رائحة مقبولة حتى لا تكون الرائحة سببا في الإحجام عن استخدام المياه على الرغم من غناها بالعناصر الغذائية. وعموما فإن الجانب المتعلق بالرائحة يأتي بعد النواحي الصحية عند تقييم نوعية المياه.

9-4-1- الحمأة Sludge

هي السماد العضوي الذي يمثل الصورة الصلبة الناتجة من مخلفات الصرف الصحي Sewage sludge بعد معالجتها وكان يطلق عليه قديماً البودريت وهو الناتج من تجفيف نواتج الصرف الصحي للمنازل بالقرى والمدن ومخلفات الصرف الصحي مصدرها المنازل والمصانع (نواتج العمليات التصنيعية التي تذهب للمجاري) ونواتج غسيل الشوارع أو أي مصلحة (التي تذهب للمصارف) وهذه المخلفات تصل إلى محطات الصرف الصحي عن طريق شبكة الصرف والمضخات للتعامل معها أو التخلص منها ومخلفات الصرف الصحي ضارة بالصحة ولذلك انتشرت محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

9-4-2- معالجة مياه الصرف الصحي

المياه الناتجة بعد معالجة الصورة الصلبة يكون مصيرها المعالجة لاستخدامها في الزراعة أو التخلص منها في البحر أو البحيرات وتوجد درجات لمعالجتها، وأفضل معالجة هو استخدام الكلور أو الأوزون أو الأكسدة الحيوية وهذه المياه صالحة لاستخدامها في الري الزراعي لجميع المحاصيل ويوجد نوع أقل معالجة وهو معالج ثانويا أو باستخدام برك أكسدة في حدود 10 أيام وتستخدم في ري محاصيل الحبوب، والأعلاف والأشجار. والنوع الثالث هو أشدها خطورة حيث أنه معالج هوائيا لمدة يومين لهذا لا يصلح إلا للغابات و المسطحات الخضراء حول المدن. تحتوي مياه المجاري على مواد صلبة إما معلقة أو ذائبة، وهذه تكون إما مركبات عضوية أو غير عضوية. ويتم أثناء معاملات تنقية المياه سواء في المعاملات الأولية أو الثانوية ميكانيكيا وحيويا التخلص جزئيا من تلك المواد.

1- تبدأ عمليات التنقية في محطات المجاري بإمرار المياه على شبكات من المعدن لحجز المواد الكبيرة، ثم تنتقل المياه بعد ذلك إلى أحواض الترسيب الأولية وتترك بها حتى ترسب المواد العالقة والرمال إلى القاع وتطفو على السطح المواد الخفيفة وهذه يتم التخلص منها بالكشط (معاملة أولية).

2- تصفى المياه بعد ذلك إلى أحواض أخرى بعد تخليصها من الرواسب في قاع أحواض الترسيب الأولية.

وبذلك يكون قد تم التخلص من المواد الكبيرة الحجم وأيضا الرمال والمواد الخفيفة وجزء من المواد العضوية المعلقة، أحيانا يضاف إلى أحواض الترسيب أملاح الكالسيوم أو الحديد أو الألومنيوم، وهذه المعاملة تؤدي إلى ترسيب ما يقرب من 50-75% من المواد الصلبة المعلقة

ويمكن أيضا أثناء المعاملة الثانوية تهوية المعلق ميكانيكيا للتخلص من جزء كبير من المواد المعلقة وأيضا جزء من الأملاح غير العضوية .

3- وقد يتم أيضا معالجة المياه معاملة ثلاثية تشتمل على إضافة الإلكتروليتات، الادمصاص بالفحم المنشط وذلك للتخلص كلية تقريبا من المواد الصلبة المعلقة بالإضافة إلى معظم أملاح الفوسفات وجزء من النترات وهذه تكون من نصيب الحمأة.

4- أحيانا تعامل المياه معاملة رابعة، وهذه تتم عن طريق تعقيم المياه بالحرارة لقتل الأحياء الممرضة، معادلة الحموضة بإضافة الجير للإسراع في عملية التحلل والتخلص من الروائح .

ملاحظات:

- 1- يتم العمل على زيادة كفاءة البكتريا في أحواض المعالجة اللازم لأكسدة المواد المعلقة وتؤدي هذه العملية إلى تحويل المواد العضوية إلى مواد معدنية بسيطة (عملية معدنة).
- 2- تقوم البكتريا بالتعامل مع كثير من السموم مثل مبيدات الآفات ولكنها لا تستطيع التأثير على المعادن الثقيلة مثل الزئبق والكاديوم والكروم .

9-4-3- استخدامات مياه المجاري في الري:

- 1- بالنسبة للمياه المعالجة معالجة أولية فقط : تستخدم في ري الأشجار الخشبية والأحزمة الخضراء وأشجار النخيل ومشاتل الزهور، يفضل استخدامها في ري الأراضي الرملية، علما بأنه لا يجوز تربية الحيوانات المدرة للبلن على هذه المزارع .
- 2- المياه المعاملة معاملة ثانوية: تستخدم في ري كافة المحاصيل عدا الخضروات أو الفاكهة غير القشرية أو النباتات التي تؤكل نيئة.
- 3- المياه المنقاة والمعاملة بالتطهير: تستخدم في ري جميع المحاصيل

9-4-4- سماد المجاري (الحمأة)

يتبقى في قاع أحواض الترسيب الأولية والثانوية رواسب عضوية تعرف بالحمأة . تدفع الحمأة عن طريق مواسير ذات صمامات موجودة بقيعان أحواض الترسيب إلى أحواض التجفيف بعد جفاف الحمأة إلى الحد المناسب تستخرج من الأحواض حيث تكون في صورة ما يطلق عليه : سماد المجاري الخام. وهذا السماد يحتوي على الأحياء الدقيقة وبقايا المواد العضوية المتحللة. في بعض الأحيان تجمع الحمأة المتجمعة من أحواض الترسيب الأولية وأحواض الترسيب الثانوية داخل أحواض تجفيف تظل فيها في ظروف لا هوائية لفترة طويلة قد تصل إلى نحو ثلاثة أشهر مع تجميع الغازات الناتجة خلال فترة التخمر لكي تستخدم في إطلاق الطاقة أو في الإضاءة ويتبقى سماد عضوي يطلق عليه سماد المجاري المهضوم .

9-4-5- كيفية معالجة مخلفات الصرف الصحي:

- 1- فصل المواد الصلبة والمعلقة بالترسيب في أحواض ترسيب واسعة ثم مرور السائل المنفصل إلى مرشحات خاصة ثم يتم معالجة الخليط Sewage بطريقة بيولوجية هوائية في وسيلتين هما:

• وسيلة المرشحات Percolating filters

• الوسيلة الثانية التنشيط The activated — sludge process

وتعمل كلا الوسيلتين على نمو الكائنات الحية الدقيقة لإزالة المواد الذائبة أو المعلقة غير المرغوب فيها وفي بعض الأحيان لتحويل هذه المواد إلى مواد مرغوب فيها. وفي الوسيلة الأولى

يمرر الخليط Sewage على سطح خامل (قد يكون من الفحم أو البلاستيك) حيث ينمو عليها الميكروبات التي تكون فيلم من الميكروبات المهاجمة للمواد غير المرغوب فيها. أما في حالة الوسيلة الثانية فإنه يتم تهوية Sewage والكائنات الدقيقة معا في خزانات تهوية لعدة ساعات.

2- يتم فصل المواد الصلبة والمعلقة عن المياه بالترسيب في أحواض الترسيب ثم تعاد إلى أحواض التهوية مرة أخرى ثم يتم معاملة المواد الصلبة لا هوائيا.

3- تنقل المواد الصلبة من أحواض الترسيب إلى أحواض التجفيف لاستخدام هذه الحمأة في الزراعة يعد عمل أكرم منها.

ومن السابق يمكن الحصول على أنواع من الحمأة وهي مرتبة حسب الأفضلية كالآتي:
حمأة خام < حمأة مهضومة < حمأة نشطة

وأغلب محطات الصرف الصحي تنتج النوع الأول.

9-4-6- عيوب سماد المجاري بأنواعه:

لا تحتوى مخلفات المجاري (مياه المجاري وحمأة المجاري) فقط على مغذيات النبات ولكنها تحتوى أيضا على مركبات سامة وضارة ومن هذا المنطلق فإن اشتراطات استخدام تلك المخلفات تحتم أن يكون محتواها من المركبات السامة قليلة جدا بالمقارنة لما تحتويه من العناصر الغذائية الأساسية. وتحدد معدلات الإضافة على أساس محتواها من العناصر الضرورية لتغذية النبات حيث يجب أن تكون تلك العناصر موجودة بتركيزات مناسبة.

ويمكن خلال معالجة الحمأة والإقلال من الأحياء الدقيقة الممرضة كأن يتم معالجة الحمأة بالهضم الهوائي واللاهوائي والتجفيف الشمسي قبل التوصية باستخدامها في التسميد ، بالإضافة للأحياء الممرضة فإن أسمدة المجاري تحتوى على:

- 1- بعض العناصر الثقيلة بكميات كبيرة نسبيا قد تتجمع في المحاصيل المسمدة بها بمستوى ضار بالحياة مثل الرصاص والكاديوم والنيكل .
- 2- سموم عضوية مثل الهيدروكربون الكلورة، وهي عادة ما تكون صعبة التحلل في التربة ولها تأثيرات صحية ضارة.

9-4-7- الاحتياطات الواجب مراعاتها عند استخدام سماد المجاري في التسميد

- يجب عدم إضافة المخلفات الطازجة.
- يفضل استخدامها في تسميد الأشجار الخشبية - نباتات الزينة- النباتات المستخدمة في صناعة العطور - أشجار الفواكه التي لا تلامس ثمارها الحمأة.
- تسميد الخضروات التي لا تؤكل طازجة وتكون ثمارها غير ملاصقة لسطح الأرض.

- يجب ألا ترعى حيوانات اللبن قبل مرور شهرين على الأقل من تسميد المراعي بتلك الأسمدة .

9-4-9- ملاحظات حول سماد مخلفات المجاري:

- لا بد من ترك السماد العضوي الناتج من مخلفات المجاري الصلبة (الحمأة) مدة بدون تهوية لتكملة نضجه ولتكن 3 أسابيع.
- لا تتم الزراعة مباشرة بعد إضافة الحمأة للتربة (مثل أي سماد عضوي).
- يفضل التأكد بالتحاليل المخبرية من نسبة C/N لأنها لو زادت عن 1:20 يترك فترة أخرى للنضج حتى تقل النسبة وكذلك التأكد بالتحليل الميكروبي أنه آمن للاستخدام.
- يجب تحليل السماد قبل استخدامه من حيث المعادن الثقيلة الناتجة من المصانع حتى يكون آمناً عند استخدامه في الزراعة.
- السماد قد يكون غني بالعناصر الغذائية الكبرى (N 2.5%, P₂O₂ 1.5%, K₂O 1%) عن الأسمدة العضوية الأخرى ولكن تأثيره على الصفات الطبيعية للتربة أقل من الأسمدة العضوية لأنه يفتقر إلى كل من السليلوز، واللجنين (يقال تكوين الدبال) وغني في المواد الدهنية التي تجعله لزجاً مما يؤثر على مسامية بعض الأراضي لذلك يفضل تخمره فترة من الزمن قبل استخدامه.
- يجب التأكد من عدم تراكم المعادن الثقيلة بالتربة نتيجة استخدام الحمأة أو الري بمياه الصرف الصحي أو أي أسمدة عضوية غنية بالعناصر الثقيلة.

9-5- كمبوست (البيت) الخث

لتحضير الكمبوست يمكن أن يستعمل الخث peat السفلي والانتقالي وكذلك العلوي الأكثر تحللاً. علماً بأن الجزء الأكبر من الآزوت الموجود في الخث هو بصورة عضوية قليلة الإتاحة، وهناك نحو 2 - 3 % فقط تكون بصورة معدنية أي أمونيوم ونترات. تعد المادة العضوية للخث شديدة المقاومة للتحلل الميكروبي، كما أن تمعدن مركبات الآزوت العضوية تتم ببطء شديد. ويتميز الكثير من أنواع الخث بتفاعل حامضي مما يعوق بدوره تحللها في التربة. وإن عدد الأحياء المجهرية في الخث قليلة جداً نتيجة لهذا التفاعل الحامضي ولعدم كفاية الصور الدائبة للآزوت والمواد العضوية سهلة الامتصاص، ولهذا فإن استعمال الخث النقي سماداً يعد قليل الفعالية ولا يسد في أكثرية الحالات النفايات المرتبطة باستعماله في السنة الأولى. علماً بأن فعالية الخث ترتفع عند التخمر مع الأسمدة العضوية البيولوجية الفعالة مثل الدمن والسائل الدمني ومخلفات الإنسان، أو مع الأسمدة المعدنية أي المسحوق الفسفوري والكلس والرماد وغيرها.

9-6-6- أسمدة المخلفات الحيوانية: Fertilizers of animals

يشمل مخلفات المجازر، والمدابغ مثل الدم، واللحوم، والعظم، والقرون، والحوافر، والجلود بالإضافة إلى الجوانو ويمكن ذكر بعضها فيما يلي:

9-6-6-1- مخلفات المذابح والأسماك:

تستخدم اللحوم المعدومة لعدم صلاحيتها كطعام للإنسان، وكذا جثث الحيوانات النافقة في تحضير مسحوق اللحوم المجففة، العظام، ومخلفات المجازر خاصة الدم المجفف لاحتوائه على نسبة عالية من النتروجين والعناصر السمادية الأخرى (الجدول 9-4)، ومخلفات الأسماك حيث تحتوى أجسام الأسماك وعظامها على نسبة عالية من الفوسفور ولذلك فهي مادة سمادية ذات قيمة. وفيما يلي محتوى هذه المخلفات من العناصر الغذائية والمادة العضوية.

الجدول (9-4): تركيب بعض المخلفات الحيوانية

نوع المخلفات					التركيب (%)
السمك المحمص	السمك المجفف	مسحوق العظام	الدم المجفف	اللحم المجفف	
-	-	-	13.5	9-8	الرطوبة
-	-	-	80	70-60	المادة العضوية
10-7	9	2	14	8-6	N
5-2	10	25	2	7	P ₂ O ₅
-	0.3	-	7	0.7-0.3	K ₂ O
-	-	28	-	-	Ca
2	2				S

المصدر: عوض الله، 2003 (أسمدة وتسميد)

المركبات السابقة تستخدم أساساً كعليقة للدواجن وفي حالة عدم صلاحيتها للتغذية وإذا كانت متوفرة فيمكن استخدامها كمصدر من مصادر التسميد العضوي المركز للمحاصيل.

9-6-6-1- العظم Bone meal: حيث يكسر العظم ويزال منه الشحوم ثم ينظف معطياً عظام غضروفية ثم يطحن ناعماً وهي تمثل أسمدة N-P وعند إزالة البروتين من الغضروف بعملية Delaminating Bone meal نحصل على Delaminating Bone meal وهذه أسمدة فوسفاتية عضوية الأصل (فوسفات كالسيوم) وهي أكثر استخداماً في التسميد.

9-6-1-2- مسحوق الدم Blood powder: سماد فعال جدا والمكون الأساسي به هو النتروجين الذي يصل إلى 14% في صورة بطينة الفاعلية وباقي المخلفات الحيوانية يمكن عمل أسمدة عضوية كلشعر والأمعاء ومحتوياتها المختلفة.

9-6-1-3- مادة القرون Horn material

ويمكن أن تطحن بدرجات مختلفة حيث تكون في صورة مسحوق، أو حبيبات خشنة أو قشور وهي تمثل الأسمدة النتروجينية البطينة الفاعلية وقد تعامل بالأسمدة المعدنية وقد تخطت القرون مع العظام بدرجات مختلفة للحصول على أسمدة عضوية نتروجينية فوسفاتية (النتروجين من القرون، الفوسفور من العظام).

9-6-2- الجوانو Guano

سماد حيواني الأصل والمادة الخام للجوانو هي نواتج إخراج طائر بحري تحولت منذ فترات طويلة وتراكمت على هيئة رواسب وتعيش هذه الطيور في جزر حيث لا يوجد أمطار ولا نموات على امتداد شواطئ البيرو وشيلي وتتغذى على الأسماك المتوفرة بغزارة في البحار والاسم نشأ في بيرو ويشير إلى كلمة سماد (Manure-huano) ويصل سمك الترسبات إلى 60م. كما توجد كميات كبيرة منه في الجزر القريبة من سلطنة عمان، وعلى شواطئ البحر الأحمر. وعموما الطبقة المركزية فقط هي التي تحتوي على محتوى عالٍ من النتروجين ويسود نتيجة التحول الطبيعي مواد غير عضوية وذلك من المادة العضوية الأصلية.

تبلغ نسبة المادة العضوية في الجوانو نحو 60 %، وهو يحتوي على 8-15% نتروجين، و 2-3 فوسفور و 4 % من الماء، والمكونات الكيميائية الأساسية هي أكسالات أمونيوم وفوسفات أمونيوم بالإضافة إلى فوسفات كالسيوم ويوجد بصورة مختلطة البوتاسيوم الذي يصل إلى 2-4% ويعامل الجوانو الخام بواسطة التحلل الحامضي للحصول على الجوانو. وقد يوجد الجوانو في أماكن أخرى مثل سماد الكهوف Cave fertilizers الذي ينتج بواسطة الخفافيش Bats . وإن معظم الآزوت فيه متاح للمزروعات، وهو يشبه زرق الحمام في كثير من خصائصه. وقد تكونت صخور رسوبية عضوية المنشأ بعد تراكم الجوانو لمئات السنين على الجزر أو في الكهوف التي تغطيها ملايين الخفافيش في جنوب شرقي آسيا.

9-6-6- مخلفات المواد النباتية (مخلفات البذور الزيتية)

يعتبر الكسب أهم نواتج البذور الزيتية بعد استخلاص الزيت، هذا الكسب غني بالبروتين، ويعتبر لذلك غذاء للحيوان بشرط عدم احتوائه على مواد تضر بصحة الحيوان. ومن أنواع الكسب: كسب بذرة القطن، كسب بذرة الكتان، كسب بذرة الخروع وتقل الزيتون (ماءالجفت) (الجدول 9-5).

الجدول (9-5): التركيب الكيميائي لبعض مخلفات البذور الزيتية

المكونات %			نوع الكسب
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	
1.5	2.5	7-6	كسب بذرة القطن
1	1	6	كسب بذرة الكتان
1.2	1.5	5	كسب بذرة الخروع

المصدر: عوض الله، 2003 (أسمدة وتسميد)

ويلاحظ أن الكسب يستخدم أساساً كغذاء للماشية في حالة خلوه من المواد الضارة، أما إذا ثبت عدم صلاحيته للتغذية لأي سبب فيمكن استخدامه كمصدر للتسميد العضوي في الأراضي الجديدة . ويراعى عند استخدامه في التسميد أن يكون ناعماً حتى يسهل توزيعه بصورة متجانسة في الأرض. وقد ثبت نجاح الكسب كسماد للأرز والقصب، أما بالنسبة للقطن - 50 - وذلك بالقياس إلى إفادة هذه المحاصيل من نتروجين الأسمدة النترالية.

9-7- الأسمدة الحيوية Biofertilizers

إن اصطلاح الأسمدة الحيوية يمكن أن يعبر عنها بأنها مستحضرات تحتوي على خلايا كائنات دقيقة حية Live وكامنة Latent لسلاسل عالية الكفاءة في تثبيت النتروجين وإذابة الفوسفات أو البوتاسيوم والتي تستخدم لإضافتها مع البذور أو التربة بهدف زيادة أعداد هذه الكائنات الدقيقة وإسراع عمليات ميكروبية معينة تزيد من صلاحية العناصر الغذائية للنبات وقد يشمل التعريف جميع المصادر العضوية مثل الأسمدة البلدية التي تكون مصدر العناصر الغذائية الصالحة لامتصاص النبات عن طريق الكائنات الدقيقة أو بالتصاحب بين الكائنات الدقيقة والنبات.

9-7-1- الفوائد العامة للأسمدة الحيوية:

1. زيادة صلاحية العناصر الغذائية عن طريق تنشيط الميكروبات المتخصصة المستخدمة. وبالتالي توفير كمية من الأسمدة المستخدمة في حدود 25%.
2. زيادة صلاحية العناصر الغذائية الأخرى وتيسير امتصاصها.
3. إفراز بعض المضادات الحيوية التي تقاوم بعض أمراض النبات، إفراز مواد منشطة للنمو.
4. تقوية نمو الجذور والمجموع الخضري.
5. زيادة و تحسين جودة المحصول.

6. الحد من تلوث البيئة.

9-7-2- العمليات المعينة التي تقوم بها الميكروبات لزيادة صلاحية العناصر:

1. التفاعلات الوسيطة لإنزيم النتروجيناز عند تثبيت الميكروبات للنتروجين التي تختزل النيتروجين العنصري إلى أمونيا.
 2. إفراز الأحماض العضوية البسيطة بواسطة البكتيريا المذيبة للفوسفات أو البوتاسيوم
 3. تكسير السكريات العديدة بواسطة نوع معين من الفطريات والأكتينومييسيتات.
 4. تحولات النيتروجين بالتربة بواسطة الميكروبات والتي تدخل في دورة النتروجين.
- لا تُتصف الأرض الخصبة بالخواص الطبيعية ومكوناتها الكيميائية الجيدة فقط واللازمة لنمو النبات ولكن لابد أن تتميز أيضا بالعمليات الميكروبيولوجية التي تتواجد في حالة اتزان وهذه العمليات جزء في دورات عناصر النتروجين والفوسفور والكبريت.
- في نظام الزراعة الكثيفة التي تستخدم حديثا لابد من استخدام الأسمدة الكيميائية والتي تعتبر مكلفة، لذلك لابد من التركيز علي إمكانية استخدام الأسمدة العضوية مع الأسمدة الكيميائية وعلي وجه الخصوص استخدام الأسمدة الحيوية ذات الأصل الميكروبي. والعمليات الميكروبية ليست فقط سريعة ولكنها نسبيا أقل استهلاكاً للطاقة من العمليات الصناعية ولهذا تعتبر الأسمدة الحيوية مصدر لإمداد النبات بالعناصر الغذائية بأقل تكلفة.

9-7-3- الأسمدة الحيوية النتروجينية

9-7-3-1- لقاح الرايزوبيوم Rhizobium Inoculant

تزيد البقوليات من خصوبة التربة حيث يوجد على جذورها العقد Nodules التي تحتوي على البكتريا القادرة على تثبيت النيتروجين الجوي ويطلق على هذا التثبيت تكافلي (تعاوني) Symbiotic حيث هذه الأنواع المتخصصة من البكتريا تثبت النتروجين الجوي العنصري غير الصالح لامتناس النبات مباشرة وتحوله إلي صورة صالحة وتمد به النبات مقابل الحصول على الكربوهيدرات من هذا النبات. ليست كل البقوليات يتكون على جذورها عقد جذرية وكذلك يتواجد عائلات نباتية أخرى غير بقولية يتكون على جذورها عقد جذرية بواسطة الأكتينومييسيتات والتي تثبت كميات هائلة من النتروجين.

9-7-3-1-1- بكتريا الرايزوبيوم في التربة Rhizobium in Soil

- تعيش بكتريا الرايزوبيوم في التربة وفي منطقة جذور النباتات البقولية وغير البقولية.
- بكتريا الرايزوبيوم تفرز خارجها مواد عديدة التسكر Slime والتي تساعد في ربط حبيبات التربة مع بعضها

- التسميد النتروجيني لا يؤثر على فعالية بكتريا العقد الجذرية (الريزوبيوم) ولكن يؤثر على تثبيت النتروجين الجوي.
- بكتريا الريزوبيوم يمكن أن تعيش في درجات حرارة منخفضة وتقاوم الحرارة حتى درجة 50 م° لعدة ساعات قليلة.
- بكتريا الريزوبيوم حساسة لمواد وقاية النبات والمضادات الحيوية والكيماويات الزراعية الأخرى
- بكتريا الريزوبيوم لها القدرة على أن تعيش بالتربة لعدة سنوات تحت ظروف الجفاف.
- عديد من الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms والبكتريوفاج Bacteriophages لها القدرة على تثبيط نمو الريزوبيوم بالرغم أنه من النادر أن يثبط تكوين العقد بواسطة هذه المضادات.
- الأميبا تفترس الريزوبيوم
- الريزوبيوم تتحمل الملوحة بالرغم من أن النبات البقولى العائل لا يتحمل الملوحة لهذا تعيش بالأراضي الملحية.

9-7-3-1-2- Rhizobium in NoduSoil العقد الجذرية

بكتيريا الريزوبيوم تدخل إلى جذور البقوليات عن طريق الشعيرات الجذرية أو مباشرة عند نقطة بروز الجذور الجانبية ويختلف هذا من نبات لآخر أي يختلف أسلوب دخول البكتيريا من نوع نبات لآخر.

وظيفة العقدة Function of The Nodule

العقدة ما هي إلا مجرد بناء واقٍ فهي مكان تثبيت النتروجين حيث يتواجد أنزيم Nitrogenase وهو الوسيط الذي يقوم باختزال النتروجين العنصري الجوي إلى أمونيوم NH_4^+ وذلك خلال عديد من التفاعلات الوسيطة.

وتتوقف عملية: التثبيت بالعقدة (وظيفة العقدة) على عديد من العوامل: مثل الحرارة، وشدة الضوء، والفترة الضوئية، ووجود النتروجين بالتربة، وحموضة التربة pH والتغذية المعدنية مثل وجود الكوبالت والموليبدينوم خاصة أن الأخير يعتبر جزءاً مكملاً لأنزيم Nitrogenase أيضاً وتتوقف وظيفة العقدة على وجود مواد النمو والميكروبات المضادة بالتربة.

9-7-3-1-3- أهمية الزراعة Agronomic Importance

التلقيح بالبكتيريا العقدية (الريزوبيوم) قد يتعرض للنجاح وقد يتعرض للفشل وقد يعزى فشل التلقيح (عدم النجاح في تثبيت النتروجين الجوي) إلى الآتي:

- وجود السلالات الأصلية غير الفعالة.
- وجود الميكروبات المختلفة المضادة لبكتيريا الريزوبيوم والتي تقل أعدادها بمنطقة الجذور.

- صلاحية ظروف التربة التي تحد من عملية التكافل مثل الحموضة، والقلوية، والعوامل الأخرى المرتبطة ببناء التربة، وإضافة المبيدات الحشرية، ومحتوى التربة العالي من النترات. ومن المعروف أن للبقوليات تأثيراً متبقياً عالياً من النتروجين بالتربة ويمكن قياس ذلك التأثير المتبقي من المحصول الناتج مثل القمح أو الأرز عقب زراعته بعد نبات بقولي وآخر غير بقولي وقد وجد أن أعلى تأثير متبقٍ كان في حالة القمح بعد الفاصوليا. هكذا نرى أن التسميد الحيوي يوفر استخدام الأسمدة النيتروجينية وبهذا يقلل تكاليف إنتاج لبقوليات وما يزرع بعدها من محاصيل غير بقولية وهذا لا يغني عن الأسمدة النيتروجينية بل يقلل من استخدامها.

9-7-3-2- لقاح الأزوتوباكتر *Azotobacter Inoculant*

يقوم الأزوتوباكتر بتثبيت النيتروجين الجوي لا تكافليا دون وجود عائل كما في الريزوبيوم (تثبيت تكافلي). والكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بالتثبيت التكافلي (التي تعيش معيشة حرة) محدودة وأساسا البكتيريا (الأزوتوباكتر)، والطحالب الخضراء المزرققة. وتقسم البكتيريا الحرة المعيشة التي تثبت النيتروجين الجوي إلى:

• هوائية **Aerobic**:

والبكتيريا الهوائية التي تثبت النتروجين لا تكافلياً *Non-symbiotic nitrogen fixation* أنواع عديدة تتبع الأجناس *Azotobacter, Azospirillum, Mycobacterium, Azomonas, Beijerinckia, Derxia*.

• لاهوائية إجباراً **Anaerobic**:

تقع تحت الأجناس *Clostridium, Chromatium, Chiorobium, Desulfovibrio*

• لاهوائية اختيارياً **Facultative anaerobic**:

تقع تحت الأجناس *Bacillus, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella, Rhodospirillum, Rhodopseudomonas*

9-7-3-1- الأزوتوباكتر في التربة *Azotobacter in Soil*

يوجد العديد من العوامل التي تؤثر على أعداد الأزوتوباكتر بالتربة منها:

- الكائنات المصاحبة والمعدة لنمو البكتيريا وكذلك المضادة.
- مادة الأرض العضوية حيث قلتها تؤدي لقلة تكاثر الأزوتوباكتر وزيادة الدبال يزيد هذا التكاثر.
- الأسمدة المعدنية تؤثر على تكاثر هذه البكتيريا حيث الأسمدة النيتروجينية تثبطها والفوسفاتية تزيدها.

• عادة لا يوجد الأزوتوباكتري على سطح الجذور (Rhizophane (Root Surface) ولكن توجد بكميات غزيرة في منطقة الجذور (المنطقة حول الجذور) ولكن وجد بالقمح أعداد اللاهوائية في منطقة الجذور أعلى من الهوائية.

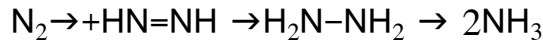
• إفرازات الجذور التي تحتوي على أحماض أمينية، وسكريات، وفيتامينات، وأحماض عضوية، والأجزاء المتحللة من نظام الجذور تعتبر كمصدر للطاقة لأعداد الأزوتوباكتري.

9-7-3-2-2- فسيولوجي ووظيفة الأزوتوباكتري Physiology and Function

تعتبر قدرة الأزوتوباكتري على تثبيت النتروجين العنصري خاصية فسيولوجية أساسية لهذه البكتيريا حيث مدى التثبيت هـ 2-15 مغ نتروجين مثبت /غ من مصدر الكربون المستخدم. ويمكن للأزوتوباكتري استخدام مصادر كربونية مختلفة من السكريات الأحادية والثنائية والعديدة، والأحماض العضوية للسلسلة الدهنية والأروماتية، كحول الإيثانول و الجليسرول والنانيتول، وبخار الأستون، والأحماض العضوية الطيارة الأخرى.

وقد ثبت ضرورة وجود الكالسيوم، والنتروجين المرتبط، والعناصر النادرة، وكلوريد الصوديوم وذلك لتثبيت النتروجين. والبكتيريا لها القدرة على تخليق وإفراز كثير من المركبات الحيوية، والأوكسينات، والهرمونات، والفيتامينات بالإضافة إلى وظيفة التثبيت.

وباختصار فإن التفاعل العام الذي يشمل الاختزال الأنزيمي للنتروجين الجوي إلى أمونيا يمكن التعبير عنه كالآتي:



Dinitrogen Diamine Hydrazine Ammonia

حيث يلاحظ لاختزال N₂ إلى NH₃ يحتاج التفاعل 6 إلكترونات وبالحساب يحتاج إلى 12مول ATP لاختزال N الجوي إلى 2 مول أمونيا.

9-7-3-2-3- استجابة المحصول Crop Response

وجد زيادة نمو ومحصول العديد من المحاصيل (أرز، قمح، بصل، طماطم، كرنب) عند تلقح الجذور ببكتيريا الأزوتوباكتري ولكن يتوقف هذا على نوع السلالة المستخدمة من البكتيريا وقد أعزيت هذه الزيادة إلى إفراز هذه البكتيريا لمواد منشطة للنمو ومواد مضادة للفطريات بالإضافة إلى الدور الأساسي وهو تثبيت النتروجين الجوي.

9-7-3-3- لقاح الأزوسبيريليوم Azospirillum Inoculant

حتى عام 1925 لم تدرج بكتيريا الأزوسبيريليوم في قائمة مثبتات النتروجين ولكن بعد ذلك التاريخ بواسطة جهود العلماء البحثية ثبت قدرة هذه البكتيريا على تثبيت الأزوت.

9-7-3-3-1 - الأزوسبيريليوم في التربة والجذور Azospirillum in Soil and

Roots

تتواجد البكتيريا في عديد من الأراضي وقد لوحظ أن هناك ارتباط بين نوع النبات وتواجد البكتيريا وكذلك نشاط النيتروجيناز بها يكون بين pH (5.6-7.2) حيث أقل من 5.6 يقل نشاط الأنزيم بكتيريا *Panicum maximum* حول الجذور وقد لوحظ أعلى نشاط بين 6.7-7 كما لوحظ عدم نشاط أنزيم النتروجيناز للبكتيريا في الظروف الحامضية حتى pH 5.2 وربما يعزى هذا إلى تكاثر البكتيريا داخل الجذور ويلاحظ أن الأراضي ذات pH أقل من 5.7 والأراضي الرملية الفقيرة في المادة العضوية لا تشجع وجود وتكاثر بكتيريا الأزوسبيريليوم بعكس الأراضي الغنية في المادة العضوية.

9-7-3-3-2 - فزيولوجيا ووظيفة الأرزوسبيريليوم Physiology and Function

بكتيريا الأزوسبيريليوم تنمو جيداً على lactate or pyruvate, succinate, malate وبدرجة متوسطة على galactose or acetate وتنمو بشكل ضعيف على glucose or citrate وأفضل تثبيت تحت ظروف Microaerophilic ورج البيئات وتتأثر البكتيريا بكمية الأجار المستخدمة.

9-7-3-3-3 - استجابة المحصول Crop Response

لوحظ استجابة عديد من المحاصيل (قمح، شعير، ذرة) عند تلقيح البذور ببكتيريا الأزوسبيريليوم مع تسميد 40 كغ نيتروجين/هـ ذلك يمكن إضافة البكتيريا للشتلات مع التسميد بمعدل صغير للحصول على أعلى محصول.

9-7-3-4 - لقاح الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green-Algae Inoculant

يزرع الأرز في ظروف الأرض المغمورة بالماء لارتفاع يسمح بنمو الطحالب الخضراء المزرقة والتي لها القدرة على القيام بعملية البناء الضوئي بالإضافة لتثبيت النيتروجين حيوياً Biological Nitrogen Fixation وتوجد أنواع عديدة من هذه الكائنات *Cylindrospermum*, *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aulosira*, *Nostoc* وغيرها كثير وبالإضافة إلى تثبيت النيتروجين تفرز هذه الطحالب فيتامين B₁₂ والأوكسينات، وحمض الأسكوربيك والتي تساهم في نمو نباتات الأرز.

Heterocysts: تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة الطحالب الخضراء المزرقة يتم في خلايا خاصة يطلق عليها Heterocysts (خيوط) الطحلب وقد وجد البعض أن هناك أنواع خلايا أخرى غير هذا النوع المتخصص وتتواجد على نفس شريط الطحلب قادرة على تثبيت النيتروجين العنصري.

وخلايا الـ Heterocysts كبيرة ولها جدار سميك فارغة تنمو بين الخلايا الملونة على شريط الطحلب والخلايا المتخصصة في تثبيت النيتروجين Heterocysts والأخرى الخضرية تعتمد كل منها على الأخرى عند تثبيت النيتروجين حيث الخلية المتخصصة في التثبيت تأخذ المواد التي تقوم باختزال النيتروجين مثل (phosphate-isocitrate-pyruvate) وذلك من الخلايا الخضرية التي تقوم بالتخليق الضوئي وبها تختزل النيتروجين الجوي إلى نيتروجين مثبت أما الخلايا الخضرية تعتمد على الخلايا المتخصصة في التغذية النيتروجينية أي تأخذ النيتروجين المثبت في صورة (glutamine, glutamate, or other amino acids) من Heterocysts. وعموماً تختلف قدرة الأنواع المختلفة على التثبيت باختلاف المناخ التي توجد فيه ولكن عند استخدام النوع المناسب من الطحلب (كفاءة تثبيت عالية) يؤدي استخدام الطحلب إلى زيادة محصول الأرز مع استخدام كمية صغيرة من السماد الكيميائي وتتراوح زيادة المحصول 10-20%.

9-7-3-5-الأزو (سماد عضوي) (Azolla (An Organic Manure)

الأزولا نبات سرخسي يطفو على سطح المياه العذبة و يوجد 6 أنواع من الأزولا، A.nilotica, A.pinnata, A.caroliniana, A.filiculoides, A.mexicana, A.microphylla في المجاري المائية مع الأعشاب المائية الأخرى وتحت الظروف المثالية يتضاعف نموها بدرجة كبيرة (نمو خضري هائل) فوق سطح الماء وتعطي مسطح من الريم (يطلق عليه سجادة خضراء reen mat) وغالبا ما يتغير لونها إلى لون محمر لتراكم صبغات الأنثوسيانين Anthocyanin النبات له ساق متفرع عائم والأوراق مفصصة بدرجة عميقة إلى فصين كما أن لها جذور حقيقية تخترق جسم الماء وتترتب الأوراق على الساق بالتبادل ولكل ورقة فص خلفي لحمي dorsal lobe ومعرض للهواء ويحتوي على الكلوروفيل وله طحلب يعيش معه تكافليا وهو Anabae azollal في تجويف مركزي بالفص، وفص أمامي ventral lobe رقيق مغمور جزئياً في الماء ويفتقر إلى الكلوروفيل.

ويثبت الفطر النيتروجين الجوي ويوجد هذا الفطر في كل مراحل نمو وتطور الأزولا وتوجد شعيرات البشرة متعددة الخلايا والتي تبطن التجاويف بالفص الخلفي الذي يعيش فيه الطحلب التكافلي ويحتمل أن يكون دور هذه الشعيرات هو نقل العناصر الغذائية بين العائلتين (الأزولا والطحلب).

9-7-4 - الكائنات الدقيقة المذيبة للفوسفات

Microorganisms Phosphate Solubilizing

الفوسفور يلي النيتروجين من حيث أنه عنصر مغذي (أساسي) يحتاجه النبات بكميات كبيرة و دوره هائل لكل من النبات والكائنات الدقيقة. الصور غير العضوية (المعدنية) السائدة بالتربة هي المركبات الفوسفاتية للكالسيوم والحديد والألومنيوم والفلورين بينما الصور العضوية فهي مركبات الفايئين والفوسفونيبيدات والأحماض النووية التي تنتج أساسا من تحلل المحلفات النباتية لتلك الأراضي الغنية بالمادة العضوية تكون غنية بصور الفوسفور العضوية.

يعتبر السوبر فوسفات الأحادي أو الثلاثي Single or triple-super phosphate أحد الأسمدة الفوسفاتية المعروفة، أما إضافة صخر الفوسفات مباشرة للتربة كسماد محدود وذلك في الأراضي الحامضية وكذلك في الأراضي القاعدية ونظرا لارتفاع تكاليف كل من تصنيع الأسمدة الفوسفاتية ونقلها لا بد من إيجاد وسيلة لاستخدام صخر الفوسفات مباشرة في التسميد.

9-7-4-1 - ذوبان الفوسفات بواسطة الكائنات الدقيقة Solubilization of Phosphates
:by Microorganisms

عديد من بكتيريا التربة خاصة التي تنتمي للأجناس Pseudomonas, Bacillus و الفطريات Fungi التي تنتمي للأجناس Aspergillus, Pencillum لها القدرة على تحويل صور الفوسفات غير الذائبة Insoluble إلى صورة ذائبة و Soluble وذلك عن طريق إفراز الأحماض العضوية مثل (formic, acetic, lactic, formic, propionic, glycolic, succinic), التي تخفض رقم pH التربة وتذيب صور الفوسفات المختلفة كذلك بعض الأحماض الهيدروكسيلية (Hydroxy acids) قد ترتبط مع الكالسيوم والحديد وبذلك تحول دون ارتباطهم بالفوسفات مما يزيد من فعالية ذوبان واستخدام الفوسفات.

9-7-4-2 - الميكروهيذا Vesicular arbusular mycrohiza

هي فطريات تعيش تكافلية داخل جذور بعض النباتات البقولية وتزيد امتصاص فوسفات التربة التي يستفيد منها النبات العائل ولهذه الفطريات دور آخر غير الدور التكافلي والذي يبدأ من امتصاص العناصر، والماء ومقاومة الأمراض والتأثير الميتابوليزمي على النبات وقد لوحظ زيادة محصول العدس، والفاول، وفول الصويا بالتلقيح بالفطر وكذلك عند التلقيح بالبكتيريا العقدية كمصدر للنيتروجين. وتوجد أنواع تعيش على جذور النباتات الأخرى وعموماً صعوبة الحصول على بيئة نقية من هذا الفطر يجعل انتشاره محدوداً.

9-7-5 - الأسمدة الحيوية البوتاسية

يوجد العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي ينتج عن نشاطها أحماض عضوية تزيد من

ذويان معادن التربة البوتاسية وبالتالي تزيد من صلاحية البوتاسيوم الموجود بالتربة أصلاً.

9-8- منظمات النمو النباتي

:Plant growth regulators – Régulateurs de croissance

منظمات النمو النباتي plant growth regulators أو الهرمونات النباتية phytohormones هي مركبات عضوية طبيعية تنتجها النباتات، وتؤثر في عملياتها الاستقلابية والكيميائية، وفي أنشطتها الفيزيولوجية والمظاهر المختلفة لنموها. تتميز هذه المنظمات بأنها غير نوعية-non specific التأثير، إذ يُمكن لكل منها أن يتحكم بصفات عدة، فمثلاً يؤثر الأوكسين auxin في تكوين الجذور ونموها، وسقوط الأوراق والثمار ونمو الثمار اللابذرية والسيادة القمية في الأشجار المثمرة، كما تؤثر في أجزاء بعيدة من نقاط تكوينها وبتركيز ضعيفة جداً، وتصير مثبتة للنمو حينما تستعمل بتركيز مرتفعة.

9-8-1- لمحة تاريخية: يعود الفضل في اكتشاف أول أوكسين في نبات الشوفان للعالم الأمريكي ونْت Went عام 1928، إذ تبين أن قمة السويقية تفرز الأوكسين الذي يؤدي إلى استطالتها. ويُعتقد أنه ينتقل حيويًا من مراكز تكوينه ذات التركيز المرتفع إلى أماكن أخرى ذات التركيز المنخفض أو الخالية منه تماماً، وذلك ابتداءً من القمة الطرفية للمجموعة الخضرية وانتهاءً في القاعدة السفلية للمجموعة الجذرية في النباتات القائمة، أما في النباتات الأفقية الوضع والموازية لسطح التربة فتنتقل الأوكسينات فيها من الجانب العلوي للسوق والجذر إلى جانبها السفلي مما يؤدي إلى انحناء النباتات حين استطالتها ونموها.

في عام 1935 عَزَل ثيمان Thiman – m حمض الإندول الخلي indoleacetic acid (IAA) من وسط زراعة الفطر Rhizopus، وحدد تركيبه الكيميائي، وجرى لاحقاً اكتشاف مواد عدة ذات نواة إندولية وغير إندولية تتميز بنشاط أوكسيني في النسيج النباتية. في عام 1941 اكتشف العالمان فان دفرينك وبلاكسلي Van Dverbeek and Blakeslee السيتوكينينات cytokinins في حليب جوز الهند، وتبين أنها تنشط الانقسام الخلوي النباتي حين إضافتها إلى الوسط المغذي لزراعة النسيج.

وفي عام 1955 استطاع العالمان ميللر وسكوغ Miller and Skoog عزل الكينيتين kinetin من نسيج التبغ المكاثري في الأنابيب الزجاجية in vitro.

وفي عام 1965 استخدم المصطلح سيتوكينين أول مرة من قبل العالمين سكوغ وكول Skoog and Coll في الدلالة على المركبات الطبيعية أو الصناعية التي لها تأثير منشط في الانقسام الخلوي.

وفي عام 1926 اكتشف العالم كوروساوا Kurosawa مصادفة الجبريلينات gibberellins في مستخلص الفطر *Gibberella fujikuroi* التي تسبب استتالة غير طبيعية للمسافات بين العقد في نبات الأرز المصاب بهذا الفطر، وتمكن الباحث يابوتو Yabuto من عزل الجبريلينات على شكل بللوري من الفطر المذكور. وأمكن حتى اليوم عزل نحو/52/ نوع من الجبريلينات (GA_1 GA_{52}) وتحديدها.

في عام 1901 أمكن تحديد تأثير الإثيلين ethylene في تخفيض استتالة النموات الخضرية، وجرى في عام 1935 من قبل العالم كروشيريه Crocheret وآخرين تصنيف الإثيلين غازاً هرمونياً وحيداً يمكنه أن يسرع في إنضاج الثمار وتساقطها.

وفي عام 1965 عزل مثبط النمو حمض الأبسيسيك (ABA) abscisic acid من جوز القطن من قبل أديكوت وآخرين Adicotte وتبين أنه يسبب سقوط ثمار القطن، كما عُزل من نبات الترمس في عام 1965 من قبل العالم وين Wain.

9-8-2- تصنيفها وتراكيبها الكيميائية ومصادرها

تصنف منظمات النمو النباتي في مجموعتين كما يأتي (الشكل 9-1):

1. مجموعة منشطات النمو النباتي plant growth activators: تضم الهرمونات الطبيعية التي تتكون خاصة في مراكز معينة في النباتات المختلفة، وهي: الأوكسينات، الجبريلينات، السيتوكينينات، الإثيلين.

2. مجموعة مانعات النمو النباتي plant growth inhibitors: تضم الهرمونات التي تتكون في أعضاء خاصة من النباتات، وهي: حامض الأبسيسيك، والفينولات phenols.

- الأوكسينات: لفظة أوكسين مشتقة من اليونانية auxein؛ وتعني نمًا، وسمي هذا الأوكسين هرمون النمو growth hormone. تتكون الأوكسينات عامة في القمم النامية للنباتات وأوراقها وثمارها الفتية في أثناء تكوين البذور بعد مرحلة العقد الثمري.

يعدّ حمض الإندول الخليّ الأوكسين الطبيعي في النباتات، وقد أوضح العالم سكوغ عام 1937 أن مصدر هذا الحمض هو الحمض الأميني تريبتوفان tryptophan في قمم الأعضاء الحديثة في النباتات، وتبين أن توافر عنصر التوتياء في النباتات ضروري جداً لتكوينه.

تنتقل الأوكسينات نحو المجموعة الجذرية والأجزاء السفلية للمجموعة الخضرية قطبياً، وذلك عبر خلايا الأنسجة النباتية، أما في الأوراق والقمم الفتية للسوق فتنتقل عبر اللحاء، وفي الأوراق الكاملة عبر الأنابيب الغربالية، وفي الجذور عبر الأسطوانة المركزية، وتراوح سرعة انتقالها بين 5-15م/ساعة.

وقد تمكن العالم كوغل Kogl منذ عام 1946 من عزل الأوكسين $(C_{18}H_{32}O_5)A^-$ والأوكسين $(C_{18}H_{32}O_4)B$ ، والأوكسين المخالف heteroauxin للأوكسينين A و B. صيغته الكيميائية $C_{10}H_9O_2N$ وتعد الأوكسينات مركبات مسؤولة عن زيادة النمو والاستطالة الخلوية والعضوية وانقسام الخلايا وتمايزها وتكوين الجذور وأنسجة الكالوس callus على البصل قيد التجذير. تستعمل رشاً بتركيزات منخفضة جداً (أجزاء من المليون) على النمو الخضري للنباتات المختلفة، كما تؤثر في لزوجة البروتوبلازم، وتشجع على جذب المواد الغذائية، ولاسيما السكريات والفسفور، كما تعد من بين العوامل التي تسبب السيطرة القمية للنباتات على نمو البراعم الجانبية. هنالك بعض الأوكسينات الصناعية الأخرى وتأتي في مقدمتها: الأحماض الإندولية للأوكسينات، مثل إندول حمض البيوتريك (IBA) indole butyric acid وإندول حمض البروبيونيك (IPA) indole-propionic acid، ثم الأحماض النفثالينية للأوكسينات، مثل ألفا وبيتا نفتالين حمض الخليك (NAA)n naphthalene acetic acid، وكلوروفينوكسي حمض الخليك الثنائي والثلاثي و(c2.4D و c2.4.5T) وهي مركبات غير أندولية. ويعزى التأثير المنشط للأوكسينات في الانقسام الخلوي إلى زيادة تكوين البروتينات والرنا المرسال m-RNA والرنا الريباسي (الريبوسوم) بوجود الأنزيمات المتخصصة؛ ولاسيما أنزيم بوليمراز الرنا RNA polymerase، وتؤدي الأوكسينات دوراً مهماً في نسخ الصفات الوراثية الموجودة في الرنا.

- **الجبريلينات:** تتكون في القمم النامية للسوق والجذور وفي الأجنة والبذور والثمار الصغيرة، ولاسيما في الأوراق الفتية، وذلك انطلاقاً من حمض الميفالونيك Mevalonic acid ويتدخل أنزيمات عدة ومركبي الطاقة nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP) و adenosine triphosphate (ATP)n. تنتقل الجبريلينات على نحو غير قطبي عبر اللحاء والخشب قبل بداية النمو الربيعي وفي جميع الاتجاهات داخل النسيج النباتية، وتبلغ سرعة انتقالها نحو 5 سم/ساعة، وهي تعادل سرعة انتقال المواد الغذائية في النباتات. تُصنّف الجبريلينات في مجموعتين هما: مجموعة الجبريلينات ذات العشرين ذرة كربون، ومجموعة الجبريلينات ذات التسع عشرة ذرة كربون؛ وتختلف فيما بينها تركيبياً بمواقع جذر الهيدروكسيل-OH على ذرات الكربون، ويرمز للجبريلين GA3 مثلاً بالصيغة المدرجة، تؤثر الجبريلينات في الانقسام الخلوي على نحو غير مباشر، وفي استطالة الخلايا؛ إذ تنشط الأنزيمات التي تشارك في تكوين الأوكسينات والرنا في النوى وانتقاله إلى الهيولى الخلوية والحد من تفكك الأوكسينات. كما تقوم بتكوين الأنزيمات الخاصة بتركيب indoleacetic acid (IAA) وأنزيم الأميلاز amylase المختص بهضم النشاء وتحويله إلى سكريات بسيطة، وغيرها من أنزيمات عمليات الاستقلاب النباتي.

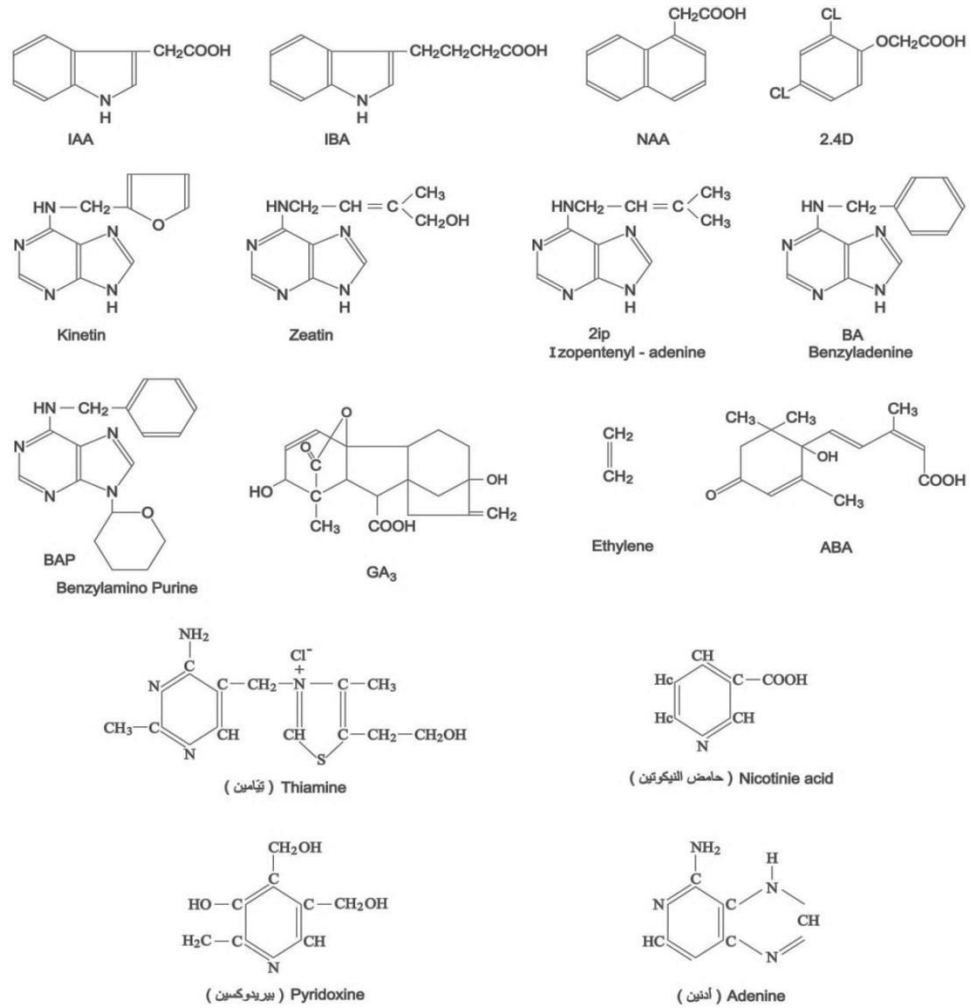
- **السيٲوكينينات:** تنتشر في جميع الأنسجة النباتية، وتكون مرتفعة التركيز في البذور والثمار والجدور. تُصنّف في فئتين هما: السيٲوكينينات المتحركة، تتكون في الجذور وتنتقل إلى القمم النامية في المجموعة الخضرية عبر الأوعية الخشبية، والسيٲوكينينات غير المتحركة، كميتها ضئيلة تتكون في مناطق تأثيرها في البذور والثمار في طور نضجها. يرتبط تكوين السيٲوكينينات مباشرة باستقلاب الرنا، وقد أمكن عزل عدة سيٲوكينينات طبيعية من النباتات، منها الزياتين zeatine ذو النشاط التحريضي القوي في الانقسام الفتيلي mitosis الخلوي، ومشتق الزياتين البلّوري النقي cis-zeatine والزياتين - ريبوزيد zeatine - riboside، وثبت أن بعض مركبات الزياتين تدخل في تكوين الرنا المرسال t-RNA. وثمة سيٲوكينينات مركبة صنعياً (الشبيهة) مثل 6- بنزيل أمينوبيورين 6-BAP) benzyl- aminopurine الذي يستعمل كثيراً في زراعة النسج النباتية. تؤدي السيٲوكينينات دوراً مهماً في الانقسام الخلوي؛ إذ إنها تنشط تكوين البروتينات والرنا وأحماض نووية أخرى، وتشارك الأوكسينات مباشرة في الانقسام الخلوي، وفي التبادل الشاردي المبدئي عبر الأغشية الخلوية، كما تساعد بعض الأنزيمات على تنشيط الاستقلاب. تتحول في الأوراق إلى غلوكوز بعد تحللها السريع، وهي تُحافظ على حيوية النباتات مدة أطول مؤخّرة هرمها، وتتميز بقدرتها الكبيرة على تكوين براعم في الأنسجة غير المتميزة للكالوس، أو على الجذور، أو على أجزاء ساقية طردية أو أوراق غيرها. ويبدو أن جملة محتويات الميتوكوندريا mitochondria في الخلايا تتأثر بمعاملتها.

- **الإثيلين** $CH_2 = CH_2$: يتكون الإثيلين في الثمار الناضجة عموماً أو التي في طور نضجها، ويعتقد أن الحمض الأميني الميثونين acid methionine هو مصدره الأساسي في النباتات، إذ يتحول فيها بوجود الأكسجين وبعض الأنزيمات إلى إثيلين. وتجدر الإشارة إلى أن ثمة مركبات أخرى تشارك في تكوينه في النباتات بدءاً من مثل بيتا حمض الألانين β -alanine acid أو من propionic acid بوساطة الأنزيمات، مثل ترانساميناز transaminase.

الإثيلين هرمون غازي يتبع الفحوم الهدروجينية غير المشبعة، يسرع نضج الثمار، ويُسهّم في انفصال الغلاف الخارجي (القشرة) لبعض ثمار الجوزيات، مثل البيكان والجوز واللوز وغيرها، ويُسبب ذبول أزهار القطف وتساقط أوراق الورود والعنب وغيرها، ويعجّل في فقدان اليخضور الورقي وألوان الأزهار وفي سقوط بتلاتها في الأشجار المثمرة، ويثبط نمو براعم البصل والبطاطا، ويشجع تكوين الجذور، ويحد من النمو الخضري في العنب حينما يستعمل بتركيز مرتفع. ومن أهم مركباته التجارية: ايتريل etherel وفوسفون "د" phosphon D وإيتيفون ethephone وتوماتريل tomathrel وتيرونيل theronell، وغيرها.

- **حمض الأبسيسيك (ABA):** يتركز بكميات كبيرة في براعم الأشجار المثمرة والبذور الساكنة في ثمارها، وفي الأوراق الهرمة. يُعدّ هذا الحمض شبيهاً بالفيتامين (A)، وهو من مركبات

الكاروتينات التي تدخل في تركيب يخضور chlorophyll الأوراق. وتبين حديثاً أن حمض الميفالونيك mevalonic acid هو طليعة هذا الحمض، ويتحول إلى الفيولزاننتين violazantin وثم إلى الكسانتوكسين xanthoxene بوجود الأنزيمات والضوء، ثم إلى حمض الأبسيسيك. ينتقل هذا الحمض من مراكز تكونه إلى قمم الجذور والسوق عبر الأوعية الغربالية وبسرعة تقدر بنحو 20مم/ساعة، ومن أهم وظائفه تثبيط عمل الأنزيمات؛ مما يؤدي إلى توقف النمو النباتي. وما يرتبط بظاهرة التأثير فيما بين الهرمونات في النباتات، فقد قام العالم رايت Wright بدراسة تبدلات نماذج البروتين والأنزيمات في جذور القمح في مراحل مختلفة لنموها، وتبين له أن استجابة الكوليوبنتيل coleoptile للجبريلين GA3 والسيتوكينين وإندول حمض الخل تختلف بحسب مرحلة النمو، ووجد أنها تعمل وفق ثلاثة أوجه متخصصة ومتناسقة فيما بينها: أولها هو الوجه المكبر لحجم الخلايا، وثانيها يخص الانقسام الخلوي، وثالثها يخص الاستطالة الخلوية بتأثير (IAA). ويتحقق مثل هذا التأثير حينما ترشّ معاً لا فرادى.



الشكل (9-1): بعض المنشطات والمثبطات الهرمونية للنمو النباتي.

9-8-3- مجالات استعمال منظمات النمو في الزراعة

يمكن إيجاز مجالات استعمالها كما يأتي:

- في الإكثار الخضري: تستخدم منظمات النمو لتجذير عقل عدد كبير من أنواع الأشجار المثمرة والنباتات المختلفة وأصنافها، وذلك بتحضيرها على شكل محاليل مائية ذات تراكيز مختلفة تراوح بين 100 و5000 جزء بالمليون، أو على شكل مساحيق تراكيزها بين 100 و200 جزء بالمليون، أو مراهم مع اللانولين تراكيزها بين 100 و500 جزء بالمليون. ويعدّ إندول حمض البيوتيريك أفضل الأوكسينات المستعملة في تجذير العقل تجارياً ويليها NAA، ثم IAA. كما تستعمل تجارياً وتجريبياً في زراعة نسج نباتات كثيرة في المخابر المتخصصة.

- في تنشيط التحام الأصل مع الطعم بمعاملة العقل أو الغراس المطعمة رشاً أو دهناً بالأوكسينات (IBA أو IAA أو NAA) والسيتوكينين؛ وذلك بغية زيادة فرص نجاح التطعيم عموماً.

- في تقوية نمو المجموعة الخضرية في العنب والمشمش وغيره باستعمال الجبريللين GA3، أو لتأخير بداية نمو البراعم الزهرية والخضرية نحو 3 أسابيع أو لتنشيط نموها باستعمال مثبطات النمو كلورميكا كلورور chlorméquat chlorure (CCC) والآلار وحمض الأبسيسيك؛ إذ تُحدّد هذه المركبات من أطوال الطرود والأعناق الورقية وتخفض المحتوى اليخضوري في الأوراق ومعدل التقليم الصيفي في أصناف كثيرة من الأشجار المثمرة القوية النمو.

- في زيادة التفريع الجانبي؛ وذلك بتنشيط نمو البراعم الجانبية والحد من السيادة القمية باستعمال السيتوكينينات، ولزيادة تفرع الغراس في المشاتل أيضاً.

- للحدّ من نمو الخلائف والطرود الشحمية على الأشجار المثمرة (تفاح وكمثرى وعنب وغيرها) باستخدام الجبريللين GA3، ومن حدوث إزهار ثان متأخر قد يعرض الأزهار للإصابة باللفحة النارية.

- في خف الأزهار والعقد الثمري باستعمال المنظمات elegetol أو NAA على التفاح والخوخ، أو أيضاً نفتيل أسيتاميد ethephon naphtyl acidamide NAD ومورفاكتين morphactine وGA3 وغيرها.

- في عقد الثمار وإنتاج الثمار البكرية في الكمثرى والجريب فروت والعنب والبرتقال والموز والأناناس والتين وغيرها وذلك من دون الحاجة إلى التلقيح والإخصاب الزهري، وكذلك لمنع تساقط الثمار وذلك باستعمال GA3 أو TP-5-4-2 أو NAA وغيرها.

- في تسريع نضج الثمار وزيادة حجمها وقدرتها على التخزين؛ وذلك باستعمال هرمون الإثيلين الذي لا يؤثر في الثمار إلاّ بعد اكتمال نموها الطبيعي، وتوافره بتركيز معين وحسب صنف

الثمار، إذ يؤدي ارتفاع تركيزه في أنسجة الثمار إلى تغيرات فيزيولوجية مهمة، مثل زيادة سرعة تنفسها وتركيز مركباتها العطرية وتكثيف أصبغتها القشرية مما يسرع في إنضاجها.

كما يستخدم الإيثيفون في إنضاج البندورة مبكراً ودفعة واحدة؛ مما يساعد على تصريف مبكر للمحصول وإجراء القطف الآلي بالهزازات، ومن ثم زيادة الريعية وتحسين النوعية. كما أمكن استخدام الآلة في قطف ثمار الفواكه، مثل الكرز، والزيتون والخوخ؛ وذلك باستعمال الإيثيفون قبل نضج الثمار بنحو 2-3 أسابيع وبتركيز يراوح بين 960 و1440 مغ/لتر ماء للزيتون وبين 180 و240 مغ/لتر للكرز.

- في إخراج البراعم والبذار من طور سباتها، وذلك بمعاملة البذور بالجبريلين أو السيتوكينين مما ساعد على تقليل مدة التتضيد البارد، أو باستعمالها معاً من أجل الاستغناء عن عملية التتضيد الرملي المبرد.

- وما يتعلق باستعمال مثبطات النمو على الأشجار المثمرة، فهناك عدد كبير من المركبات الكيماوية المستعملة على نطاق واسع، منها 1618 amo والفوسفون د والآلار وأملاح الهيدرازونيوم والمورفولينيوم، فعلى سبيل المثال لا الحصر أثبتت الأبحاث أن استعمال محلول الآلار على النباتات البستانية المثمرة يؤدي إلى تأخير نمو الطرود، أو إلى تقليل حجم الثمار وشكلها؛ وذلك حسب موعد الرش وتركيز المثبط. كما تبين أن استعمال المالك هيدرازيد يؤدي إلى منع إنبات البصل في أثناء خزنه، ومن ثم إلى زيادة مدة خزنه والإقلال من نسبة تلفه.

وكذلك فإن استعمال CCC أو حمض الأبسيسيك يؤدي إلى زيادة قابلية النبات لتحمل الجفاف وعدم تسريع ظاهرة الشيخوخة في أنواع النباتات كالقمح والشعير والعنب والفاصولياء والنقاح، كما يؤدي أيضاً إلى زيادة مقاومتها للبرد ومنع ضجعان نباتات القمح والشعير والشيلم وغيرها.

9-8-4- مخاطرها على الإنسان والبيئة

منظمات النمو النباتي مواد سامة، ولكن لها آثار إيجابية في العديد من الوظائف الحيوية النباتية وتطبيقاتها العملية فيها، وقد تضرّ بصحة الإنسان والبيئة والحيوان والنبات، ومن أهمها حدوث تسمم بالمواد الغذائية التي استخدمت فيها كميات كبيرة في إنتاجها، وقد ثبت أن للعديد من الكيماويات الزراعية والهرمونية تأثيرات سرطانية على الإنسان، ولها أيضاً تأثيرات جانبية سيئة. مثل التشوهات الخلقية والأورام. ناجمة عن تراكمها في أعضاء مختلفة من جسم الإنسان والحيوان طوال مدة طويلة لاستعمالها بتركيز عالية. وثمة دليل على أن التعرض للمواد الهيدروكربونية المعالجة بالكلور قد يسبب تغيرات غير عادية في نماذج موجات الدماغ.

تعمل المواد المسرطنة المتوافرة فيها على تدمير الحمض النووي في خلايا الإنسان، وتتهيئ الشروط المواتية لبدء النمو السرطاني، ويزداد احتمال الإصابة بالسرطان في أثناء الانقسام السريع للخلايا، ولاسيما عند الرضع والأطفال في سن 1-6 سنوات. وقد أشار بعض العلماء إلى

خطر هذه المركبات الكيماوية على المخ والأعصاب وعلى استقلاب الهرمونات الجنسية للفقاريات بما في ذلك الإنسان.

يلجأ العديد من المزارعين في كثير من دول العالم النامي إلى استخدام الهرمونات في زراعتهم المختلفة لأغراض عدة، أهمها: إحداث التلقيح والإخصاب في الخضراوات في شروط بيئية غير مناسبة، أو تحريض النباتات على تسريع نمو ثمارها وزيادة حجمها، أو للإسراع في نضج المحصول أو تحسين مواصفاته اللونية لتكون أكثر جاذبية للمستهلك، وغيرها.

وقد يستخدم بعضهم هذه المنظمات ومخصباتها على نحو مفرط على بعض النباتات والأشجار المثمرة، مثل العنب والمانجو والبرتقال والفريز والبطيخ وغيرها، وذلك للتبكير في نضجها وزيادة حجمها، ويؤدي ذلك إلى تغيير في مذاقها وبنيتها وتماسكها وتسريع فسادها، وقد تحدث طفرات mutations فيها تؤثر سلبياً في إنتاج السنوات اللاحقة؛ إضافة إلى زيادة مخاطرها على الإنسان، ولاسيما عند استهلاك المنتجات الزراعية المعاملة هرمونياً بعد نضجها بمدة قصيرة لا تسمح بتفككها كاملة. وقد تستدعي زيادة النمو والإنتاج حكماً زيادة التسميد الأزوتي إلى جانب استعمال الهرمونات، ومن ثم التخوف من زيادة النترات التي يحصل عليها الإنسان يومياً من الخضراوات؛ ولاسيما الورقية منها. ومن المعلوم أن النترات غير المستعملة مباشرة في تكوين البروتينات في الخلايا والأنسجة يجري تخزينها في الخلايا والأنسجة على حالتها الأصلية النترائية والتي تتحول بالطهي إلى نيتريت يرتبط بالبروتينات مكوناً مركبات مسرطنة عند المستهلك.

ازداد القلق في كثير من الدول في شأن أمان اللحوم والألبان الناتجة من الحيوانات التي تعطى بعض الهرمونات الصناعية أو حتى الطبيعية ومخصباتها في علائقها لتسمينها، فحظرت دول الاتحاد الأوروبي والدول الاسكندنافية استخدامها، إذ إنها تؤدي إلى تغيير في التوازن الهرموني الطبيعي عند الإنسان والحيوان، وزيادة تركيزها في لحومها وحليبها. وقد نشطت مجموعات بشرية في هذه الدول لتشجيع اللجوء إلى الزراعة العضوية organic agriculture التي تستبعد استخدام هرمونات النمو لتسمين الحيوانات والستيروئيدات لتسمين الدواجن، إضافة إلى الإقلال من استخدام المبيدات المختلفة بغية المحافظة على استدامة البيئة الآمنة وتحسين الإنتاج نوعاً وكمّاً؛ وليكون أكثر أماناً على صحة الإنسان؛ لهذا السبب فقد منعت هذه الدول استيراد اللحوم الأمريكية المنشأ؛ لأن الولايات المتحدة الأمريكية تسمح باستخدام هرمون النمو في إنتاجها. ولحماية المستهلك من الآثار المتبقية للهرمونات لابد من القيام بعمليات تحليل لها ومراقبة آثارها في المحاصيل الزراعية سواء المستخدمة غذاءً للإنسان أم أعلافاً حيوانية.

9-9- المستخلصات العضوية Organic extracts:

تستخدم مستخلصات عضوية (نباتية وحيوانية) عديدة في مجال التسميد وبتراكيز ومواعيد وطرق إضافة مختلفة، وبالرغم من تباين النتائج المتحصل عليها إلا أنها محاولات لمحاكاة منظمات النمو النباتي من جهة محسنات التربة وتغذية النبات من جهة أخرى، علماً أن هذه المستخلصات ليست بديلاً عن التسميد. ونذكر منها:

9-9-1- الأحماض الدبالية Humic acid (هيوميك أسيد):

تعد الأحماض الدبالية مواد طبيعية ناتجة عن تحلل المادة العضوية، كما أنه يمكن تصنيعها من الليونارديت Leonardite (بقايا عضوية) في الوسط القلوي، وخام الليونارديت هو أغنى المصادر الطبيعية لحامض الهيوميك وحامض الفولفيك، حيث تتراوح نسبتها من 40 % إلى 85 %، بينما تبلغ نسبتها في الكمبوست من 2% إلى 5% فقط، والنسبة بين حامض الفولفيك وحامض الهيوميك في خام الليونارديت هي 1: (8 - 10). وحامض الفولفيك ذائب في الماء تحت جميع الظروف (حامضي، متعادل، قلوي)، بينما حامض الهيوميك يرسب عند $pH=2$ فأقل. ترتبط الكتيونات أحادية الشحنة الموجبة مثل البوتاسيوم والأمونيوم مع حامض الهيوميك وحامض الفولفيك برابطة أيونية لتكوين أملاح الهيومات والفولفات، وترتبط الكتيونات ثنائية وثلاثية الشحنة الموجبة مثل: الحديدوز، الحديدك، الزنك، المنجنيز، النحاس، الكالسيوم، المغنيزيوم مع حامض الهيوميك وحامض الفولفيك برابطة تناسقية (Coordination Bond) بالإضافة إلى الرابطة الأيونية لتكوين معقدات أو مخلبيات (Humate Complexes). والسعة التبادلية الكتيونية لحامض الهيوميك = 500 ميللمكافئ / 100 غ مادة جافة، بينما السعة التبادلية الكاتيونية لحامض الفولفيك = 1400 ميللمكافئ / 100 غ مادة جافة، ومن حساب النسبة بين الفولفيك والهيوميك في خام الليونارديت (1: 10)، فتكون السعة التبادلية الكاتيونية لمجموع الحامضين = 600 ميللمكافئ / 100 غ مادة جافة (تقريباً). يمكن لمجموعة الأمين في الأحماض الدبالية ادمصاص أيون الفوسفات السالب وتحسين جاهزيته للنبات، كما أنها تحسن إتاحة العناصر وتثبيط نشاط إنزيم (IAA Oxidase)، حيث يعمل على زيادة نشاط الأوكسين Indole-3-Aceticacid (IAA) الذي يؤدي دوراً فعالاً في تحفيز نمو النبات والجذور. وتحسن الأحماض الدبالية من قدرة التربة على ادمصاص العناصر الغذائية عن طريق ارتباطها بالصوديوم، ما يساعد النباتات على تحمل التراكيز المرتفعة لهذا العنصر الضار والحد من السمية الصودية ومشاكل الحلولية، كما أن إضافة الأحماض الدبالية إلى التربة أو النبات يؤدي إلى زيادة تحمل النبات للجفاف والحرارة المرتفعة وزيادة نمو الجذور. ويضاف حمض الهيوميك

إلى التربة أو يستخدم رشاً على الأوراق وإن كانت الدراسات تشير إلى أن الإضافة الأرضية تعطي نتائج أفضل.

9-9-2- مستخلص العرقسوس *Glycyrrhiza glabra* L. :

يعتبر مستخلص جذور العرقسوس من أهم المستخلصات النباتية المستخدمة حفاظاً على البيئة، وكبدائل عن منظمات النمو الصناعية والأسمدة الكيميائية كونها مواد طبيعية تعمل على زيادة الإنتاجية كماً ونوعاً، ويحتوي على الأحماض الأمينية، السكريات الأحادية، الثانينات، النشا، الفيتامينات (B₁, B₂, B₃, B₆, C, E) وبعض المعادن (Co, Zn, Fe, Mn, Mg, Cu, K) و (P)، و سلوكه مشابه لسلوك الجبرلين لاحتوائه على حمض الميفالونيك وهو بادئ البناء الحيوي للجبرلين، مما يحفز زيادة سرعة الإنبات ويساعد في انقسام الخلايا واستطالتها ويؤدي لزيادة حجم المجموع الخضري والإنتاج. ويفضل استخدامه رشاً على الأوراق.

9-9-3- مستخلص الأعشاب البحرية:

الطحالب البحرية عبارة عن نباتات ليس لها جذور أو ساق أو أوراق، وتعتبر من حقيقية النوى تعيش في مياه البحر، والمياه العذبة، والمناطق ذات الرطوبة العالية، وهي تنمو بقوة بفضل العناصر المعدنية المتوفرة في البحار. وتختلف فيما بينها فمنها المتنامي في الصغر الذي يتكون من خلية واحدة وقد لا يرى بالعين المجردة، ومنها العملاق وهذا الذي يظهر ليغطي السواحل غالباً. يعود تاريخ استخدام الأعشاب البحرية كأسمدة ورقية إلى القرن التاسع عشر، حيث كانت الاستخدامات الأولى لها بمعرفة سكان السواحل، وفي أوائل القرن العشرين بدأت محاولات صناعة على أساس جمع وطحن المواد التي تقذفها العواصف البحرية.

تعتبر مستخلصات الأعشاب البحرية منتجات عضوية تستخدم كمصدر عضوي في تحسين نمو وإنتاج النباتات. ويستخدم منها سنوياً أكثر من 15 مليون طن في المجال الزراعي في مختلف أنحاء العالم، وذلك لأهميتها في تحفيز نمو النبات بتركيز قليلة فضلاً عن احتوائها على العناصر الغذائية الصغرى والكبرى والمواد المشجعة للنمو كالساييتوكاينينات والأوكسينات والجبرلينات والفيتامينات والأحماض الأمينية والعضوية ومركبات مشابهة للأوكسينات وسكريات متعددة، كما وتحتوي على مادة البياتين Betaine الذي يعتبر مصدراً للنتروجين في التراكيز القليلة ومنظماً للأوزموزية في التراكيز العالية وقد يعزى إليه دور هذه المستخلصات في زيادة مقاومة النبات للملوحة والجفاف.

9-9-3-1- أهمية مستخلصات الأعشاب البحرية

تشير الدراسات إلى أن إضافة هذه المستخلصات للتربة تؤدي إلى تحسين صفاتها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، وتزيد من قابليتها للاحتفاظ بالرطوبة كما وتزيد من نشاط الأحياء المجهرية. وتؤثر مستخلصات الأعشاب البحرية في نمو وإنتاجية النباتات تبعاً لنوع المستخلص

أو العشب البحري وطريقة الاستخلاص والتركيز المستخدم وطريقة الإضافة ووقتها وعدد مرات الإضافة ونوع النبات ومراحل نموه كما ووجد إن استخدام هذه المستخلصات يؤدي إلى الإسراع من إنبات البذور وقوة نمو الشتلات كما وتزيد من نمو الجذور والمجموع الخضري وكمية الحاصل وتحسين نوعيته وتؤخر شيخوخة الثمار كما وتزيد من مقاومة النبات للإجهاد الحيوي وغير الحيوي، وهذه المستخلصات قد تعمل كمانع للأكسدة لاحتوائها على الالفاتوكوفيرول وبيتاكاروتين والنياسين والثايمين وحامض الاسكوريك كما وإن لها دورا في زيادة نشاط الإنزيمات *Superoxide dismutase* و *glutathione reductase* و *ascorbate peroxidase* إن مستخلصات الأعشاب البحرية تساعد في زيادة النمو الخضري وذلك بسبب احتوائها على الهرمونات النباتية وبالأخص السايبتوكاينينات التي لها دور فعال في زيادة التفرعات الجانبية كما وإن مثل هذه المحاليل الحاوية على السايبتوكاينينات والجبرلينات تستخدم على نطاق واسع لهذا الغرض. كما وتلعب هذه المستخلصات دورا كبيرا كمانع للأكسدة فضلا عن زيادة محتوى الأوراق من الكلوروفيل نتيجة لوجود مادة البياتين *Betaine* في هذه المستخلصات والتي لها دور مهم في منع تحلل الكلوروفيل.

9-9-3-2- أنواع الطحالب المستخدمة في مجال الزراعة: من هذه الأنواع نذكر: *Ascophyllum nodosum* , *Laminaria spp* , *Sargassum sp* وتمتاز هذه الانواع بالآتي:

أولاً- احتوائها على منظمات نمو طبيعية مثل (مشابهات السيتوكينين، والاكسينات مثل" أندول أسيتيك أسيد- بيتانين- اندول بيوتيرك أسيد") وهي تعمل على الآتي: تأخير دخول النبات الى الشيخوخة، و منع تساقط الأوراق والإزهار والثمار، ومنع الاصفرار لتأثيره الموجب على البروتين والاحتفاظ بمادة الكلوروفيل ومنع تحللها، وتشجيعه لانقسام الخلايا وتشجيع نمو الجذور، وزيادة قدرة تخزين بعض المحاصيل الورقية كما في الخس والبقدونس وقد وجد أنه ينقص من معدل تنفس بعض المحاصيل الورقية فيساعد بذلك على تخزينها كما في الأسبرجيس و السلق.

ثانياً- احتوائها على منشطات ومحفزات نمو مثل (حمض الالجينك، اللامينارين، المانيتول، فيوكودان، ميثيل بينتوسان) والمواد العضوية الطبيعية التي تتكون منها تعمل على الآتي:

- فهي من المواد المحسنة للتربة عن طريق زيادة السعة التبادلية لها في حالة الإضافة للتربة.
- تشجع زيادة أعداد للبكتريا النشطة في التربة مما يحسن من كفاءة الامتصاص.
- وجد أن الرش بمستخلصات الطحالب يحسن من كفاءة عملية التمثيل الغذائي داخل الورقة عن طريق زيادة كفاءة عملية البناء الضوئي.

- وجد أن الرش بمستخلصات الطحالب يزيد من مقدرة تحمل بعض النباتات للإصابات الحشرية مثل العنكبوت الأحمر وكذلك وبعض أنواع فطريات البياض كما ويقلل من الإصابة ببعض أمراض التربة مثل (النيماتودا) عند حقنها مع ماء الري.
- ثالثاً- تحتوي الطحالب والأعشاب البحرية على مجموعة من المركبات المسؤولة عن المناعة والتنشيط مثل مادة " البيتاين" (Betaines) والتي تتبع trimethylglycine. فالأسكوفيللم يحتوي على (betaine) Amino buteric acid، Amino valeric acid betaine، واللاميناريا وفوكس يحتويان على مادة (6N - trimethylglycine (laminine))، وفوكس يحتوي على مادة (glycine betaine). والتي لها أدوار هامة في تنشيط المناعة بالنباتات .
- رابعاً- احتوائها على مادة أوليجو سكارايدز Oligosaccharides وهي تتكون عند (استخلاص الطحالب حيث يحدث تحول للالحينات الى أوليجو سكارايدز) وهي ترفع من كفاءة تحمل النباتات لمعظم ظروف الإجهاد وزيادة المناعة حيث تحسن المناعة الداخلية بالخلايا عن طريق زيادة مستوى الانزيمات الداخلية المسؤولة عن تكوين مركبات المناعة(الفيتواليكسينات) ويطلق عليها المناعة المستحثة.
- خامساً- تحتوي على فينولات طبيعية O_6H_6C (Phenols) مثل التانينات وهي لها دور كبير كمضادات بكتيرية وفطرية وفي نفس الوقت تقوم بدور مشابه لهرمونات النمو الطبيعية وتحسن من تكوين اللجنين بالنباتات مما يزيد من زيادة تحملها للأمراض .
- سادساً- احتوائها على مادة : الألبينيك أسيد : " مادة مخلبية طبيعية " تعمل على تخليب "Ca , Mg , Mn , Zn , Fe وتنشيط تكوين البولي سكارايدز وتنشيط تكوين منظمات النمو الطبيعية والبولي امين والمضادات الحيوية الطبيعية داخل النبات ومركبات المناعة "الفيتواليكسين" سابعاً- احتوائها على مادة (اللامينارين) Laminaran + phytohormons يعمل على مقاومة ظروف الإجهاد التي قد يتعرض لها النبات.
- ثامناً- احتوائها على أحماض أمينية حرة مثل (جليسين- الانين- فالين- ميثونين- ايزوليوسين- ثريونين- سيستين- فنيل الانين- سيرين- سريونين- لايسين- جلوتاميك- اسبارتك- ارجنين- هيدروكسي برولين) تعمل على الآتي:
- الأحماض الأمينية: مركبات طبيعية تساعد على النمو المتوازن والجيد للنبات وتزيد من استجابة النبات للتسميد وزيادة المقدرة على تحمل بعض الأمراض وكذلك لتحمله لظروف الإجهاد المختلفة.
- تعمل على تحسين نمو المحاصيل البستانية (خضر - فاكهة - محاصيل - نباتات الزينة) وتزيد من قوة نموها
- زيادة المجموع الجذري للنباتات وتقويته.

- تعمل على زيادة تركيز الكلوروفيل واستقبال الطاقة الضوئية وسكريات البناء الحيوي.
 - توفير الطاقة اللازمة لتصنيع البروتين داخل النبات.
 - توفير جزء من الاحتياجات النيتروجينية للنباتات وكذلك منع التسمم الداخلي بالأمونيا للنباتات.
- تاسعاً- إحتوائها علي بعض أنواع الفيتامينات:** مثل ثيامين (فيتامين B₁)- ريبو فلافين B₂ - فيتامين B₁₂ - فيتامين (C) والتي تعمل على الآتي:
- تنشيط النمو وتنظيمه داخل النبات.
 - ينشط عملية التمثيل الضوئي ويشارك في نقل الإلكترونات أي عمليات الأكسدة والاختزال وينشط تكوين الاكسينات الطبيعية داخل النباتات.
 - دور أساسي في تكوين الاكسينات ولهذا فهو ينشط التجذير كما يلعب دوراً أساسياً في زيادة الانقسامات المرستيمية.
 - ينشط عملية التمثيل الضوئي (الكلوروفيلي) وتكوين السكريات داخل النبات.
 - منظم لعمليات الأكسدة والاختزال داخل النبات.
- عاشراً- احتوائها علي بعض العناصر المغذية والمفيدة مثل (النتروجين العضوي- فوسفور- كالسيوم- حديد- يود) تعمل على الآتي:**
- تعمل كمكمل غذائي نشط داخل برامج التسميد.
 - تشجيع نمو الجذور والمجموع الخضرى.
 - معالجة نقص بعض العناصر الصغرى المذكورة (حديد - يود - منجنيز - زنك).
 - زيادة مقاومة النبات لبعض الأمراض الفسيولوجية الناجمة عن نقص الكالسيوم.
- 9-3-3- فوائد مستخلصات الطحالب والأعشاب البحرية:**
- يحتوي على منشطات ومحفزات نمو وأحماض أمينية حرة عند الاستخلاص (اوليجو سكارايدز - حمض الالجينك- اللامينارين- مانيتول -فيوكودان- ميثيل بينتوسان - أحماض أمينية حرة - فيتامينات) تعمل على الآتي:
- تعمل على حماية بعض الأنزيمات الداخلية من التلف وتساعد في رفع الأسموزية الداخلية للنباتات.
 - يشجع زيادة أعداد البكتيرية النشطة في التربة مما يحسن من كفاءة الامتصاص.
 - الرش بمستخلصات الطحالب يحسن من كفاءة عمليات التمثيل الغذائي داخل الورقة عن طريق زيادة كفاءة عملية البناء الضوئي وكذلك تنشيط نمو الجذور.
 - الرش بمستخلصات الطحالب يزيد من مقدرة مقاومة النباتات للحشرات مثل العنكبوت الأحمر والجرب والبياض والفطريات كما يقلل من أمراض التربة (النيماتودا) عن طريق

تحفيز تكوين الفورمالدهيد بطريقة طبيعية داخل النبات عن طريق مجموعة المثيل الموجودة بها وبالتالي ترفع من درجة التحمل للإصابات المرضية .

- تحتوى مستخلصات الطحالب على بعض منشطات النمو والعناصر الصغرى والأحماض الأمينية والفيتامينات ولذلك فهي تشجع نمو النباتات وزيادة المحصول وتحسين الجودة.
- التسميد بمكمورة الطحالب والأعشاب البحرية له تأثير كبير بالمقارنة بالأسمدة المعدنية وذلك لاحتوائه على كمية كبيرة من المادة العضوية التي تحتفظ بالرطوبة وتساعد في تيسر العناصر الغذائية مما يسهل امتصاص الجذور للعناصر من سطح التربة.
- الدراسات العديدة أثبتت أن إضافة مستخلصات الطحالب إلى الأسمدة المستخدمة في الأراضي الجيرية المنزرعة بمحصول البندورة أو فول الصويا أدى إلى زيادة النمو الخضري وكان أقوى وأسرع بدرجة ملحوظة.
- إضافته كمستخلص إلى البيئات المستخدمة في زراعة أنسجة نباتات البيكان والعنب والفول السوداني وجد أن التفريع الخضري والجذري كان أسرع وبدرجة جيدة.
- وجد بتحليل مستخلص الطحالب أن الرقم الحامض لها يتراوح بين 5.6 - 6.5 مما ساعد على خفض القلوية بمجال واسع بمعظم أنواع الأراضي خاصة القلوية والقاعدية.
- إضافة كمستخلص لبيئة نمو الشتلات أدى إلى الإسراع في إنبات بذور البندورة، كما ساعدت في نفس الوقت على إنتاج شتلات قوية ذات تفريع خضري غزير وقوي.

9-3-4- طرق الاستخدام:

أ- إما في صورة مكمورة (كمبوست): حيث توضع مع تجهيز التربة للزراعة أو تخلط مع بيئات الزراعة في المشاتل.

ب- في صورة مستخلص مركز (سائل) أو في صورة بودر مركز يتم استخدامه إما:

- رشاً علي الأوراق.
- حقناً مع ماء الري.
- معاملة البذور وذلك بنقعها في المستخلص لزيادة نسبة وسرعة الإنبات.
- بمعاملة قواعد العقل بالنقع قبل غرسها بالمشاتل لتحسين نسبة التجذير.

هذا وتختلف معدلات الاستخدام تبعاً لنوع النباتات والتربة وكذلك تبعاً لتركيزات ونقاوة

المستخلص المستخدم. وتوجد مستخلصات أخرى مثل مستخلص البصل والثوم وغيرها.

9-10- المستخلصات الحيوية:

يعرف السماد الحيوي بأنه منتجات خلايا حية مستخلصة من نماذج مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة، التي لها القدرة على تحويل العناصر المهمة غذائياً من الشكل غير المتاح الى الشكل

المتاح، من خلال عملية حيوية كتنشيط الآزوت و إذابة صخر الفوسفات. ونذكر من المستخلصات الحيوية الخميرة.

تعد خميرة الخبز *Saccharomyces cerevisiae* L إحدى أهم الأسمدة الحيوية التي توفر تغذية آمنة للنبات خالية من أي ضرر بيئي، وتنتمي خميرة الخبز إلى العائلة الفطرية *Saccharomycetaceae*، وهي كائنات حية دقيقة، أحادية الخلية، حقيقية النوى eucaryotic، مضاعفة الصبغيات عادة، تتكاثر خضرياً بوساطة التبرعم، وجنسياً بوساطة تشكيل الأبواغ الزقية *Ascospore*. وتعد الخميرة مادة بروتينية تحتوي على 13 فيتامين وخصوصاً فيتامين B وتحتوي على 16 حمضاً أمينياً بما فيها الأساسية للنمو، وتحتوي على مجموعة من العناصر منها الفوسفور والزنك والبوتاسيوم والحديد. بالإضافة إلى كونها مصدر مهم لحمض الفولفيك والملاونين وهرمون الستوكسين الذي يؤدي إلى تنشيط عملية الانقسام لخلايا النبات، فيزداد المجموع الخضري في النبات.

9-11- المواصفات القياسية للأسمدة العضوية:

أ- أسمدة عضوية تحتوي مادة عضوية ذات منشأ نباتي ويعد البتموس (التورب المخصب والخام) والكومبوست في حكم هذه الأسمدة.

المواصفات العامة:

• ألا يدخل في تكوينها مخلفات المسالخ أو المعامل الصناعية أو مخلفات المدن سواء كانت صلبة أو سائلة (نواتج محطات معالجة المياه) وخالية من الهرمونات المضافة والمواد الإشعاعية.

• ألا تزيد نسبة الصوديوم الذائب عن 5% وزناً

• ألا يزيد محتواها من العناصر الثقيلة مقدراً ppm كما هو موضح:

رصاص	زرنيخ	كروم	نيكل	كاديوم	زئبق
150	25	150	70	5	3

• ألا تقل نسبة الكربون العضوي في الأسمدة السائلة عن 10 غ كربون عضوي في 100 غ سماد سائل.

• ألا تقل نسبة الكربون العضوي في الأسمدة العضوية الصلبة عن 18 غ كربون عضوي في 100 غ سماد صلب.

• إذا كانت نسبة الكربون العضوي أقل من النسبتين المذكورتين أعلاه فإنها تعامل معاملة السماد المعدني في حال مطابقتهما لمواصفات الأسمدة المعدنية ولا يسمح للمنتج أو المستورد الإشارة إلى احتواء السماد على الكربون العضوي في هذه الحالة.

- في حال رغبة صاحب العلاقة إضافة العناصر المعدنية الكبرى الرئيسية الى تركيبة السماد العضوي يجب ألا تتجاوز هذه النسب الحدود الدنيا لنسبة الكربون سواءً في الأسمدة السائلة أو الصلبة.

المواصفات الخاصة:

1- التورب (خث - بيتموس - نورف):

- 1- التورب الخام: يجب أن تتوافر فيه الشروط التالية:
 - يجب أن يكون خالياً من التربة والآفات و الحشرات والنيماطودا الممرضة للنبات ومسببات الأمراض الضارة بالإنسان والحيوان والنبات وكذلك بذور النباتات المختلفة والفطور والبكتريا الضارة وفق أنظمة الحجر الصحي النباتي و خلوه من المواد المشعة.
 - ألا تزيد الكثافة الظاهرية عن 250 غ/ل من الوزن الجاف
 - يجب أن تكون جديدة وغير مجددة
 - يجب ان تكون متجانسة اللون والقوام وخالية من الروائح الغريبة وبشكل خاص روائح المبيدات
 - يجب أن تتراوح درجة الحموضة pH ما بين 2.5-7.5 ضمناً ويضاف على الملصق عبارة (غير صالح للاستعمال المباشر كوسط للنمو) إذا كان pH أقل 5.
 - ألا يزيد محتواها من العناصر الثقيلة مقدراً ppm كما هو موضح:

رصاص	زرنبيخ	كروم	نيكل	كاديوم	زئبق
150	25	150	70	5	3

- ألا تزيد الناقلية الكهربائية EC عن 0.175 دسي سيمينز/م
- ألا تزيد نسبة الرماد عن 15% من الوزن الجاف
- ألا تقل نسبة المادة العضوية عن 85% من الوزن الجاف
- ألا يزيد عنصر الصوديوم الذائب عن 50 ملغ/ل
- 1-2- التورب المخصب: تتطبق عليه كافة الشروط المطلوب توافرها بالتورب الخام باستثناء الآتي:

- ألا يزيد محتواها من العناصر الثقيلة مقدراً ppm كما هو موضح:

رصاص	كروم	نيكل	كاديوم
100	75	100	3

- ألا تزيد الناقلية الكهربائية EC عن 0.5 دسي سيمينز/م
- ألا يزيد عنصر الصوديوم الذائب عن 250 ملغ/ل

- ألا تزيد نسبة كربونات الكالسيوم عن 5% وزناً

2- الكومبوست المنتج محلياً:

❖ الخواص الفيزيائية:

- يجب ان يكون خالياً من المواد غير قابلة للتحليل (مطاط- بلاستيك- أكياس نيلون.....) ويتم تقديرها وفق الاختبارات التالية:
- اختبار المواد الصلبة: يجب أن يمر 95% من وزنه على الأقل من خلال منخل فتحاته 12مم.
- اختبار الشوائب: لا تزيد نسبة المواد الغريبة الصلبة عن 1% وزناً عند إجراء الاختبار.

❖ الخواص الكيميائية

- ألا تزيد نسبة الرطوبة عن 20% وزناً
- ألا تقل نسبة المادة العضوية عن 70% وزناً من المادة الجافة
- ألا تزيد نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N في الناتج النهائي عن 25%
- ألا تقل نسبة الأزوت العضوي في الكومبوست عن 1% وزناً
- ألا تزيد الناقلية الكهربائية EC عن 2.5 دسي سيمينز/م في مستخلص مائي (10:1).
- ألا تزيد نسبة كربونات الكالسيوم عن 5% وزناً
- يجب أن تتراوح درجة pH الكومبوست في مستخلص مائي (10:1) ما بين 5-8/
- ألا يزيد محتواها من العناصر الثقيلة مقدراً ppm كما هو موضح:

رصاص	زرنيخ	كروم	كاديوم	زئبق
120	25	100	3	3

ب- أسمدة عضوية ذات طبيعة مخيلية (شيلاتية)

- يجب أن تكون خالية من الهرمونات المضافة والمواد الإشعاعية ، وأن يكون تركيز العناصر الثقيلة مقدراً ppm كما هو موضح:

رصاص	زرنيخ	كروم	كاديوم	زئبق
150	25	150	5	3

- تحدد نسبة الصوديوم في هذه الأسمدة
- بيان شكل التخليب للمعدن الشيلاتي.

الفصل العاشر

10- تكنولوجيا التسميد Fertilization Technology

10-1- تكنولوجيا التسميد:

تشير الدراسات إلى أن الزيادة في المحصول تعود في معظمها إلى أثر التسميد، ويحكم التسميد عدد من العوامل الأساسية ذكر منها:

1- خصوبة التربة وخصائصها الفيزيائية والكيميائية:

تقع سوريا ضمن المناطق الجافة ونصف الجافة وهذا ما يترتب عليه كون الترب السورية قليلة التطور غير ناضجة، مشبعة بالقواعد والقواعد

الترابية، أي أن السعة التبادلية الكاتيونية لها عالية، كما أنها غنية بكاربونات الكالسيوم، ودرجة تفاعل التربة قاعدي، وكذلك الغطاء النباتي ليس كثيفاً مما يجعل من كمية المادة العضوية منخفضة فيها، ونتيجة ارتفاع درجة الحرارة فترة طويلة من السنة يكون تحلل المادة العضوية سريعاً، وبالتالي انخفاض كمية النتروجين في التربة. وجملة هذه الخصائص تقلل من إتاحة العناصر الغذائية نتيجة عمليات الادمصاص والترسيب، وتجعل من النتروجين أهم العناصر الواجب إضافتها بصفة مستمرة حتى تحصل النباتات التي تنمو في هذه الترب على حاجتها منه. ومما لاشك فيه أن الملوحة هي سمة من سمات ترب المناطق الجافة ونصف الجافة، وما يفاقم هذه المشكلة نوعية مياه الري. وهي بدورها تؤثر استجابة النبات للتسميد.

2- نوع النبات: يختلف البرنامج السمادي مع اختلاف المحاصيل، حيث نجد أن البقوليات لا تحتاج للتسميد النتروجيني وتخفف من احتياجات المحاصيل التي تزرع بعدها. كما أن للعمليات الزراعية أهمية في اختيار طريقة إضافة السماد وموعده ونوعه، مثلاً الترب المغمورة لا يضاف لها النترات. زراعة القطن وغيره من المحاصيل على خطوط تجعل من التسميد في جور أسفل مستوى جذر النبات أفضل من التسميد نثراً كما في القمح وغيرها التي تبذر بذراً. ويضاف السماد في الموعد الذي يحتاج النبات إليه بأكبر قدر. كما أن النباتات تختلف في تفضيل عنصر غذائي على الآخر، ومثال ذلك نجد أن البطاطا تستهلك البوتاسيوم لدوره في انتقال وتكوين النشأ أكثر من المحاصيل التي لا تنتج هذا القدر من النشأ، وفي ذات السياق نجد أن النباتات التي يزداد إنتاجها من البروتين تحتاج كميات أكبر من النتروجين.

3- عوامل تتعلق بالسماد: الصفات الطبيعية للسماد مثل التكتل والتميع، نوع السماد حيث مثلاً ينصح باستبدال اليوريا بسماد نتروجيني آخر في الترب الرملية الفقيرة بالكالسيوم لأنه ينتج عن انحلالها تجمع للنترتيت وزيادة في فقد النتروجين.

4- موعد السماد: يجب أن يكون في متناول النبات في الوقت الذي يتزايد نشاط النبات فيه سواء بالنمو أو التخزين، كما أن موعد التسميد يرتبط بأطوار النمو، فالقمح مثلاً يعتمد على نتروجين التربة ونتروجين البذور في الطور الأول من نموه ابتداء من الإنبات وحتى التفريع، ويكون امتصاص النتروجين السمادي في هذا الطور قليلاً ثم يصبح أعلى ما يمكن في الفترة بين التفريع وظهور السنابل ثم ينخفض من ظهور السنابل حتى النضج، لكن امتصاص الفوسفور السمادي والأرضي يستمر حتى النضج إذ لم يتوقف الامتصاص في طور التخزين.

لذلك دراسة نمط النمو و الامتصاص لكل عنصر ذو أهمية كبيرة في تحديد موعد إضافة السماد حتى يجد النبات حاجته من العنصر في الوقت الذي يزداد الطلب عليه.

5- المعاملات السمادية السابقة: مثلاً إضافة السماد البلدي بكميات كبيرة تبقى نسبة من العناصر الغذائية المضافة في هذا السماد في التربة، بعد حصاد المحصول المسمد به، فيكون لها أثر في المحصول التالي وبذا تقل حاجة المحصول للتسميد.

6- العوامل الجوية: قد تغسل بعض العناصر جراء الأمطار الغزيرة وتضيع مع ماء الصرف، وانخفاض الحرارة شتاءً يشجع على إضافة الأسمدة الأزوتية للقمح والفوسفاتية للبرسيم وكثيراً ما ينصح بإضافة سماد بوتاسي لمقاومة البرودة .

10-2- طرائق إضافة الأسمدة Methods of Fertilizer Application

تختلف طريقة إضافة السماد باختلاف المحصول ومتطلباته الغذائية ونوع التربة وطريقة الزراعة ونوع السماد وطبيعة ذوبانه وغيرها. وتضاف الأسمدة بالطرائق الآتية:

1. قبل الزراعة: تتبع هذه الطريقة عند التسميد بالأسمدة العضوية المختلفة أو الأسمدة الفوسفاتية والبوتاسية، ويهدف التسميد بهذين العنصرين الوصول بتركيزهما إلى سوية معينة في التربة يطلق عليه تسميد الأساس *fumure de fond*، وتكون كميته المضافة أكبر من الكمية المستنزفة بالمحصول المزروع خاصة في الترب الفقيرة بعنصر الفوسفور. وبعد الوصول إلى سوية معينة لهذين العنصرين في التربة يطبق تسميد العناية *fumure de l'entretien*، الذي يهدف إلى المحافظة على تربة غنية بالفوسفور والبوتاسيوم والأزوت، وتوضع الأسمدة الفوسفاتية والبوتاسية عادة نثراً أو في أشرطة، أو تكبيشاً بالمقادير المناسبة لكل نبات وفي حدود احتياجه.

2- بعد الزراعة تسمد المحاصيل تبعاً للطرائق الآتية:

- الوضع مع البذور: يستعمل عند زراعة المحاصيل الحبية التي تتحمل التلامس المباشر مع الأسمدة.
- النثر: تتبع في تسميد الخضار الكثيفة مثل الجزر والسبانخ والملوخية وغيرها.

- السرّ (الوضع بجانب الحفر أو النباتات): تتبع في تسميد الحاصلات التي تزرع في خطوط كالذرة الصفراء والبطيخ والقرنبيط وغيرها.
- الرش على الأوراق: يستعمل في تسميد محاصيل الخضار بصورة رئيسية، والأشجار المثمرة عند ظهور أعراض النقص بالعناصر الصغرى.
- حقن الغازات أو المحاليل المائية للأسمدة: تستخدم الأمونيا الغازية بنجاح في تسميد محاصيل الذرة الصفراء والقطن والشوندر السكري وغيرها، وعلى أن تكون التربة رطبة لمنع تسرب الغاز وللإسراع في ادمصاصه على سطح حبيبات التربة.

ويمكن تفصيلها وفق التالي:

أ- إضافة الأسمدة الصلبة: تشمل الإضافة السطحية أو تحت السطحية و الإضافة قبل أو عند أو بعد الزراعة.

- الإضافة قبل الزراعة: وتشمل النثر Broadcast تضاف العناصر المغذية بشكل متساو و على سطح التربة. وهنا يمكن أن تخلط مع السطح أو تترك بدون خلط والأفضل هو الخلط من خلال الحراثة.
- الإضافة عند الزراعة: وهنا من المفضل الاضافة بمسافة 2.5-7.5سم إلى جانب أو تحت البذرة وبعمق 2.5-5 سم. أو بعمل خط مواز لخط البذار وبمسافة معينة ويوضع السماد فيه أو تتم الاضافة بعمل حزمة حول البذرة وهذا شائع مع المحاصيل التي تزرع على مسافات بين جورة وأخرى.
- بعد الزراعة: وتكون إما فوق النباتات كما هو الحال بما يسمى بالإضافة الفوقية Top dressing لاسيما بالنسبة لإضافة النتروجين لساحات المروج والمسطحات الخضراء أو الاضافة الجانبية أو التلقيح أو الحزم وهي طريقة شائعة الاستعمال للدفعات المختلفة للسماد ولمحاصيل الخضر بشكل خاص.

ب- التسميد بالرش (التسميد الورقي) Foliar application

يمكن للنبات أن يمتص كثيرًا من العناصر الغذائية خلال الأوراق كما أن هذا الامتصاص يكون كاملاً ويحدث بسرعة، ونتيجة لذلك اتجهت الأنظار إلى استخدام الأسمدة رشا لمد النباتات بالعناصر الغذائية. ويواجه عملية التسميد بالرش عدد من الصعوبات نذكر منها ما يلي:

- احتراق حواف الأوراق نتيجة زيادة تركيز المحلول المستخدم.
- قلة معدل العنصر الغذائي المضاف في الرش الواحدة . يحتاج الأمر إلى تكرار عملية الرش في حالة الاحتياج إلى التسميد بمعدلات معتدلة أو كبيرة من العناصر الغذائية وهذا يؤدي بالتالي إلى ارتفاع تكلفة التسميد بالنسبة للوحدة من العنصر الغذائي ما لم يتم اشتراك أكثر من غرض في عملية الرش .

- تراكم بقايا المواد المرشوشة على الأوراق تشجع نمو العناكب .
- وفى عملية التسميد بالرش (التسميد الورقي) تدخل الكيمياءات المرشوشة على سطوح الأوراق إلى داخل النبات عن طريق: طبقة الإندودرم الملاصقة للعروق، والثغور، والشقوق والجروح.
- ويتأثر امتصاص العناصر وانتقالها داخل النبات بالعوامل الآتية:
- درجة التصاق السائل بالورقة: فخشونة سطح الورقة يعمل على خفض درجة الالتصاق، وتكون أعشبية هوائية أسفل نقط المحلول يؤدي إلى خفض درجة انتشاره، ولذلك يضاف عادة مواد ناشرة تقلل من الجذب السطحي لمحاليل الرش وتزيد من تفلطح القطرات فوق سطح الورقة ويشترط في هذه المواد ألا تتفاعل مع المركبات السمادية في محلول الرش .
- يزداد معدل الامتصاص بزيادة درجة الحرارة وانخفاض درجة الرطوبة في الجو في حدود معقولة.
- تزداد سرعة الامتصاص في الأوراق الصغيرة في العمر والمكتملة النمو عن الأوراق المتقدمة في العمر.
- تزداد الكمية الممتصة من العنصر بزيادة تركيزه في محلول الرش في الحدود المناسبة.

وينصح باستخدام هذه الطريقة في:

- الزراعة في أرض رملية ويخشى من تسرب وضياع الأسمدة بالصراف.
- علاج أعراض النقص التي تظهر على النبات وذلك لسرعة امتصاص العناصر، ولهذه الظاهرة أهمية خاصة بالنسبة للعناصر الصغرى لأن تفاعلات هذه العناصر مع الأرض تجعل امتصاصها بواسطة النبات عن طريق الجذور ضئيلاً.

عند رش محاليل مركبات العناصر المغذية الصغرى يجب مراعاة الإرشادات التالية:

- ألا تكون الأرض شديدة الجفاف أو مروية حديثاً .
- يجرى الرش في الصباح الباكر أو بعد انقضاء وقت الظهيرة وانكسار حدة درجة الحرارة .
- يوقف الرش عند اشتداد الرياح وعند توقع سقوط الأمطار .
- يكون الرش في اتجاه الرياح الهادئ وليس عكسه .
- الالتزام بمواعيد الرش والتركيزات والكميات الموصى بها .
- تسجيل تاريخ الرش وكمية المركب وكذلك كمية الماء المستخدمة.
- تسجيل أية ملاحظات غير طبيعية خلال عملية الرش.
- وبالنسبة لتحضير محاليل الرش:
- تقسم الكمية المحددة من مركب العناصر الصغرى للمساحة على عدد مرات ملء خزان موتور الرش أو الرشاشة.

- عدم إضافة مركب العناصر الصغرى مباشرة إلى خزان موتور الرش، بل تذاب الكمية أولاً في وعاء خارجي به كمية قليلة من الماء حتى يذوب المركب تماماً ثم ينقل ما به إلى خزان موتور الرش المملوء بالماء.

وبالنسبة لعملية الرش نفسها:

- استخدام طرق الرش التي تضمن خروج محلول الرش في صورة رذاذ دقيق.
- رش جميع النباتات رشا متساويا ومن جميع الجهات على شكل شمسية مع رش الأجزاء العليا أولاً أي أن يكون الرش من أعلى إلى أسفل.
- رش جميع مسطحات الأوراق رشا جيدا مع التركيز على النموات الحديثة.
- ضمان وصول محلول الرش للسطح السفلي للأوراق.
- عند رش الأشجار الكبيرة الحجم يكون الرش من الداخل والخارج.
- عدم تكرار أو إعادة الرش بكمية المحلول المتبقية خوفا من زيادة التركيز عن المعدل على بعض النباتات.

ت- التسميد مع ماء الري Fertigation

بدأت كثير من الدول المتقدمة في استخدام آلات الري الحديثة للري بالرش والري بالتنقيط ويمكن مع هذا النظام في الري إدخال محاليل الأسمدة عن طريق خزان يتم توصيله ببداية خط الري بمعدل معين ليتم مزجه وتخفيفه للدرجة المطلوبة في مياه الري المستخدمة في عملية الري بالرش أو بالتنقيط وتتم عملية دفع الأسمدة في ماء الري في الأوقات التي يحتاج فيها المحصول إلى التسميد.

ومن مميزات هذا الاستخدام :

- رخص التكاليف (الطاقة والعمالة والآلات المستخدمة).
 - أكثر مرونة في اختيار وقت ومعدل التسميد (خصوصا التسميد النتروجيني).
 - التحكم الدقيق في توزيع انتشار العناصر الغذائية مع نظم ذات ضغط منخفض .
 - تقليل الفاقد عن طريق الرش وخاصة العناصر المتحركة(النتروجين في الأراضي الرملية) .
 - تجنب الارتفاع المؤقت للملوحة نظرا للتوزيع الزمني الكبير للاحتياجات السنوية.
- وهنا، يجب أن نشير إلى أنه يفضل أن تكون المياه المستخدمة في الري والتسميد معاً قليلة في درجة تركيز الأملاح بها وخاصة وقت إجراء عملية التسميد خوفاً من حدوث عملية ترسيب للأملاح في المواسير أو الرشاشات وعلى ذلك، يجب أن يؤخذ في الاعتبار دراسة خواص مياه الآبار التي ستستخدم في الري وهي: التركيز الكلي للأملاح. تركيز الصوديوم بالنسبة لباقي الكاتيونات. تركيز عنصر البورون أو غيره من العناصر التي قد تعتبر سامه للنبات عند وجودها

بتركيزات تزيد عن حد معين. تركيز الكربونات بالنسبة لتركيز الكالسيوم والمغنسيوم. تركيز الكلوريد والكبريتات.

10-3- إضافة الأسمدة العضوية: يفيد استعمال الأسمدة العضوية بشكل عام في جميع أنواع الترب وبخاصة في الأراضي الفقيرة بالمادة العضوية كأراضي المناطق الجافة ونصف الجافة، وتضاف الأسمدة المتخمرة في فصل الربيع إلى الترب الخفيفة كالترب الرملية والكلسية بهدف تحسين خواصها المختلفة، أما الأسمدة غير المتخمرة (الطازجة) فتضاف في فصل الخريف إلى الترب الثقيلة الطينية كي تتحلل قبل موسم نمو النبات ولزيادة كمية المواد الخشنة فيها وتحسين خواصها الفيزيائية والمائية، ويجب طمر السماد العضوي مباشرة في التربة لمنع فقد الأمونيا وخاصة في الأراضي المشمسة وكثيرة الرياح. ويخلط السماد العضوي مع التربة بالفرامات أو المحارث القرصية ولعمق يختلف بحسب نوع التربة، ففي الترب الخفيفة الجيدة البنية يطمر على عمق أكبر منه في الأراضي الثقيلة، كذلك في زراعة النباتات الجذرية، وتختلف كمية السماد العضوي المضافة إلى التربة سنوياً بحسب نوع التربة، والزراعة، والهدف من الإضافة ومكونات الأسمدة العضوية الجدول (10-1). وتعد إضافة 30 طن بالهكتار من السماد العضوي مرة واحدة كل ثلاث سنوات كافية للحفاظ على النسبة المعينة من المادة العضوية في التربة، أما إذا كان الغرض من الإضافة تحسين خواص التربة الفيزيائية وزيادة الإنتاج والمحافظة على سوية عالية من المادة العضوية فيها فيجب أن تراوح الكمية المضافة مرة واحدة كل 3 سنوات بين 40 و60 طن بالهكتار.

الجدول (10-1): تركيب الأسمدة العضوية ومدة التخمير

السماذ العضوي	مدة التخمير (يوم)	C %	N %	P %	K %	C/ N
سماذ الغاز الحيوي	25	33.4	2.50	0.66	1.33	13.36
سماذ المزرعة (زبل)	90	32.15	2.55	0.57	1.30	12.60
كمبوست قمامة المدن المعالجة (ناعم)	42	24.90	1.36	0.21	0.66	18.30
فرشة بقر غير متخمرة	طازجة	40.2	1.60	0.50	1.00	25.13
فرشة بقر متخمرة	80	38.2	1.70	0.48	1.20	22.47
فرشة غنم متخمرة	90	32.00	1.60	0.40	1.60	11.56
قش برسيم غير متخمير	طازجة	37.00	3.20	0.29	0.90	11.62
الحمأة (رواسب معالجة مياه الصرف الصحي)	غير محدد	20.70	2.80	0.92	0.50	7.40
كمبوست قمامة المدن المعالجة (خشن)	45	26.70	1.00	0.39	0.38	26.10

المصدر: محمد سعيد الشاطر . الموسوعة العلمية

10-4- موعِد إضافة الأسمدة:

وما يتصل بمواعيد التسميد فإنه يفضل إضافة الأسمدة الأزوتية على دفعات في أثناء موسم النمو، أما الأسمدة الفوسفاتية فتخلط جيداً مع التربة لتصل إلى منطقة انتشار الجذور، وأما الأسمدة البوتاسية السهلة الذوبان، فإنه تفضل إضافتها على ثلاث دفعات، الدفعة الأولى بعد التقريد مباشرة أو بعد التشتيل بأسبوعين، والدفعة الثانية قبل الإزهار مباشرة، والدفعة الثالثة في أثناء عقد الثمار، أما في حالة المحاصيل السريعة النضج كالسبانخ والملوخية والفجل وغيرها من الخضار الورقية فيفضل إعطاء جزء من السماد قبل البذر والباقي بعد مضي أسبوع على مرحلة الإنبات.

10-5- كميات الأسمدة المضافة

تتأثر الاحتياجات السمادية للمحصول بعدة عوامل أهمها: الصنف وكثافة الزراعة والعمليات الزراعية والدورة الزراعية و كمية مياه الري وغيرها. وتضاف الأسمدة الأزوتية على أربع دفعات: الدفعة الأولى وهي 20% من الكمية المقررة عند إجراء البذر، والثانية هي 40% عند التقريد بعد 30 يوماً من البذر، والثالثة 20% بعد 60 يوماً من البذر، وأما الدفعة الأخيرة وهي 20% فبعد 75 يوماً من البذر، ومن الضروري إعطاء رية خفيفة مباشرة بعد إضافة كل دفعة من السماد.

ومن المفيد التذكير ببعض الأسس التي يجب مراعاتها للوصول إلى نجاح عمليات التسميد:

1. يعد عنصر الآزوت قطب الأسمدة، وتتوقف الكمية المضافة من هذا العنصر على كمية المادة العضوية (الدبال) الموجودة في التربة. لذا لابد من تحديد الجرعة المناسبة من الآزوت وتسميد التربة بالكميات المناسبة من الفوسفات والبوتاسيوم بشكل يجعل تركيزهما في محلول التربة مناسباً جداً للزراعات التي تمتاز باستنزاف كبير للغذاء، ويعمد بعد ذلك إلى البحث عن أفضل جرعة من الآزوت مناسبة للحصول على أفضل عائد.
2. من الضروري المراقبة الدورية المنتظمة بواسطة التحاليل الكيميائية لاحتياطي التربة من عنصري الفوسفور والبوتاسيوم وجعلهما دائماً في المستوى المناسب.
3. يجب عدم المبالغة بالتبكير أو التأخير بإضافة الأسمدة للتربة، مع أن الأسمدة الفوسفاتية والبوتاسية ضعيفة الحركة في التربة، مما يعني إمكانية إضافة أسمدة هذه العناصر قبل الزراعة، (وهناك آراء تتصح بإضافة 3/4 كمية الأسمدة الفوسفاتية قبل الزراعة و 1/4 تكبيراً بعد الإزهار أو يضاف هذا الربع الأخير رشاً على الأوراق في الفترة ذاتها خاصة في الترب الكلسية التي ينتثب فيها الفوسفور بعد إضافته وبعد شهر من مراحل نمو النبات). أما الآزوت فيمتاز بسرعة حركيته في التربة، وهذا يحتم اختيار الوقت المناسب لإضافته، وفي الزراعات المروية يفضل تجزئة السماد الأزوتي ليضاف على عدة دفعات خلال مراحل

النمو، أما الأسمدة المركبة التي تحتوي على عنصر الآزوت فإنه يسمد فيها في الفترة التي يستفيد النبات من عنصر الآزوت الموجود في السماد.

4. عند شراء الأسمدة لا تعطى أهمية لسعر العبوة بل لما تحتويه العبوة من مادة فعالة، فالأسمدة الرخيصة ليست دائماً جيدة، وتحسب كميات السماد المضافة إلى مساحة معلومة من الأرض على أساس الوحدات السمادية الفعالة وليس على أساس وزن السماد أو العبوة.

5. يجب أن يكون هناك برنامج تسميد خاص بكل من الدورات الزراعية المتبعة في المزرعة، وأخذ العلم بأن الأسمدة الآزوتية تضاف لكل محصول حسب حاجته، أما الأسمدة الفوسفورية والبيوتاسية فيمكن إضافتها للتربة لتغطي احتياج المحصول الحالي والمحصول الذي يليه في الدورة الزراعية.

6. لكي ينفذ برنامج التسميد بأفضل الشروط يجب تجهيز آلات نثر السماد مسبقاً وحساب كمية الأسمدة اللازمة وتأمينها، ويفضل أن يتم ذلك في الفصول التي تنخفض فيها كمية العمل الزراعي.

7. يلعب قوام التربة دوراً مهماً في اختيار نوع السماد والكمية المضافة منه، فالتربة ذات النسيج الخفيف والتربة الرملية يمكن أن تفقد كثيراً من العناصر الغذائية المضافة بالرشح مع مياه الأمطار أو مياه الري، هذه التربة إن لم تستصلح لتحسين قوامها يمكن التغلب على ظاهرة ضياع العناصر الغذائية بالرشح باستعمال أسمدة معدنية ضعيفة الذوبان أو أسمدة ضعيفة (بطيئة) الإمداد أو إضافة الأسمدة العادية على دفعات للحد من تلوث التربة والمياه والنبات. ويمكن مستقبلاً التصدي لموضوع التلوث الذي يعترض البيئة وصحة الإنسان نتيجة التسميد المعدني، مما يؤثر أحياناً في زيادة الأثر المتبقي للأسمدة المعدنية كزيادة النتراة والنتريت في كل من التربة والمياه والنبات.

وتشير المواجه إلى أنه في حال بلغ تركيز العنصر القابل للإفادة مستوى عالٍ جداً *very high* فتضاف 1/4 الكمية المستنزفة للمحصول، وفي حال كان تركيز العنصر في التربة زائداً *excessive* فلا حاجة للتسميد بينما إذا كان مستوى العنصر عالياً فقط تضاف نصف الكمية المستنزفة من العنصر. وفي حال كان مستوى العنصر عالياً جداً تضاف ربع الكمية المستنزفة.

10-6-6-10-1 - تكنولوجيا صناعة الأسمدة Fertilizer Industry Technology

10-6-1-1 - المواد الأولية للأسمدة

Fertilizer Raw Materials And Reserves

إن المواد الأولية الرئيسية في صناعة الأسمدة هي:

أ- الغاز الطبيعي والنفثا (Naphtha جزء خفيف من الهيدروكربونات) والفيول والفحم لإنتاج الأسمدة النتروجينية.

ب- الخامات الفوسفاتية لإنتاج الأسمدة الفوسفاتية.

ج- خامات البوتاسيوم لإنتاج الأسمدة البوتاسية.

الغاز الطبيعي والنفثا والفيول والكبريت والبوتاس هي مواد كيميائية أو مزيج من مواد كيميائية، ولكل منها صفة خاصة وميزة معينة لا تختلف إلا بشكل نسبي قليل من مكان لآخر.

أما الخامات الفوسفاتية والفحم من جهة أخرى فهي مواد متعدنة ومواصفاتها تختلف كثيراً من مكان لآخر بحسب مكوناتها الأخرى، وهذه المكونات التي لها تأثيرات هامة على عمليات التكنولوجيا عندما تستعمل من أجل تصنيع وتحضير الأسمدة. ويمكن أن يعتبر الماء من المواد الأولية، حيث أن تصنيع الأسمدة وخاصة الأسمدة النتروجينية تحتاج لكميات كبيرة من الماء. ففي صناعة الأمونيا يعتبر الماء المادة الأولية وذلك بالمعنى المحدود والضيق للكلمة لأنه مصدر لأكثر من نصف الهيدروجين المطلوب لصنع الأمونيا فالماء يستعمل لإنتاج البخار وكل طن من الأمونيا يحتاج من 1.5-3 طن ماء وذلك اعتماداً على الطريقة المستعملة ومعظم الماء اللازم يستعمل للتبريد، ولذلك فإن الحاجة الإجمالية للماء اللازم لمصنع الأمونيا يوريا تتراوح ما بين 20-30 م³ ماء/ لكل طن من اليوريا في مصنع طاقته اليومية 1000 طن من الأمونيا /1720 طن يومياً من اليوريا يحتاج إلى كمية من الماء تقدر 150-250 م³/ساعة.

10-6-2-10 - صناعة الأسمدة النتروجينية

صناعة الأسمدة النتروجينية ما هي إلا محاكاة للطبيعة في تصنيع الأمونيا أو النترات من النتروجين الجوي، ثم تطور الأمر بعد ذلك إلى تصنيع النتروجين الأميدي (اليوريا) كما هو مبين في الشكل (10-1)، وتصنع الأسمدة النتروجينية في خطوات تبدأ بتصنيع الأمونيا (النشادر) ثم يتوالى بعد ذلك إنتاج مجموعة من الأسمدة المعدنية المحتوية على النتروجين بصور مختلفة ونسب نتروجين متفاوتة. والخطوة الأولى في تصنيع الأسمدة النتروجينية تتمثل في صناعة الأمونيا من النتروجين الجوي والهيدروجين الناتج من صناعة البتروكيماويات عموماً (الشكل 10-2).

10-6-3- صناعة الأسمدة الفوسفاتية:

تعتبر رسوبيات الفوسفات (خام الفوسفات) المصدر الرئيسي لصناعة الأسمدة الفوسفاتية ويوجد هذا الخام في مناطق كثيرة من العالم وخاصة الوطن العربي ويحضر من الفوسفات المعدنية (الأباتيت) أنواع مختلفة من الأسمدة الفوسفاتية تختلف في محتواها من الفوسفور ودرجة ذوبانها، ولكن ينبغي أن تستخدم الأسمدة الفوسفاتية المعدنية بكفاءة عالية حتى لا ينفد مخزون خام الفوسفات في الطبيعة لأن الخام الصالح للتعدين كميته محدودة في العالم ودورته في الطبيعة غير مستمرة مثل دورة النيتروجين.

من بين المعادن العديدة للفوسفور في التربة فإن معدن الأباتيت الناري والفوسفورايت الرسوبي هي الأكثر استخداماً في تصنيع الأسمدة الفوسفاتية. الأباتيت عبارة عن معدن ناري يتواجد في الصخور التي تكونت منها التربة. أما الفوسفورايت فإنه عبارة عن معدنة هيكل الحيوانات عبر العصور الجيولوجية .

الأباتيت يكون بلورياً أو كامل التبلور أما الفوسفورايت فيكون جزء منه متبلوراً والآخر غير كامل التبلور. إن للفوسفات الصخري، في حد ذاته، قابلية منخفضة جداً للذوبان في الماء، إذ إنه يشبه كيميائياً مينا الأسنان (Enamel). على الرغم من أن الفوسفات الصخري مركز بنحو 30 % من المجموع P_2O_5 ، ولكن P_2O_5 المتاح يشكل نحو 3% أو أقل من الكتلة فقط. والفوسفات الصخري هو المصدر الذي تصنع منه أكثر الأسمدة الكيميائية المحتوية على الفوسفور من خلال معالجة الخام بالأحماض للحصول على السوبرفوسفات (الشكل 10-3).

بعد وصول الفوسفات الصخري إلى مصنع أسمدة، تتم معالجته بالماء لإزالة الرمال والطين، تُجرف الرمال بعيداً بدوامية مياه، ويبقى مزيج من الفوسفات الصخري والطين فقط، تتم إزالة الطين بالسماح له بالارتفاع إلى مستوى حوض الترسيب، حيث يتم كشطه من سطح الماء، أو يجوز للمزيج أن يترسب أيضاً في البرك. تلتصق الجسيمات الدقيقة من الفوسفات الصخري بالطين، يسمى هذا الخليط الفوسفات الصخري الغروي، مصطلح الغروي يشير إلى الطين في المنتج، ولا يعني أن المواد متفوقة على الفوسفات الصخري الطبيعي العادي بسبب حجم الجسيمات الدقيقة. في الواقع، يخفف الطين تركيز الفوسفور ولا يحسن توافره. يحتوي الفوسفات الصخري الغروي نحو 20 % P_2O_5 من المجموع مقارنة بنحو 30 % P_2O_5 من الإجمالي في الفوسفات الصخري العادي. الفوسفات الصخري الغروي يشار إليه أحياناً بفوسفات الصخور اللينة. هذا المصدر ليس ليناً أكثر من الفوسفات الصخري العادي لأنهما لديهما التركيبة الكيميائية نفسها في المركبات الأساسية الحاملة للفوسفات.

ركام أو خبث (Slag) المعادن الأساسية هو منتج ثانوي من حديد الصب (Cast) ومن إنتاج الفولاذ من خامات الحديد التي تحتوي على الفوسفور. وضعت إجراءات صنع الفولاذ والحديد الصلب من هذه الخامات في إنكلترا نحو عام 1877. يزال الفوسفور من الحديد المنصهر أثناء صناعة الحديد الصب والفولاذ، لأن وجود الفوسفور يضعف هذه المنتجات. لإزالة الفوسفور، يصهر الحجر الكلسي والحديد الخام في سخان مفتوح. يتفاعل الحجر الكلسي مع الفسفور في المعدن الخام، وهذا المنتج يصبح أخف من الحديد فيطفو أعلى الكتلة المنصهرة بحيث يمكن سكه للخارج كخبث أو ركام المعدن. يُطحن الخبث المبرد ليصبح بودرة ناعمة لإنتاج السماد. الخبث الأساسي هو أسمدة ممتازة ذات قيمة متساوية تقريباً مع السوبرفوسفات العادي. الخبث الأساسي هو منتج شحيح، عادةً ما يكون متاحاً فقط على مقربة من مصانع الفولاذ التي تستخدم نظام السخان المفتوح. العديد من مصانع الفولاذ تخزن الخبث لحسابها، ولا تقدمها كمواد للبيع. الخبث الأساسي مادة قلوية (Alkaline)، لديها تجبير معادل لنحو 70 % من تجبير الحجر الكلسي الزراعي. يمكن تطبيق الخبث الأساسي بخلطه مع التربة أو بواسطة تطبيقات مندمجة على طول صفوف المحاصيل في الزراعة. المواد العضوية تزيد من توافر الفوسفور من الخبث. ينبغي أن تكون pH التربة نحو 6.0.

يكون سماد العظام تقريباً بنفس فعالية السوبرفوسفات العادي كمصدر للفوسفور. عرفت قيمة العظام كسماد تقريباً منذ أن بدأ الناس بالزراعة. نُسبت الفوائد الزراعية من العظام بدايةً إلى الدهون والجيلاتين في العظام. وقد تم اكتشاف الفوسفور كعنصر نحو عام 1669 في ألمانيا، وعلى مدى السنوات الـ 100 اللاحقة، ظهر الفوسفور على أنه مكون للعظام. وقد عرف عندها أن قيمة العظام في الزراعة كانت في محتواها من الفوسفور. أصبحت العظام كسماد شائعة جداً في إنجلترا بحيث سرعان ما استنفذ الإمداد المحلي الأساسي، ويتم استيراده العظام من أي مصدر متاح.

ينتج سماد العظام بالغلجان وتبخير العظام الخام لإزالة الدهون، ومن ثم طحن العظام. أغلب العظام هي من المذابح. تُطحن العظام بشكل ناعم لصنع الأسمدة. سماد العظام المبخر خالٍ تقريباً من النيتروجين. سماد العظام الخام قد يحتوي على نحو 4% نيتروجين، ولكن ينبغي تجنبه لأسباب صحية. معظم سماد العظام الذي يتم تسويقه مبخر. يمكن تطبيق سماد العظام على التربة بالخلط أو ضمن نطاقات على طول الخطوط. تساعد المواد العضوية أيضاً على تحسين توافر الفوسفور بها. ينبغي أن يكون pH التربة نحو 6.0 للحد من تثبيت الفوسفور.

المواد المشتقة من النباتات، مثل الروث والأسمدة، منخفضة جداً بالفوسفور لتستخدم وحدها كأسمدة فوسفور في التربة الفقيرة. بعد أن يتم رفع مستويات الفوسفور في التربة بالتخمير، يمكن استخدام المواد النباتية للحفاظ على خصوبة الفوسفور في التربة. الروث والأسمدة تُغني

بالفوسفور في كثير من الأحيان بخلطها مع الفوسفات الصخري أو سماد العظام. التطبيقات الطويلة الأجل من الأسمدة الزراعية بمعدلات تفوق الاحتياجات الزراعية تلبية لاحتياجات المحاصيل للفوسفور يمكن أن تؤدي إلى تراكم الفوسفور في التربة. في التربة الرملية، قد يرشح الفوسفور في التربة وإلى المياه الجوفية في ظل الظروف التي تؤدي إلى مستويات عالية من تراكم الفوسفور. وقد يكون الفوسفور العضوي في الأسمدة الطبيعية والروث أكثر تنقلًا في التربة من الفوسفور ذي المصادر المعدنية.

يتم تصنيع سوبرفوسفات بمعالجة الفوسفات الصخري بالأحماض. المعالجة بالحمض تنتج مركبات يكون الفوسفور متاحاً فيها أكثر من ذلك الموجود في الفوسفات الصخري، لكنه ليس بالضرورة أكثر تركيزاً. ليبينج جرب علاج العظام بحمض الكبريتيك نحو عام 1840. في عام 1842، حصل جون ب. لوز وجوزيف ه. جيلبرت (Joseph H. Gilbert) من «محطة روثامستد للتجارب» (Rothamsted Experiment Station) في إنجلترا على براءة اختراع لهذه العملية. وفي وقت لاحق، أدى علاج الفوسفات الصخري بحمض الكبريتيك لتطوير صناعة السوبرفوسفات. الإجراءات نفسها التي يقدمها حمض الكبريتيك تحدث بصورة طبيعية في التربة الحمضية، وفي السماد الطبيعي أو الروث، ولكن هذه العملية أبطأ بكثير وغير مكتملة كتلك التي تحدث في تصنيع السوبرفوسفات. نظراً لأن الفوسفات الصخري قد عولج كيميائياً بحمض الكبريتيك، لا يعتبر السوبرفوسفات سماداً عضوياً.

يتم إنتاج السوبرفوسفات العادي بعلاج الفوسفات الصخري بحمض الكبريتيك. السوبرفوسفات الثلاثي، يسمى أحياناً بالسوبرفوسفات المركز، يصنع بمعالجة الفوسفات الصخري بحمض الفوسفوريك، الذي يتم تصنيعه أيضاً من الفوسفات الصخري. بين الأسمدة التجارية، السوبرفوسفات الثلاثي هو المادة المهيمنة بسبب تركيزه العالي بالفوسفور وتكاليف الشحن القليلة نسبياً لكل وحدة فوسفور.

يصنع الفوسفات بالأمونيا من تفاعل السوبرفوسفات مع الأمونيوم. الفوسفات الثنائي الأمونيوم سهل الذوبان في الماء. إنه مكون للعديد من الأسمدة المركزة القابلة للذوبان في الماء، والمستخدم في إنتاج محاصيل البيوت البلاستيكية وفي محلول الأسمدة. الأسمدة الشائعة للزراعة المنزلية تحتوي على الفوسفات الثنائي الأمونيوم.

10-6-3- صناعة الاسمدة البوتاسية

استُعمل الكارناليت $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Carnallite سماداً بوتاسياً على نطاق تجاري منذ

1861، وذلك بعد أن ثبتت أهمية أملاح البوتاسيوم في تغذية النبات.

إن التوضعات البوتاسية الموجودة على سطح القشرة الأرضية ناجمة عن تبخر مياه البحيرات المالحة أو البحار الضحلة حيث تترسب الأملاح الذائبة عند زيادة تركيز المحاليل على النحو التالي: كربونات الكالسيوم، كربونات المغنزيوم، سلفات الكالسيوم، كلوريد الصوديوم، سلفات المغنزيوم، كلوريد المغنزيوم، وأخيراً كلوريد البوتاسيوم. ويعدّ السلفيت (KCl) sylvite أهم هذه المعادن من الناحية الاقتصادية، ويوجد غالباً في الطبيعة ممزوجاً بالهاليت halite، ويسمى المزيج sylvinite. والسلفينيت من أهم معادن البوتاسيوم المستعملة في تسميد الترب الزراعية وصناعة الأسمدة البوتاسية، علماً أنه يمكن استعمال بعض معادن البوتاسيوم الأخرى في تسميد الترب الزراعية. ويستخرج البوتاسيوم في فلسطين والأردن من مياه البحر الميت التي تحتوي أملاح الصوديوم الممزوجة بكلوريد البوتاسيوم. ويعتمد مبدأ تصنيع الأسمدة البوتاسية من الخامات على فرق معدل الإذابة بالماء أو على اختلاف كثافة الأملاح الداخلة في تركيب خامات البوتاسيوم (الشكل 10-4).

10-6-4- الاتجاهات الحديثة في مجال التسميد وصناعة الأسمدة:

- 1- استخدام مستخلصات مختلفة في مجال التسميد وذلك من مصادر متنوعة.
- 2- دراسة إمكانية التخمير السريع للمخلفات العضوية.
- 3- صناعة الأسمدة العضوية المحببة.
- 4- تطوير مصانع الأسمدة من حيث الطاقة الإنتاجية والجودة والتكلفة.
- 5- تطوير أجهزة قياس وتقدير العناصر الغذائية حقلياً في التربة والنبات، بغية تشخيص الحاجة للتسميد.
- 6- إدخال النماذج البرمجية في تقدير الاحتياجات السمادية (التوصية السمادية).
- 7- ترشيد استخدام الأسمدة.

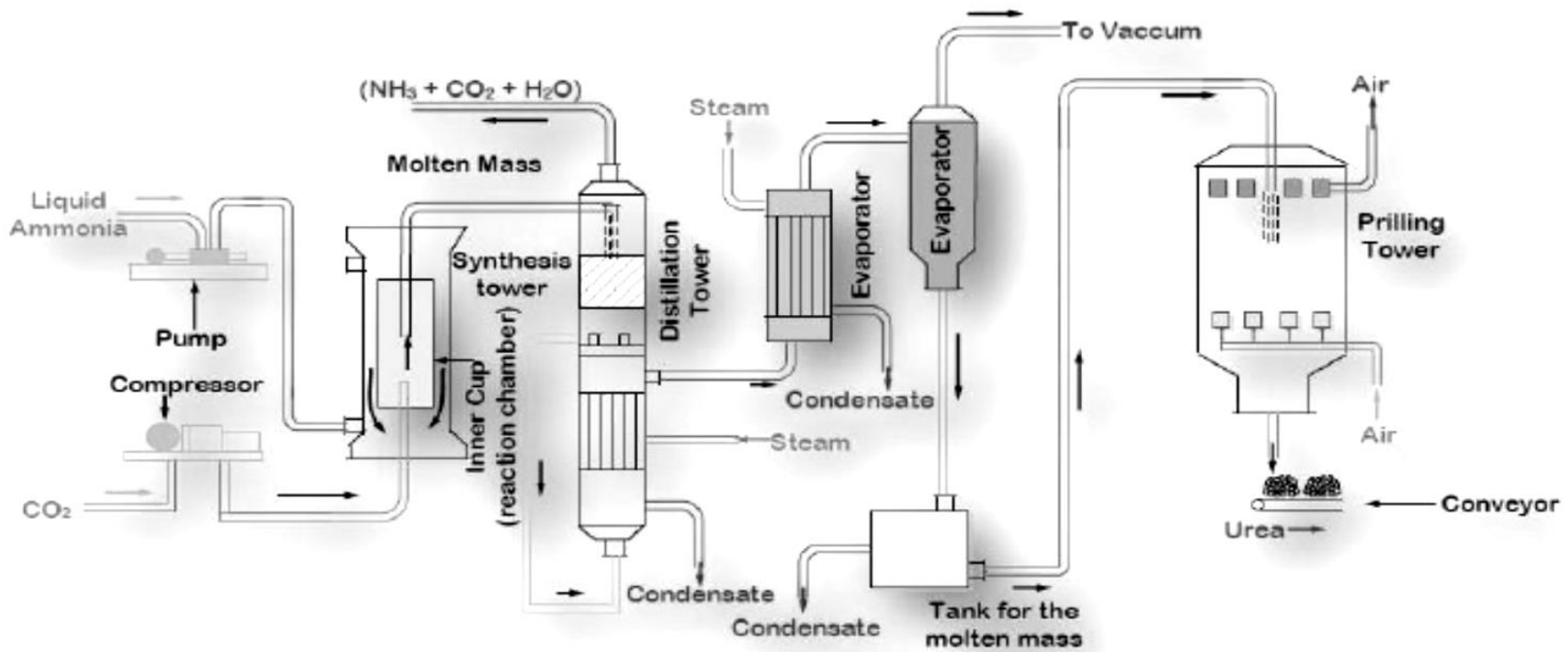
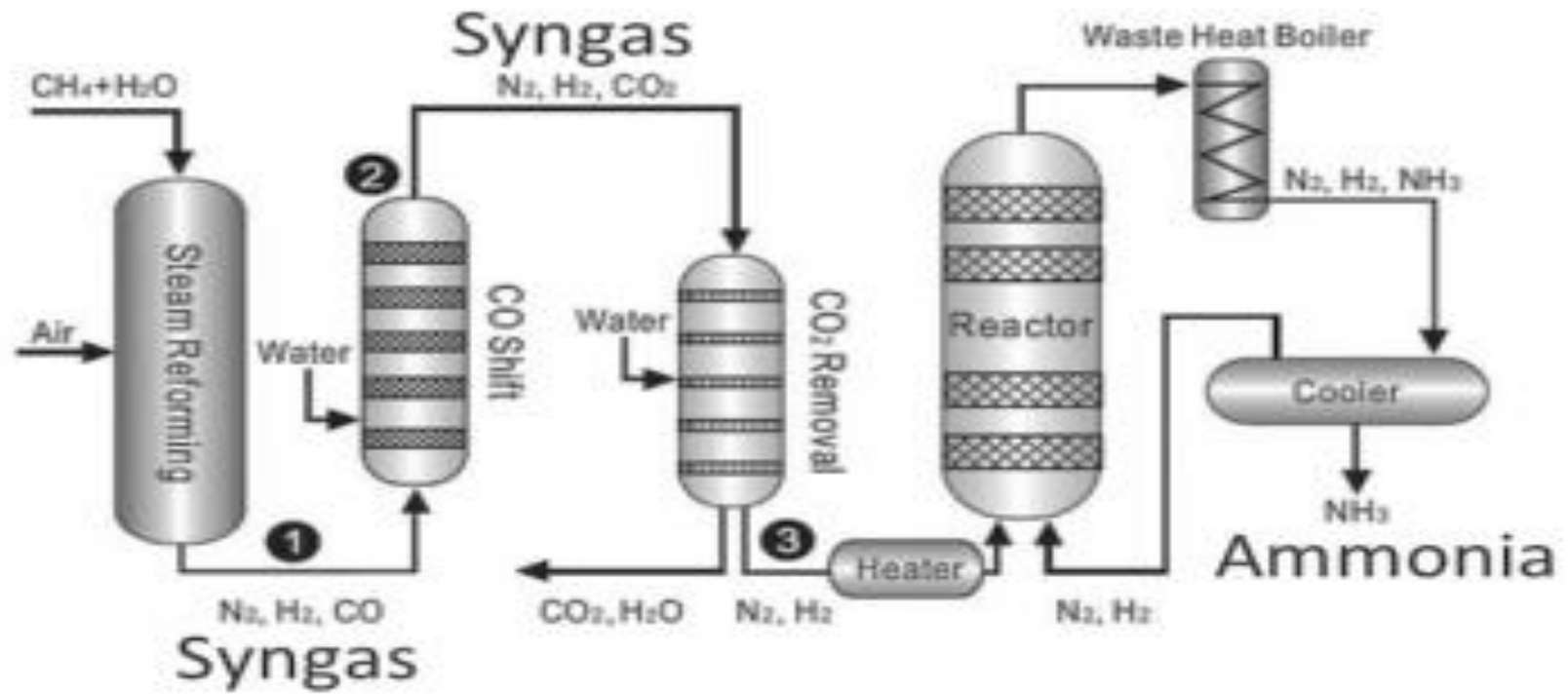


Figure: Manufacturing of Urea

الشكل (1-10): مراحل صناعة سماد اليوريا



الشكل (10-2): مراحل انتاج الأمونيا

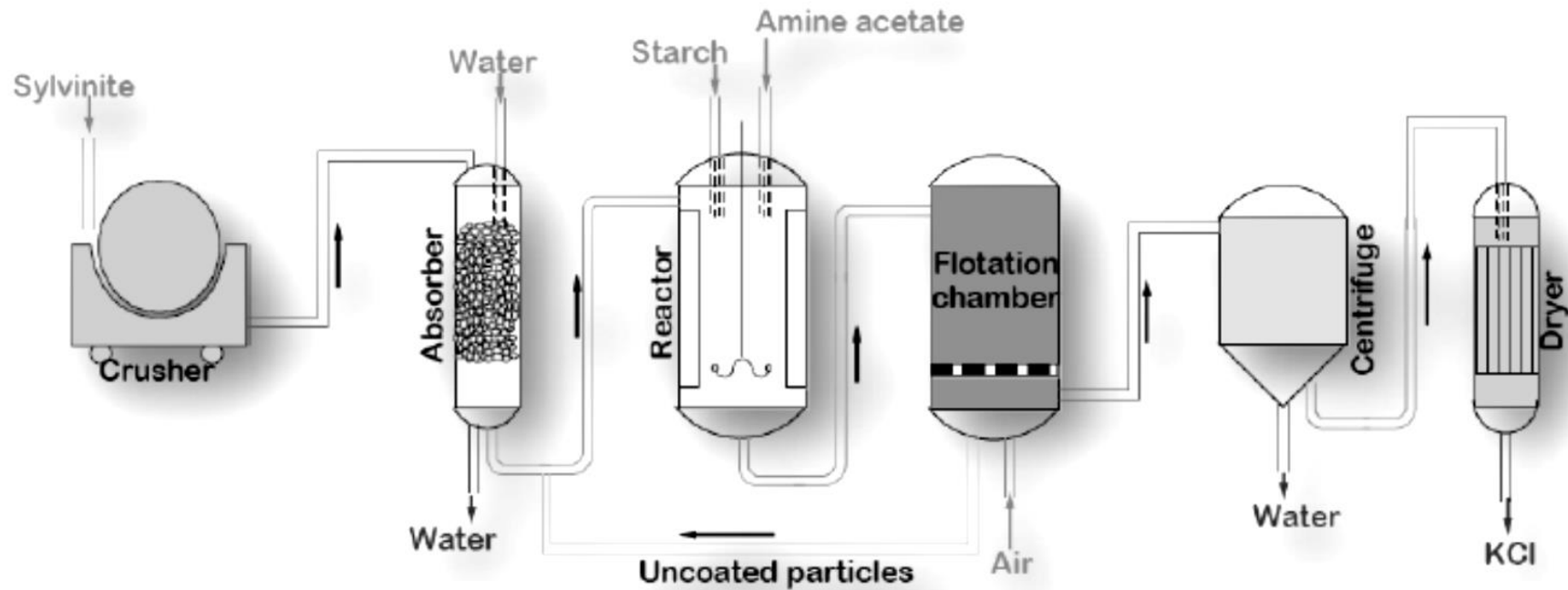


Figure: Manufacturing of Potassium Chloride by Flotation Process

الشكل (10-4): مراحل صناعة كلوريد البوتاسيوم

الفصل الحادي عشر - المعادلات السمادية ومنحنيات استجابة النبات للتسميد

Fertilizer equations and plant response curves to fertilization

التعبير الكمي عن استجابة النبات للتسميد

Quantitative expression of plant response to fertilization

11-1 - قانون لبيج Liebig Law:

قانون العامل المحدد للعالم لبيج Liebig's Limiting Factor Law وأحياناً يطلق عليه قانون الحد الأدنى للعالم لبيج Liebig's Minimum Law. وينص القانون على أن العنصر الموجود بأقل كمية بدرجة تصل إلى حد النقص في التربة هو المحدد لنمو أو محصول النبات إذا كانت بقية العوامل (العناصر) الأخرى موجودة بكميات كافية. ويعبر عن هذا القانون بالمعادلة الآتية:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = c$$

وبالتكامل نجد:

$$y = c \cdot x$$

وهي علاقة خط مستقيم بمعنى أن المحصول سوف يزيد زيادة ثابتة مع كل إضافة من العنصر (التسميد) أو الزيادة مطردة والقانون يوضح أن أي عنصر آخر لن يكون له تأثير حتى يصل إلى حد الكفاية ويصبح غيره بأقل كمية هو المؤثر.

ويلاحظ أن المحصول الناتج يعزى إلى العنصر الصالح الموجود بالتربة أصلاً وعن إضافة العنصر للتربة (التسميد Fertilization) وهكذا تأخذ العلاقة الرياضية الشكل التالي:

$$y = a + cx$$

حيث أن: $Y =$ الانتاجية، $X =$ كمية المغذيات في السماد، C : ثابت، a : المغذيات في التربة. ويلاحظ أن هذه العلاقة يمكن أن تطبق بالمناطق ذات النقص الشديد أي المناطق ذات التسميد الكثيف.

القصور في المعادلة: عموماً فإن قانون لبيج يتجاهل تأثيرات العناصر الأخرى وتفاعل هذه العناصر مع بعضها حتى العنصر (العامل) الموجود بكمية كافية يمكن أحياناً أن يزيد تأثير العنصر (العامل) الموجود عند الحد الأدنى وهو ما سيوضحه العالم متشرلش Mitscherlich.

11-2 - قوانين متشرلش Mitscherlich Laws

1. قانون الغلة المتناقصة لمتشرلش diminishing yield law: وينص القانون على أن

الزيادة في المحصول الناتج من إضافات ثابتة ومتزايدة من العنصر الموجود بأقل كمية بالتربة تكون متناقصة. أي أن الزيادة في المحصول من إضافة الوحدة الثانية من العنصر

تكون أقل من الزيادة الناتجة عن الوحدة الأولى وهكذا الزيادة الثالثة من العنصر أقل بشرط تساوي الوحدات.

2. **قانون العلاقات الفيزيولوجية لمتشرلش Physiologicl relations Law**: وينص القانون على أن المحصول يتوقف على جميع عوامل النمو (أي على جميع العناصر الغذائية في نفس الوقت على العنصر الموجود بأقل كمية) سواء العامل المحدد أو غير المحدد وأساس هذا القانون أن العامل غير المحدد يساعد النبات على مزيد من الامتصاص للعنصر المحدد للنمو.

3. **مفهوم متشرلش وياول Mitscherlich and Baule's concept**: مفهوم النسبة المئوية للكفاية concept of sufficiency percentage ويعبر هذا الرأي عن أن الكمية المعينة من العنصر تكون كافية لإنتاج نسبة معينة من المحصول الأعظم الذي ينتج عند توفر هذا العنصر بكمية كافية.

تعني وحدات باول: الكمية من عامل النمو (العنصر) التي تعطي 50% من المحصول الأعظم وتعرف باسم مقياس الاستفادة Efficiency index. ومثال ذلك عند إضافة وحدة باول زاد محصول القطن بمقدار 100 وحدة إنتاجية وإضافة وحدة ثانية من وحدات باول سوف يعطي زيادة مقدارها 50 وحدة إنتاجية والوحدة الثالثة من وحدات باول تعطي زيادة مقدارها 25 وحدة إنتاجية.

وتطبيقاً لهذا الرأي فإن (متشرلش وياول) يريان أنه إذا كان الفوسفور مثلاً موجوداً بكمية تكفي 90% من المحصول الأعلى عند توفر جميع عناصر النمو وكان البوتاسيوم في نفس الوقت موجوداً بكمية تكفي 70% من هذا المحصول الأعلى فإن المحصول الذي يتوقع الحصول عليه في هذه الحالة هو:

$$63\% \text{ من المحصول الأعظم} = \frac{90}{100} \times \frac{70}{100}$$

ويختلف ذلك عن قانون لبيج الذي يتوقع الحصول على 70% من المحصول الأعلى لأن الفوسفور في رأي لبيج لا يؤثر لوجوده بنسبة أعلى من توفر البوتاسيوم الذي يعتبر عاملاً محدداً.

11-2-1- التعبير الرياضي عن نظرية متشرلش Mitscherlich Theory

في أوائل القرن التاسع عشر قام العالم الألماني متشرلش باستنباط معادلة رياضية لحساب تأثير كميات مختلفة من عوامل النمو المختلفة على النباتات. وأساس المعادلة أن إضافة وحدة زيادة من عامل النمو (وحدات باول) ينتج عنها نصف الزيادة في المحصول الناتج عن إضافة الوحدة السابقة. ويعبر عن نظرية متشرلش بالمعادلة التالية:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = C(A - Y)$$

$$\frac{\Delta Y}{(A - Y)} = C\Delta a$$

بالتكامل نجد:

$$\text{Log} (A - Y) = CX + a$$

كلما زادت قيمة X كلما قل المقدار (A-Y) وبالتالي :

$$\text{Log} (A - Y) = a - CX$$

فإذا كانت x تساوي الصفر فإن المحصول الناتج يساوي الصفر وعليه نجد أن:

$$a = \text{Log}A$$

$$\text{Log} (A - Y) = \text{Log}A - CX$$

حيث أن: A المحصول الأعظم، Y المحصول الناتج، x كمية العنصر المضاف

ويمكن تحويل الصورة اللوغارتمية إلى صورة أسية وفق التالي:

$$y = A(1 - 10^{-CX})$$

وأهم الاعتراضات التي أبديت على معادلة متشرلش هي أن قيمة C في المعادلة

$$\text{Log} (A - Y) = \text{Log}A - CX$$

ليست قيمة ثابتة كما يرى متشرلش فهو يعتقد أنها قيمة لا تتغير بتغير النبات أو التربة أو المناخ وأطلق عليها معامل الاستفادة Efficiency Coefficiency وقد وضع معاصروا متشرلش هذه النقطة موضع الاختبار في عدد كبير من التجارب فلم يحصلوا على قيمة ثابتة للمعامل C.

وقد حاول براي R.H.Bray أن يفسر التضارب بين رأي كل من لبيج ومتشرلش وذلك عندما قسم العناصر الغذائية إلى قسمين الأول قسم قادر على الحركة في التربة مع الماء (بخاصية الانتشار) وأفضل مثال هو النترات، والقسم الثاني لا يستطيع التحرك في التربة مثل الأيونات المدمصة على سطح الحبيبات الغروية والرواسب بطيئة الذوبان ومن الأمثلة لذلك البوتاسيوم والفوسفور. ويرى براي أن النبات يمتص العناصر المغذية القادرة على الحركة في التربة من المنطقة المحيطة بجذور النباتات، أما العناصر غير القادرة على الحركة في التربة فإن امتصاص الجذور لها قاصر على مناطق امتصاص السطوح الجذرية، وبالابتعاد عن منطقة التلاقي هذه تنخفض قدرة النبات على الامتصاص انخفاضاً شديداً. وبالتالي تمتص جذور النباتات كل مقدار العنصر المتحرك بالتربة تقريباً ما عدا ما يفقد بالغسيل أو ما يثبت في أجسام الكائنات الحية الدقيقة. أما بالنسبة للعناصر التي لا تتحرك بالتربة، فإن المقدار الممتص بواسطة جذور النباتات لا يمثل إلا نسبة ضئيلة من المقدار المتواجدة في التربة. وتبعاً لذلك فإن اختلاف كثافة الجذور وطريقة تفرعها في التربة تؤدي إلى اختلاف الكميات التي يمتصها النبات من العناصر غير المتحركة بالتربة. أما تأثير تفرع الجذور على العناصر المتحركة يكون هنا

ثانويًا. لذلك العامل الذي يقرر الاحتياجات الغذائية من هذه العناصر هو مقدار المحصول والنسبة المئوية من هذه العناصر فيه. وحاصل ضرب (المحصول \times النسبة المئوية) يعطي المقدار الواجب امتصاصه من كل عنصر حتى يمكن الحصول على أعلى إنتاجية. أي أن العناصر القادرة على الحركة تتبع قانون لبيج. أما العناصر غير القادرة على الحركة ويمكن اعتبار تركيز العنصر في التربة ممثلًا للاحتياجات الغذائية للنبات.

وينتهي برأي من هذا إلى القول:

أ- ليست جميع العناصر الغذائية خاضعة لقانون الكفاية النسبية التي افترضها باول ومشرلش، بل يمكن تطبيقها فقط على العناصر قليلة الحركة، أما العناصر المتحركة فهي تتبع قانون العامل المحدد (لبيج).

ب- قيمة العامل C (معامل الاستفادة) تتغير حسب العوامل التي تغير قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية، وبالتالي تتغير مع تغير نوع النبات ونظام تفرع الجذور و المسافة بين النباتات، كما تتوقف قيمة العامل C على المقدار الموجود من العناصر المتحركة ومدى كفايتها للنبات. وكذلك حسب نمط توزيع العنصر الغذائي بالتربة والصورة التي يتواجد بها.

11-2-2- استخدام معادلة متشرلش:

أ- استخدام معادلة متشرلش لمعرفة الاستجابة لعنصر غذائي واحد فقط:

إن معادلة متشرلش $\log(A - Y) = \log A - CX$ استنتجت من تجارب زراعات رملية حيث قيمة X تعبر عن كل الكمية من العنصر المختبر، أما في حالة الأرض الطبيعية فهي تحتوي عادة مقداراً من العنصر الغذائي (b)، ومنه يتوجب إضافته إلى قيمة ما يضاف إلى التربة من هذا العنصر (x) والاشترك بين b و x في معامل الاستفادة C يفسر على أساس هذا الفرض. ومنه تصبح المعادلة السابقة وفق التالي:

$$\log(A - Y) = \log A - C.(x + b)$$

حيث أن: A المحصول الأعظم، Y المحصول الناتج، b الكمية الصالحة من العنصر بالتربة، C عامل التأثير أو معامل الاستفادة (لكل عامل نمو قيمة ثابتة)، x كمية العنصر المضاف

ويمكن كتابة المعادلة بالصورة التالية:

$$\frac{A - Y}{A} = 10^{-C(x+b)}$$

$$Y = A.(1 - 10^{-C(x+b)})$$

وهذه المعادلة التي اقترحها متشرلش والتي تربط بين مقدار النمو وعوامله هي علاقة لوغاريتمية وليست خط مستقيم كما اقترح لبيج. وعامل التأثير هذا الخاص بكل عامل نمو تم تقديره بعمل عدد كبير من التجارب وقد وجد أنه غير مرتبط بنوع النبات وقد ساهم العالم

متشرلش في ايجاد قيم C لعديد من عوامل النمو ويمكن استخدامها فقط في الأراضي الطبيعية أي الخالية من أي خصائص تضر بنمو النبات.

ومن التجارب الحقلية والأصص يقدر متشرلش A المحصول الأعظم في حالة توفر جميع العناصر بما فيها العنصر المختبر أي قيمة b تساوي الصفر ومنه تصبح المعادلة:

$$\log(A - Y) = \text{Log } A - C \cdot (b)$$

ويحسب متشرلش قيمة b فإن معرفة A و Y ويعتبرها مقياساً لخصوبة التربة.

ب- لمعرفة الاستجابة لأكثر من عنصر غذائي:

تصبح معادلة متشرلش في حالة التأثير المشترك لكل من النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم مثلاً كما يلي:

$$y = A(1 - 10^{-C_N X_N})(1 - 10^{-C_P X_P})(1 - 10^{-C_K X_K})$$

حيث أن N,P,K هي عناصر النمو الثلاثة. وعند استخدام هذه المعادلة يقتضي قيمة المحصول الأعظم عند وجود العناصر الثلاثة.

11-3-3- العلاقة الكمية بين العنصر والنبات

11-3-3-1- العلاقة بين كمية العنصر في التربة والنسبة المئوية له في النبات:

لاقت الدراسات التي أجريت لمعرفة تأثير إضافة عنصر معين على تركيب النبات اهتماماً كبيراً من الباحثين رغم اختلاف النتائج فيما بينها. كما حاول الباحثون إيجاد علاقة بين كمية وزن المحصول وكمية السماد المضاف. ومن الناحية النظرية يرى الباحثون أنها تتخذ شكل منحني، أي تخضع لقانون الغلة المتناقص، بينما يرى آخرون أنها خط مستقيم. وتطورت هذه المحاولات من الناحية الوصفية إلى الناحية الكمية لإيجاد علاقة رياضية بين نسبة العنصر في النبات وكمية العنصر في التربة، ومن جهات النظر هذه، استخدام معادلة متشرلش (قانون الغلة المتناقص)، ظاهرة تبادل القواعد حيث أن للجذور سعة تبديلية ومنها يمكن حساب كمية العنصر التي تمتصها الجذور، استخدام معادلة ميخائيل- منتن حيث توضح العلاقة ما بين الامتصاص والتركيز النشط للعنصر في محلول التربة.

11-3-3-2- العلاقة بين الكمية الممتصة من العنصر والكمية المضافة للتربة:

الكمية الممتصة من العنصر بالنبات هي حاصل ضرب وزن النبات في نسبة هذا العنصر فيه، أو هي حاصل ضرب وزن كل جزء من النبات في نسبة العنصر ثم جمع كل محتويات الأجزاء معاً، وجرت العادة أن يحسب ذلك للأجزاء الهوائية. ويرسم العلاقة البيانية بين المحصول من العنصر الغذائي وكمية العنصر المضاف ينتج خط منحني يتبع عادة قانون الغلة المتناقص.

11-3-3-3- منحنيات استجابة النبات للتسميد:

نشير إلى بعض العلاقات التي تم الحصول عليها من تجارب الباحثين:

أ- العلاقة بين وزن النبات ومقدار العنصر في التربة هي منحنٍ ذو شكل Sigmoid وتفسر بأنه في الإضافات الأولى يستهلك النبات العنصر لرفع نسبته في أجزاء النبات بمعدل أكبر ومن زيادة وزن النبات أي أن النمو نفسه بطيء. ثم تتعكس الحالة بزيادة معدل النمو ووزن النبات عند رفع نسبة العنصر في النبات. وفي الإضافات العالية يحصل استهلاك ترفي (إسرافي) فتزداد نسبته في العنصر بينما يبطل النمو.

ب- اتجاه المنحني إلى الأسفل في الإضافات العالية نتيجة السمية.

ت- العلاقة بين مقدار العنصر بالتربة وتركيزه بالنبات يمثلها خط مستقيم.

ث- العلاقة بين السماد المضاف والمقدار الممتص من العنصر السمادي بالنبات يمثلها خط مستقيم.

11-4-4- تطوير معادلة ميشرليش :Develop the Mitscherlich equation

11-4-1- إدخال صور مختلفة من العنصر المختبر:

استخدم Bray قيمة اختبار خصوبة التربة في العنصر المقدر كيميائياً بدلاً من قيمة b

$$y = A(1 - 10^{-c_1 b_1 - cx})$$

حيث أن C تختلف عن C_1 لأن الأولى هي معامل كفاءة صورة معينة من صور العنصر المختبر والتي قدرت كيميائياً و $(C_1 B_1)$ هنا تعبير عن المقدار الفعال للعنصر بالتربة. وإذا كانت التربة تحتوي على عدد من الصور الكيميائية من العنصر المختبر والتي تساهم في تغذية النبات فإن لكل صورة من هذه الصور معامل كفاءة مختلف عن الآخر. وقد تختلف كفاءة العنصر الغذائي حسب العمق لاختلاف كثافة الجذور وهنا يجب أن تضمن في المعادلة.

11-4-2- التقدير الكمي للكفاءة النسبية لصور العنصر المختبر

لا يمكن من الناحية التطبيقية إدخال كل صور العنصر، إنما إدخال الصورة الهامة فقط، ومثال

$$y = A(1 - 10^{-c_1 b_1 - c_2 b_2 - cx})$$

حيث أن $C_1 B_1$, $C_2 B_2$ هي صور العنصر المختلفة.

11-4-3- حساب مساهمة الصور المختلفة للعنصر في تغذية النبات:

$$Y = A. (1 - 10^{-C(x+b)})$$

تعبّر b و X متساوية الصلاحية، لذلك فإن C معامل الكفاءة لهما مشترك، أي أن النبات ينمو في بيئة فيها المقدار b والمقدار x من العنصر المختبر والمتساوي الصلاحية وبالتالي يمتص النبات حاجته من العنصر من المصدرين حسب مقدار كل منهما وتكون نسبة ما يحتويه النبات من السماد المضاف إلى ما يحتويه التربة هي x/b ونسبة ما يحتويه السماد إلى جملة ما يحتويه من العنصر هي $X = X+b$. ويمكن بضرب $x/(x+b)$ في جملة ما يحتويه النبات، حساب المضاف فيما يحتويه النبات من العنصر تحت الاختبار.

11-4-4- معادلة سبيلمان Spillman's Equation : بعد عدة سنوات عبر سبيلمان

عن العلاقة بين النمو والعامل المؤثر عليه (المحدد) بالمعادلة التالية:

$$Y = M(1 - Rx)$$

حيث أن: Y المحصول الناتج عن إعطاء كمية من عامل النمو، X كمية عامل النمو، M أعلى محصول يمكن الحصول عليه عند توافر جميع العوامل عند الحد الأمثل، R ثابت.

وقد أمكن اختزال كلا معادلتى متشرلش وسبيلمان في المعادلة التالية:

$$Y = A(1 - 10^{-Cx})$$

حيث أن: Y المحصول الناتج عن إعطاء كمية من عامل النمو، X كمية عامل النمو، A أعلى محصول يمكن الحصول عليه، C ثابت يتوقف على طبيعة عامل النمو.

وعموماً كل صور المعادلات السابقة ليست متداولة ولكن توجد صور معادلات متشابهة كالاتي:

$$\text{Log}(A - y) = \text{Log}A - 0.301(x)$$

11-4-5- حساب المحاصيل النسبية الناتجة عن إضافة كميات متزايدة من عامل النمو:

يلاحظ بالمعادلة السابقة أن الثابت C استبدل 0.301 وعند التعبير عن المحصول الناتج كنسبة من أعلى محصول يمكن الحصول عليه أي اعتبار أن A=100% فإن C كما ذكرنا سابقاً سوف تختلف باختلاف عامل النمو ويمكن التعبير عن المعادلة السابقة بالمعادلة التالية:

$$\text{Log}(100 - y) = \text{Log}100 - 0.301(x)$$

ومن هذه المعادلة يمكن تقدير المحصول النسبي المتوقع نتيجة إضافة عدد من وحدات عامل النمو X . فمثلاً في حالة عدم وجود أي عامل أي أن X =0 فإن المحصول المتوقع Y=0 أما إذا استخدم وحدة واحدة من العامل أي بالتطبيق في المعادلة السابقة X=1 فإن المحصول المتوقع يمثل 50% من المحصول الأعظم (أعلى محصول) ويمكن توضيح ذلك بالحسابات الآتية:

$$\text{Log}(100 - y) = \text{Log}100 - 0.301(1)$$

$$\text{Log}(100 - y) = 2 - 0.301$$

$$\text{Log}(100 - y) = 1.699$$

$$100 - Y = 50$$

$$Y = 50$$

أما في حالة إضافة وحدتين من العامل X فإن المحصول المتوقع Y= 75% من المحصول الأعظمي كما يتضح من الحسابات الآتية:

$$\text{Log}(100 - y) = \text{Log}100 - 0.301(2)$$

$$\text{Log}(100 - y) = 2 - 0.301$$

$$\text{Log}(100 - y) = 0.602$$

$$100 - Y = 25$$

$$Y = 75$$

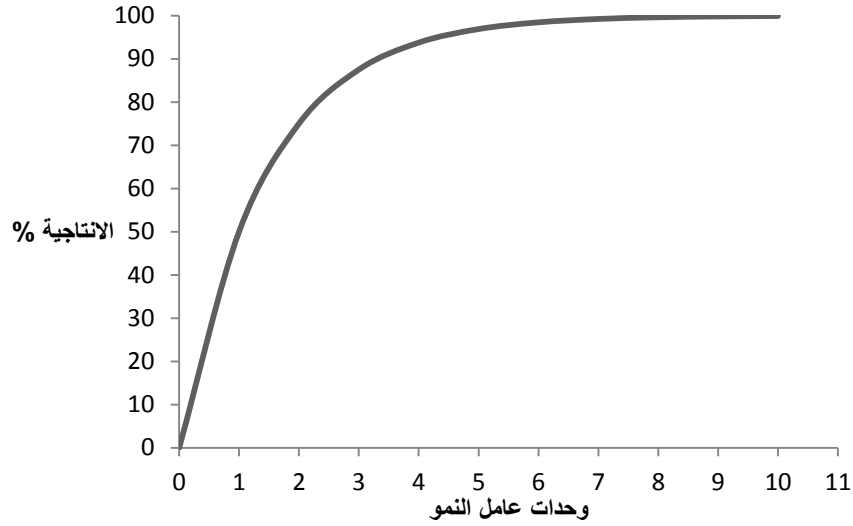
ويمكن توضيح المحصول الناتج من استخدام وحدات متتالية من عامل النمو بنفس الطريقة السابقة كما في الجدول (1-11).

الجدول (1-11) العلاقة ما بين الانتاجية النسبية وحدات عامل النمو

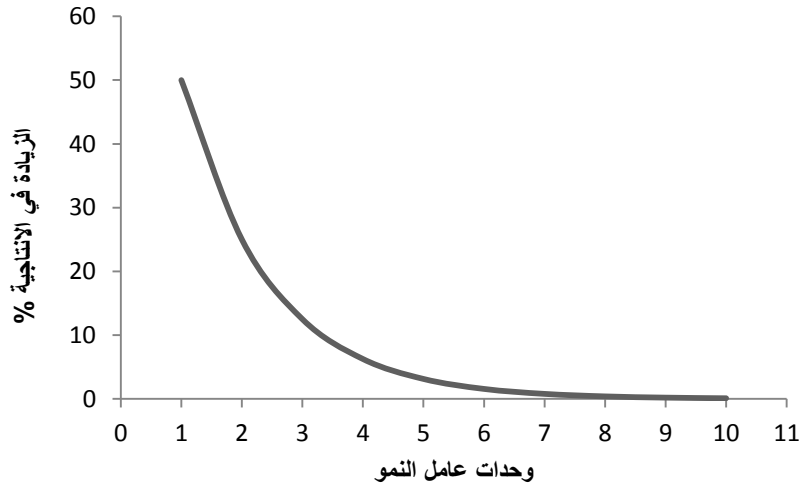
وحدات عامل النمو (X)	الانتاجية (%)	الزيادة في الانتاجية (%)
0	0	-
1	50	50
2	75	25
3	87.5	12.5
4	93.75	6.25
5	96.88	3.125
6	98.44	1.562
7	99.22	0.781
8	99.61	0.390
9	99.80	0.195
10	99.90	0.098

المصدر: الصيرفي والغمري، 2003 (خصوية التربة والتسميد)

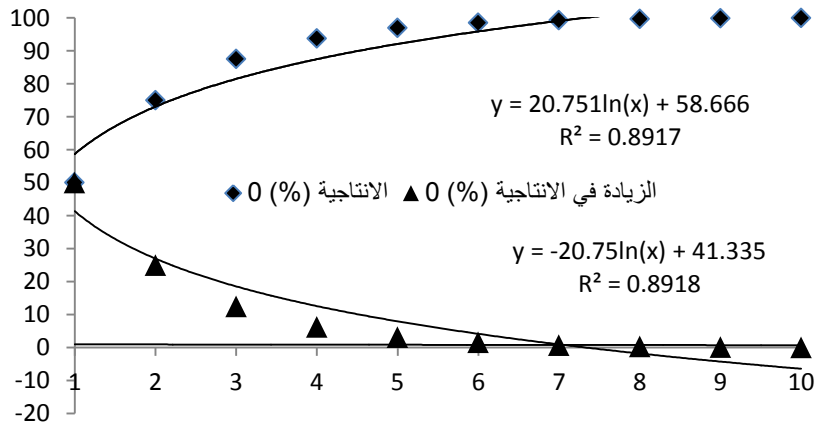
يلاحظ من الجدول أن الإضافات المتتالية من عامل النمو تؤدي إلى زيادة في المحصول بمقدار 50% من المحصول الناتج من إضافة الوحدة السابقة ويستمر ذلك حتى تصل إلى قيمة قريبة من المحصول الأعظم والتي عندها لا يحدث أي زيادة نتيجة أي إضافات من عامل النمو . يلاحظ من الشرح السابق عن العلاقة بين النمو والعوامل المؤثرة فيبه تكرر كلمة إضافة وحدات من عامل النمو علماً بأن عامل النمو قد يتمثل في العناصر الغذائية سواء الموجودة أصلاً بالتربة في صورة صالحة أو المضافة في صورة أسمدة أي عامل آخر. فما هو مفهوم هذه الوحدات وتمييزها هل هي قيم مطلقة والحديث عن اقتراحات باول سوف يوضح ذلك. ونجد من الأشكال (1-11) و (2-11) و (3-11) أن الإنتاجية تزيد مع زيادة إضافة وحدات النمو، بينما تقل الزيادة في الانتاجية مع تزايد وحدات النمو.



الشكل (1-11) العلاقات ما بين الانتاجية ووحدات النمو المتتالية



الشكل (2-11) العلاقات ما بين الزيادة في الانتاجية ووحدات النمو المتتالية



الشكل (3-11) العلاقات ما بين الإنتاجية والزيادة في الإنتاجية مع وحدات النمو المتتالية

11-4-6- وحدات باول Baule Unit

هي الكمية من عامل النمو التي ينتج عنها نصف المحصول الأعظم النظري، وتكون كمية N, K₂O, P₂O₅ بالباوند/ايكر والتي تمثل وحدة باول 220.4 - 44.6 - 66.9 على التوالي والقيم المقابلة بالكونتال/ هكتار هي 2.47-0.5-0.75 ويجب الإشارة إلى أن هذه القيم تشمل كمية العنصر الصالح بالتربة بالإضافة إلى المضاف في صورة سماد (كما هو واضح في الشكل البياني في نظرية متشرلش حيث يوضح وحدات باول لعناصر (N,P,K) ويمكن استخدام منحنى واحد بثلاث عناصر والذي يطلق عليه المنحنى القياسي. ويمكن عمل المنحنى هذا كالتالي: إذا كان قيمة المحصول الأعظم A=100 وعند قسمتها على 50 (نصف المحصول الأعظم) نحصل على C ويكون لوغاريتها 0.301 ويستخدم هذا الرقم كعامل ثابت.

11-4-7- المحصول الأعظم Maximum crop

نفذ العالم متشرلش عدد كبير من التجارب على النباتات مستخدماً أوعية ذات قطر 7.78 بوصة وعمق 7.87 بوصة وتم إضافة كل عوامل النمو بكمية كافية عدا عامل واحد وبعد ذلك تم زيادة مستوى هذا العامل وتم تحديد كمية العنصر التي ينتج عنها أعلى محصول. وقد وجد أن الكميات 3.5 غ N و 1.3 غ P₂O₅ و 1.3 غ K₂O أعطت أعلى محصول بهذه الأوعية، وبتحويل هذه الكميات بالباوند/ايكر نجدها تقابل 369.6-199-995.1 للعناصر الثلاثة على التوالي. ويعتبر كمية أي عامل نمو التي تعطي أعلى محصول تعادل 10 باول لذلك يكون 1 باول من النتروجين تعادل 10/1 * 99.51 = 99.5 باوند N /ايكر وبنفس الطريقة 19.9 باوند = 1 باول P₂O₅ و 36.96 باوند = 1 باول K₂O. وقد وجد آخرون أن 6 باوند مغنيزيوم تعادل 1 باول مع 0.8 باوند كبريت = 1 باول كبريت.

ويعتبر المحصول الأعظم لأي نبات هو ذلك المحصول الناتج من قدرة النبات الوراثية لإنتاج كمية معينة من النسج النباتي عند توافر باقي العوامل مثل العناصر الغذائية، وظروف التربة، والماء، والمناخ.

11-4-8- حساب المحصول كنسبة مئوية من المحصول الأعلى:

إن وحدة باول من أي عامل نمو يكون تأثيره على النمو يساوي لأي واحد باول من أي عامل نمو آخر وأن أكثر من 10 باول من أي عامل تعطي أقصى نمو. لذلك تأثير أي كمية معبراً عنها بالباول من أي عامل يمكن حسابها كنسبة مئوية من المحصول الأعظم وذلك باستخدام معادلة متشرلش التالية:

$$Y = 100 - (0.1 * 2^{10-x})$$

حيث أن: Y نسبة المحصول الأعظم، X العنصر النباتي بوحدات باول/ايكر.

وبهذه الطريقة اشتق الباحثون قيم الجدول التالي والتي تعبر عن نسبة المحصول الأعظم عند وحدات باول من عامل النمو.

الجدول (11-2): نسبة المحصول الأعظم عند وحدات باول من عامل النمو.

وحدات باول	نسبة المحصول الأعظم	وحدات باول	نسبة المحصول الأعظم	وحدات باول	نسبة المحصول الأعظم
0.1	4.5	1.3	58.4	3.0	87.2
0.2	10.9	1.4	61.2	3.5	90.9
0.3	16.9	1.5	63.8	4.0	93.6
0.4	22.4	1.6	66.2	4.5	95.5
0.5	27.6	1.7	68.5	5.0	96.8
0.6	32.5	1.8	70.6	6.0	98.4
0.7	37.0	1.9	72.6	7.0	99.2
0.8	41.2	2.0	74.4	8.0	99.6
0.9	45.2	2.2	77.7	9.0	100.00
1.0	48.8	2.4	80.6	10.0	
1.1	52.3	2.6	83.1		
1.2	55.5	2.8	85.3		

المصدر: الصيرفي والغمري، 2003 (خصوية التربة والتسميد)

إن المحصول المتوقع لأي محصول يمكن حسابه من العوامل الموجودة بالجدول السابق إذا كانت عوامل النمو معروفة ومحسوبة بوحدات الباول.

مثال: بافتراض أنه يتم إمداد النبات بعنصر N بمقدار 0.7 باول - P_2O_5 = 1 باول - K_2O = 2 باول وعوامل المناخ تعادل 4.5 باول و يراد زراعة قمح محصوله الأعظم النظري 171.2 بوشل.

الحل: طريقة حساب المحصول المتوقع كالاتي:

من الجدول السابق يتم إيجاد نسبة المحصول الأعظم المقابلة لوحدات باول من كل عنصر ولهذا يكون الحساب كالاتي:

$$N(37/100) * P_2O_5(48.8/100) * K_2O(74.4/100) * \text{Soil and claimet} \\ (95.5/100) = 12.83\%$$

$$\text{أي أن } 21.96 = 171.2 * (12.83/100) \text{ وتقدر الواحدة هنا بوشل.}$$

هكذا يمكن بسهولة حساب الزيادة في المحصول المتوقع نتيجة إضافة كمية معينة من العنصر معبراً عنها بوحدات الباول والتي تضاف بكمية صغيرة. نفس الشيء عند إمداد النبات بكمية العنصر الناقص فإنه يمكن الحصول على نتائج إضافة عناصر أخرى يحتاجها النبات. ويجب ملاحظة أن العنصر المضاف بكميات كبيرة (K_2O في المثال السابق) سوف يعطي بعض الزيادة في المحصول حتى لو لم يضاف النتروجين.

11-4-9- زيادة المحصول عند الاستجابة لأكثر من عامل نمو

بافتراض وجود عاملي نمو دون الحد الأمثل X_1, X_2 وباقي العوامل عند الحد الأمثل فما هو المحصول الذي نتحصل عليه؟ طبعاً لا يكون 50% ولكن يكون $(2/1)*50 = 25\%$ من المحصول الأعظم، وبنفس الطريقة عند وجود 3 عوامل نمو دون الحد الأمثل فإن إضافة وحدة من كل عامل سوف نحصل على محصول مقداره $50*(2/1)*(2/1) = 12.5\%$ من المحصول الأعظم. ويعبر عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$Y = A(1 - 10^{0.301X_1})(1 - 10^{0.301X_2})(1 - 10^{0.301X_3})$$

حيث X_1, X_2, X_3 عبارة عن كميات عوامل النمو المضافة.

11-5- التجارب العاملية ومعادلات الانحدار

جميع دراسات التسميد تستخدم التجارب العاملية ومفهوم التجارب العاملية هو دراسة تأثير أكثر من عامل يشمل عدة مستويات وبذلك يمكن دراسة تأثير التفاعل بين العوامل المدروسة. ومثال ذلك عندما يراد معرفة تأثير ثلاث مستويات من النروجين و أربع مستويات من الفوسفور يكون عدد المعاملات $= 4*3 = 12$ معاملة، ويمكن تحليل النتائج المتحصل عليها بطرق إحصائية مختلفة مثل استخدام معادلات الانحدار التي فيها يكون المحصول دالة لمعادلات السماد المختلفة ولكن لا تطبق على مستوى عالمي بل على مستوى محلي وهو ظروف إجراء التجربة حيث في هذا النوع من التجارب يكون المتغير المدروس هو معادلات ونوع السماد مع ثبات العوامل الأخرى المحلية مثل المناخ- نوع التربة- الكثافة النباتية- إضافة السماد. ودراسات التجارب العاملية هذه تفوق مفهوم متشرلش ومعادلاتها مشابهة لمعادلة متشرلش.

11-6- معادلات استجابة النبات للتسميد:

11-6-1- معادلة الدرجة الثانية للتعبير عن استجابة النبات للتسميد:

لوحظ أن زيادة إضافة العنصر زيادة كبيرة قد تؤدي إلى نقص المحصول ولذلك اقتراح تطبيق معادلة الدرجة الثانية للتعبير عن استجابة المحصول للسماد المضاف:

$$y = a + bX + cX^2$$

y : المحصول الناتج من إضافة x من السماد

a : الجزء المقطوع من المحور الرأسي (المحصول في حال عدم إضافة السماد $X=0$)

b : معامل الارتداد الخطي (ميل المنحنى في حالة عدم إضافة السماد)

c : معامل الارتداد غير الخطي (ميل المنحنى في حالة المحصول الأعظم)

وتستخدم معادلة الدرجة الثانية للتعبير الكمي عن استجابة المحاصيل لإضافات الأسمدة وهو المجال الشائع لاستخدام هذه المعادلات، ويستنتج منها عادة الإضافة التي تعطي أعلى ربح . كما تستخدم في تقدير الكفاءة النسبية لصور العنصر لمد النبات بحاجته من هذا العنصر.

11-6-2- استخدام المعادلة الأسية:

تعتبر هذه المعادلة عن التناقص في أوزان النباتات أو امتصاص العناصر الغذائية نتيجة لتواجد عوامل تؤدي إلى هذا التناقص.

11-6-3- استخدام معادلة الخط المستقيم:

العلاقة ما بين العنصر الغذائي والمقدار الممتص تأخذ معادلة خط مستقيم، وذلك عندما تؤدي ظروف التجربة إلى استنزاف النباتات النامية للصور الميسورة لها من العنصر الغذائي المختبر.

11-7- كفاءة التسميد Fertilization Efficiency:

هي معدل زيادة الوزن الناتج عن كل وحدة سماد مضاف، فعندما يمثل الخط المستقيم العلاقة بين وزن النبات ووحدات السماد يكون محل زيادة وزن النبات لكل وحدة سمادية هو ميل الخط المستقيم، وفي حالة التعبير عن هذه العلاقة بمعادلة متشرلش أو صورتها الأسية، يكون معامل الاستفادة هو معدل الكفاءة، أما في معادلة الدرجة الثانية $y = a + bX + cX^2$ فتمثل قيمة الثابت b الكفاءة على وجه تقريبي. وفي هذا المجال توجد محاولات عديدة لتقدير الكفاءة اعتباراً من معادلة الدرجة الثانية.

11-8- الإضافات الاقتصادية للسماد Economic Applications of Fertilizer

تهدف تجارب معدلات التسميد إلى معرفة مقدار السماد الذي يضاف ليحقق أعلى محصول أو أعلى ربح أو أعلى نسبة استغلال لرأس المال أي النسبة بين القيمة النقدية لزيادة المحصول وتكاليف السماد. حيث يمكن حساب العلاقة ما بين الزيادة في الإنتاجية نتيجة إضافة وحدات سمادية متتالية وسعر السماد لمعرفة الإضافة الاقتصادية.

11-9- أهمية العلاقات الكمية بين النبات وعوامل النمو:

1- يمثل التعبير الكمي عن الظواهر عامة التعبير العلمي وقيمة هذا التعبير هو صياغته في صورة قانون، والتعبير الوصفي مجرد محاولة بدائية لوصف ظاهرة ما.

2- يتيح التعبير الكمي للباحث في مجال العلاقات بين النبات والعناصر الغذائية ما يلي:

أ- تقويم الاستجابة سلباً أو إيجاباً لأثر أي عامل من العوامل على النبات ومنها يمكن التنبؤ بمقدار المحصول عند تواجد أي قدر من العامل المؤثر في النمو.

ب- في مجال التسميد يمكن حساب الإضافة الاقتصادية من السماد ومن هنا يمكن التنبؤ بمقدار الإنتاج إذا أضيف هذا المقدار من السماد إلى هذا الصنف من المحاصيل.

ت- يمكن حساب كفاءة السماد المستخدم أو الصور المختلفة من العنصر.

ث- مقارنة أثر تغير ظروف النمو على كفاءة التسميد.

ج- يمكن حساب مساهمة كل صورة من صور العنصر في محتوى النبات من هذا العنصر.

الفصل الثاني عشر تشخيص الحاجة للتسميد

Diagnosis of fertilization requirement

12-1-1- مقدمة: توجد طرائق عديدة تتراوح بين طرائق تقريبية إلى طرائق دقيقة، ويمكن تلخيص هذه الطرائق في ثلاث طرائق رئيسية وهي التي يستخدم فيها النبات والتربة والكائنات الحية الدقيقة. ويلاحظ انه أولاً وقبل استخدام أي طريقة لا بد من الفحص الحقلّي حتى نتأكد من النتائج المتحصل عليها هل تعزى إلى قدرة إمداد التربة بالعناصر أم هناك أسباب أخرى أدت إلى نفس نتائج حالة العناصر بالتربة (نقص أو زيادة).

12-2- أسس الفحص الحقلّي (Field investigation)

المقصود بالفحص الحقلّي هو تسجيل الملاحظات المختلفة لحالة الحقل في الواقع من حيث نوع التربة، النمو التي عليها، مياه الري والصرف أي أنه على الفاحص:
أولاً: أن يسجل ملاحظاته، ثانياً: يحلل هذه الملاحظات ويعطى استنتاجاته، ثم يأتي التحليل في المرحلة الثالثة لإعطاء القرار النهائي لحالة الحقل (المشكلة) ويمكن تلخيص أسس الفحص في الآتي:

- التعرف على مصدر مياه الري بسؤال المزارعين بالمنطقة والتأكد منهم هل المياه كافية والري يتم في مواعيده أم هناك مشاكل في الري.
- أخذ عينة من مياه الري لتحديد صلاحيتها بالمعمل.
- التعرف على حالة الصرف لأن عدم وجود صرف يؤدي إلى مشاكل كثيرة مثل ارتفاع مستوى الماء الأرضي ولهذا لا بد أن يفحص عمق الماء الأرضي حتى يحدد عمق منطقة نمو الجذور وبالتالي التهوية لأن سوء التهوية سوف يؤثر على امتصاص العناصر رغم وجودها بكميات صالحة (ميسرة) للنبات وكذلك دراسة عمق قطاع التربة حتى يتأكد الفاحص من عدم وجود طبقات صماء تعوق نمو الجذور وتعمل مستوى ماء أرضي جديد قريب من سطح التربة.
- يقوم الفاحص بتسجيل حالة النمو العام لنباتات الحقل لأن نقص النمو هو بداية أسباب نقص العناصر بالتربة وهل النمو موحد أم مختلف في بقعه من الحقل عن الأخرى.
- يسجل شكل التربة العام هل هي موحدة أم توجد بقع ملحية أدت إلى اختلاف النمو.
- تسجل التلونات الموجودة بكل دقة لأنه على أساسها سوف يحدد نقص أو زيادة العناصر ولهذا لا بد على الفاحص أن يكون متدرباً على تسجيل التلونات من حيث اللون وموقعها على النبات وكذلك موقعها بالورقة.

- تسجل كثافة النباتات وحالة الحشائش بالحقل لأنها قد تتنافس مع النبات على امتصاص العناصر الغذائية أي أن العناصر موجودة بصورة ميسرة لكن بسبب الحشائش لم يستطع النبات الحصول عليها.
- تحدد أي إصابة حشرية أو فطرية تظهر على النباتات.
- تؤخذ عينات ترابية ونباتية بطريقة صحيحة كما سيذكر فيما بعد لعمل تحليل لها مخبرياً.
- تحدد حالة الحقل أو المشكلة الذي ذهب من أجلها الفاحص إلى الحقل بعد مقارنة الفحص الحقل مع التحليل المخبري يتم كتابة التقرير عن هذه الحالة والعلاج المطلوب.
- بعد تحديد حالة الحقل من ناحية الإمداد بالعناصر الغذائية تأتي مرحلة التقدير الكمي وذلك باختيار أحد الطرق التي تفيد في إعطاء توصية سمادية (الكمية المكتملة من العنصر التي إضافتها)، وهنا يجب أن نراعي الآتي:
- أخذ العينة بطريقة صحيحة
- التحليل المخبري الدقيق
- استخدام اختبارات معايرة وهي التي تربط نتائج الطريقة مع استجابة النبات.

12-3- Plant analysis تحليل النبات

12-3-1- التشخيص البصري لأعراض النقص أو الزيادة

Visual diagnosis of deficiency symptoms or excess

يمكن استخدام العين في تشخيص أعراض نقص العناصر وبالتالي تشخيص الحاجة للتسميد وتوجد ثلاث وسائل لهذا التشخيص وهي:

- العين المجردة: وفيها تستخدم الخبرة في التشخيص وسوف نوضح فيما بعد أعراض نقص العناصر أو تقارن مع صور فوتوغرافية ملونة خاصة بكل عنصر على النبات والبعض في حالة الاصفرار الناتج عن النيتروجين .
 - استخدام عدسة مكبرة
 - استخدام الميكروسكوب
- وتظهر أعراض النقص نتيجة حدوث اضطراب في التغذية المعدنية للنبات أي حدوث عدم اتزان عنصري نتيجة نقص أو زيادة العناصر وهو ما يطلق عليه في بعض المراجع اسم الإجهاد العنصري ويعتبر زيادة العنصر نادر الحدوث وصعب التشخيص.
- لماذا تظهر تلوينات على أعضاء النبات نتيجة أعراض نقص أو زيادة العناصر؟ لأن نقص أو زيادة العنصر (عدم الاتزان) تؤثر على العمليات المختلفة التي تتم داخل النبات حيث قد تؤدي إلى تراكم لمركبات عضوية أو وسطية معينة أو نقص لمركبات أخرى.

12-3-1-1- ملاحظات عن التشخيص البصري لأعراض نقص أو زيادة العناصر:

1. نقص أو زيادة العنصر لا تعطي مباشرة تلونات ولكن قد ينتج عنها نقص في النمو أولاً.
2. عدم الاتزان العنصري لا يؤثر على المجموع الخضري فقط بل قد يمتد إلى المجموع الجذري من حيث امتداده (انتشاره) ونوع نموه وعادة لا يهتم بالجذر في التشخيص وإن كان هاماً جداً في التشخيص.
3. لا تنتج الأعراض على النباتات نتيجة نقص أو زيادة العناصر فقط ولكن هناك أسباب أخرى فقد تكون ناتجة عن:

- أمراض النبات والكائنات الدقيقة الضارة.
 - ضرر فيزيولوجي الذي يتمثل في نقص عوامل النمو السابق ذكرها (ضوء، حرارة، مياه، أكسجين التربة... الخ).
 - التأثيرات السامة (التسمم Poisoning) الناتجة عن المعادن الثقيلة وقد تتشابه مع أسباب الإصابة الحشرية أو أمراض النبات.
- 4- يفضل مقارنة أعراض النقص مع صور ملونة لهذه الأعراض.

5- من الضروري تسجيل موقع أعراض النقص عند أول ظهورها بمعنى هل هو:

- على الأوراق المسنة Older Leaves ؟ وهذا يعني أن النقص ناتج عن العناصر المتحركة mobile element في النبات (N,P, Mg) .
- على الأوراق الحديثة Younger Leaves وهذا يكون ناتج عن العناصر غير المتحركة داخل النبات immobile element مثل Fe, Zn, Cu, B.

وأهمية التشخيص عند أول ظهور الأعراض هو أن أعراض النقص مع التأخير سوف تشمل جميع الأوراق خاصة عند زيادة النقص كذلك هذا الضرر سوف يكون مستتراً (يتداخل) مع الضرر الثانوي الناتج عن أصل طفيلي Parasitic origin.

- 6- لا بد من التمييز بين ظاهرتي Chloroses و Necroses حيث Chloroses تعني اصفرار العضو النباتي حيث يحدث اضطراب في تكوين الكلوروفيل وهذا الضرر يعتبر عكسي Reversible أي أنه يمكن تصحيح هذا النقص بالتسميد وينتج عن نقص عناصر N, Mg, Fe, S وفي حالة النقص الشديد تتحول هذه الظاهرة إلى Necroses. أما ظاهرة Necroses تعني موت النسيج النباتي الذي يتحول إلى لون بني وهذا الضرر غير عكسي irreversible حيث لا يمكن تصحيحه عن طريق التسميد، ولكن التسميد في هذه الحالة يؤدي إلى تكوين أوراق جديدة بشرط عدم موت النيات تماماً أي أن هذه الظاهرة مرحلة انتقالية بعد الاصفرار وينتج عن نقص كل من K, Mn, Cu

7- أعراض النقص الفردية سهلة التعرف عليها ولكن الضرر المعقد (المركب) أي الناتج عن أسباب عديدة في وقت واحد والذي يطلق عليه Syndromes complexes يكون من الصعب تشخيصه مثال ذلك ارتباط السكريات في الذرة مع Flavones لتكوين الأنثوسيانينات Anthocyanins وهي صبغات ذات ألوان Yellow, Purple, Red وفي نفس الوقت يمكن أن تتراكم هذه الصبغات نتيجة نقص عنصر P أو انخفاض حرارة التربة أو تأثير الحشرات على الجذر أو نقص N.

8- الضرر الناتج عن زيادة الحموضة Acid damage ونقص العناصر المتعدد multiple deficiencies أعراض معقدة تتمثل في تلون أوراق النبات باللون الأصفر إلى اللون البني والمحمر. أيضا زيادة الضرر الملحي Salt damage في حالة النباتات الصغيرة أو زيادة البورون خصوصا في الحبوب ينتج عنه تبقع أسود Black Spottiness في الشعير .

9- قد تتشابه أعراض النقص ويصعب التعرف على الأعراض كما في حالة نقص N يمكن التعرف على أعراضه ولكن ربما قد تكون الأعراض ناتجة عن نقص S وهنا الخبرة تستطيع تحديد الأعراض بالضبط.

10- قد تكون أعراض نقص عنصر ناتجة عن زيادة كمية عنصر آخر مثل نقص Mn قد يحدث نتيجة إضافة كميات هائلة من Fe كذلك عند إمداد النباتات بمعدل منخفض من P فإنها لا تحتاج إلى N بكمية كبيرة مقارنة بمعدل إمداد P الطبيعي أو الكافي وفي هذه الحالة سوف يجعل العامل المحدد هو N وتظهر أعراض نقصه.

11- إن لكل عنصر في حالة نقصه علامة مميزة ولكن مما يعيق التشخيص هو أن يكون لعنصر معين أكثر من تأثير، فمثلا في حالة نقص النيتروجين تكون أوراق أغلب النباتات ذات لون أخضر شاحب Pale green أو أصفر فاتح Light yellow حيث في حالة هذا النقص يقل إنتاج النبات للكلوروفيل ولهذا تظهر الصبغات الصفراء مثل Carotene and Xanthophyll والصعوبة تأتي من وجود عدد من العناصر عند نقصها تعطي لونا أخضر شاحباً أو أصفر والذي يرتبط بنظام ورقة معينة أو موقعها على النبات.

12- عند ملاحظة أعراض نقص يمكن علاجه أثناء موسم النمو علاجاً سريعاً بالرش أو الإضافة الأرضية ثم يتم العلاج في الموسم التالي وهذا يتطلب الخبرة الجيدة في تحديد أعراض النقص بالضبط. لأنه قد نجد توفر العناصر بكمية كافية لاحتياج النبات لكن النبات غير قادر على امتصاصها لأسباب عديدة بسبب ظروف الحرارة الباردة لأنها تقلل من امتصاص العناصر الغذائية كالاتي:

- يقل الانتقال الكتلي Mass Flow نتيجة انخفاض كل من معدلي النمو والنتج.

- انخفاض معدل انتشار العناصر Nutrient deffusion rate مع انخفاض كل من الحرارة والتدرج في التركيز.

- انخفاض معدنة العناصر الغذائية Mineralization المكونة معقد مع المادة العضوية.
13- يكون هناك نقص في العنصر علاماته غير واضحة أو لم يصل المحتوى المنخفض بالتربة أو النبات إلى الدرجة التي يظهر عنها علامات وإن كان يؤدي إلى نقص النمو والمحصول إلى حد ما ويطلق على هذا الجوع المستتر Hidden hunger وبهذا لا تفيد طريقة تسجيل أعراض النقص في التشخيص وهنا يفضل مع هذه الطريقة طريقة مكملة وهي تحليل التربة أو النسيج النباتي.

12-3-1-2- أعراض نقص و Deficiency وزيادة Excess العناصر الغذائية

وللتسهيل تقسم أعراض نقص العناصر وفق التالي:

أ- تظهر الأعراض على النبات بكامله بما في ذلك الأوراق مثل النتروجين والفوسفور
ب- تظهر الأعراض على الأوراق المسنة فقط أما باقي النبات فيكون طبيعياً مثل البوتاسيوم والمغنيزيوم

تظهر الأعراض على الأوراق الفتية فقط فيفحص البرعم الطرفي:

أ- البرعم الطرفي لا يموت: الحديد و المنغنيز و الكبريت

ب- البرعم الطرفي يموت: الكالسيوم والبورون والزنك

وفيما يلي أعراض نقص وزيادة العناصر على النباتات

1- الآزوت Nitrogn:

عند نقص الآزوت في التربة تظهر على النباتات أعراض الضعف العام فتصبح الأوراق مستقيمة متصلة ذات أعناق قصيرة وتظهر عروقها بشكل واضح ويصبح لون الأوراق في المراحل الأولى خضراء شاحبة، وقد تظهر ألوان صفراء أو حتى حمراء كلما تقدمت مراحل النمو. وتختلف الأعراض بعض الشيء من نبات إلى آخر. كما يمكن أن يحدث لبس في التشخيص لأن الرطوبة الزائدة والجفاف تسبب ظهور اللون الأصفر أيضاً. ومن المتوقع ظهور أعراض نقص النتروجين على النبات عندما ينخفض محتوى المادة النباتية الجافة من هذا العنصر عن (1.5%) ولما كان النتروجين سريع الحركة في النبات (Mobile element)، فإن أعراض نقصه تظهر على الجزء السفلي للنبات بدايةً أي على الأوراق و النموات القديمة، ثم تمتد حتى تعم كامل النبات.

زيادة: عند زيادة الآزوت تظهر الأوراق باللون الأخضر الغامق وتكون النباتات غنية بالعصارة طرية قليلة الألياف ويتأخر النضج وترقد النباتات. وتكون هذه الأعراض أكثر وضوحاً عند عدم

مواكبة إضافة الأسمدة النتروجينية مع إضافة مركبات العناصر المغذية الأساسية الكبرى وبخاصة الفوسفور والبوتاسيوم.

2- الفوسفور Phosphorus:

تظهر أعراض نقص الفوسفور على النبات عموماً عندما يكون تركيزه في المادة النباتية الجافة ($\geq 0.1\%$). وتظهر هذه الأعراض على الأوراق والنموات القديمة، فالفوسفور عنصر متحرك Mobile element ضمن النبات ينتقل عند نقص الكميات المتاحة منه في التربة من الأوراق القديمة إلى الأوراق حديثة النمو. وتختلف أعراض نقص الفوسفور على النبات باختلاف النوع النباتي وعمر النبات، ويمكن إيجاز هذه الأعراض بالآتي:

- تتلون الأوراق القديمة باللون الأخضر الداكن أو الأخضر المزرق الباهت ويعزى ذلك إلى زيادة الكلوروفيل a ذي اللون الأخضر المزرق مقابل الكلوروفيل b ذي اللون الأخضر المصفر.
 - تتلون أوراق النباتات البقولية باللون الأصفر بشكل مشابه لنقص النتروجين، نظراً لانخفاض فعالية بكتريا العقد الجذرية Rhizobium في تثبيت النتروجين، الأمر الذي ينعكس سلباً على تصنيع البروتينات وتشكل الكلوروفيل.
 - يزداد تخليق صبغة الأنثوسيانين Anthocyanin فتظهر تلوينات حمراء أو بنفسجية أو أرجوانية على الأوراق أو السوق عند النجيليات، أو على السطح السفلي أو كلا سطحي الورقة عند النباتات الأخرى.
 - يضعف نمو المجموع الجذري وتقل تفرعاته الجانبية مع تلون هذه التفرعات باللون البني.
 - ينخفض معدل نمو النبات وتكون نسبة المادة الجافة للمجموع الخضري إلى المادة الجافة للجذور منخفضة.
 - ينخفض معدل تشكل الثمار والبذور ويتأخر نضج الثمار مع تعرضها للسقوط المبكر.
 - تنخفض مقدرة النبات على تحمل الصقيع.
- تنمو النباتات التي تفتقر إلى الفوسفور ببطء (تتقزم). عندما تكون في المراحل المبكرة من الحاجة (النقص) ويكون لونها، أخضر داكناً، وغالباً رمادياً- أخضر أو أزرق- أخضر. هذه الألوان أخضر- داكن أو المخضر هي نتيجة لتوقف النمو حيث تتركز الصبغة الخضراء في الأوراق التي تبقى صغيرة.
- ومن أكثر مظاهر نقص الفوسفور ملاحظة مع زيادة النقص هو تحول لون الأوراق إلى أرجواني. الأوراق الأكبر سناً، حتى أوراق الشتلات الناشئة، تظهر أرجوانية، ولا سيما الجهة السفلى للأوراق. كلما أصبح النقص أكثر شدة، تصبح الأوراق السفلى صفراء، ثم تصبح بنية ومن ثم تتساقط. لا تظهر هذه الأعراض على كل النباتات، على سبيل المثال، مع الخيار، النباتات

تتقرم، ولكن لا تصبح ألوان الأوراق السفلى قريبة من الأخضر أو الأحمر. بدلاً من ذلك، تموت الأنسجة في قاعدة الأوراق قرب السويقات (Petioles) أو على طول هوامش الأوراق. وتجف هذه الأنسجة مع زيادة النقص.

يزيد الطقس البارد من احتمال نقص الفوسفور. في التربة الباردة، يكون الفوسفور قابلاً للذوبان بشكل محدود، وعلاوة على ذلك، يصبح امتصاصه في النباتات بطيئاً. لذا ينبغي أن تكون زراعة المحاصيل المبكرة في الحقل مسمدة جيداً بالفوسفور. في أوائل فصل الربيع، تكون التربة باردة، وجذور النباتات متفرقة، ويتحرك الفوسفور ببطء في التربة. تحد هذه الظواهر من توافر الفوسفور للنباتات. ومن المهم أن يتم كامل تسميد المحاصيل بالفوسفور (مبكراً) في وقت الزراعة. يُثبت الفوسفور بسهولة في التربة بحيث يصبح غير متوافر بشكل كبير في التربة للنباتات مع مرور الوقت. إذا تم وضع الفوسفور بعيداً عن الجذور، قد يثبت قبل أن تنمو الجذور وتصل إلى المنطقة المسمدة.

من الصعب تصحيح نقص الفوسفور في النبات. ومن الصعب إدخال الفوسفور إلى النباتات التي تفتقر إلى الفوسفور. تنقل الفوسفور في التربة مقيد بواسطة كيمياء الفوسفور في التربة. لا يمكن أن ينتقل الفوسفور سوى بضعة سنتيمترات من نقطة إضافته. وقد لا تصل الإضافات السطحية من الفوسفور إلى جذور النباتات النامية سابقاً في التربة. ومع ذلك، إذا كان الفوسفور متاحاً بسهولة في بداية موسم النمو، ستمتص النباتات الفوسفور بما يزيد على احتياجاتها في ذلك الوقت. لاحقاً، مع نمو النباتات، يمكن أن ينتقل هذا الفوسفور المتوافر لمناطق النبات التي هي بحاجة إليه.

يختلف امتصاص المحاصيل للفوسفور من التربة. كما هو الحال مع النتروجين، حيث تتعلق الكميات الممتصة بالإنتاجية. فالمحاصيل ذات الإنتاجية العالية، سريعة النمو، و المزروعة بكثافة تمتص الفوسفور بشكل أكبر. وامتصاص الفوسفور هو نحو ربع امتصاص النتروجين. ويتراوح تراكيز الفوسفور في أوراق المحاصيل المزروعة في الحقل مع التغذية الكافية من 0.2 % إلى 0.5 % من وزن الأوراق الجاف. وعادة ما يشير التركيز الأقل من 0.15 % إلى ظروف نقص الفوسفور.

زيادة: نادراً ما تظهر أعراض زيادة الفوسفور في الظروف الطبيعية، وذلك بسبب تعرض الفوسفور للتثبيت في التربة باليات وصور شتى كما تمت الإشارة إلى ذلك سابقاً. ويمكن أن تؤدي إضافة كمية زائدة من الأسمدة الفوسفاتية إلى الإسراع في نضج الثمار بطريقة غير مباشرة من خلال خفض الكمية الممتصة من النتروجين. وتؤدي زيادة الفوسفور إلى إعاقة امتصاص الزنك والحديد وانتقالهما ضمن النبات، كما تخلل التغذية بكل من النحاس والمنغنيز والبورون والبوتاسيوم والكالسيوم.

3- البوتاسيوم Potassium

تظهر أعراض نقص البوتاسيوم غالباً في الترب الرملية بسبب انخفاض سعتها التبادلية الكاتيونية وتعرضه للانغسال منها. كما يمكن أن تظهر هذه الأعراض في الترب العضوية أيضاً نظراً لعدم دخول البوتاسيوم في بناء المادة العضوية، ولتعرض الكميات المدمصة منه للتبادل الكاتيوني مما يؤدي إلى انغساله منها. يعتقد أن أعراض نقص البوتاسيوم على النبات تظهر عندما ينخفض محتوى النبات منه عن 1.5% في المادة الجافة وأهم هذه الأعراض:

- اصفرار حواف الأوراق القديمة ثم تحول لونها إلى بني بما يشبه الاحتراق ومن امتداد الاصفرار ليشمل مساحة أكبر من الورقة وانتقاله ليشمل الأوراق الفتية أيضاً.
- انخفاض معدل نمو النبات لعدم كفاية البوتاسيوم المتحرر من الأوراق القديمة لتلبية الطلب الكبير عليه من أجل الأنسجة المرستيمية في القمم النامية، مما يؤدي في النهاية إلى تقزم النبات. وتبدي النباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم مظهر التورد Rozetting نتيجة لقصر السلاميات.
- ذبول الأوراق وتهدهدها نحو الأسفل، وبخاصة عند ارتفاع درجة الحرارة الجوية والجفاف.
- انخفاض عدد الأزهار والثمار وبقاء الثمار صغيرة الحجم.
- انخفاض محتوى النبات من الكربوهيدرات
- تضعف قدرة النبات على مقاومة الرقاد، وعلى تحمل الجفاف والصقيع والملوحة.

الاستهلاك الترفي للبوتاسيوم Luxury Consumption of Potassium

إذا كان البوتاسيوم موجوداً بكميات وفيرة في التربة فإن النباتات تمتص البوتاسيوم فوق حاجتها. حيث إنها قد تمتص البوتاسيوم بكمية أكثر بمرتين إلى أربع مرات من الكمية التي تحتاجها للعمليات الاستقلابية. وذلك دون أن ينعكس هذا الامتصاص الزائد للبوتاسيوم على نمو النبات، بل يترافق فقط مع زيادة تركيزه في النسيج النباتي، وفي التربة ذات القدرة العالية للإمداد بالبوتاسيوم، لا يمكن تجنب الاستهلاك المترف، والمشكلة الأساسية هنا هي خسارة البوتاسيوم.

4- الكالسيوم Calcium

نادراً ما تظهر أعراض نقص الكالسيوم على النباتات المزروعة في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة لغنى هذه الترب عموماً بالكالسيوم القابل لإفادة النبات. لكن من الممكن ظهور هذه الأعراض على النباتات النامية في الترب المشتقة من صخور السربنتين الغنية بالمغنزيوم كنتيجة لمنافسة المغنزيوم للكالسيوم على الامتصاص من قبل النبات. كما يمكن أن تظهر أعراض نقص الكالسيوم على النباتات النامية في الترب الحامضية التي غالباً ما تكون فقيرة بهذا العنصر وفي الترب الرملية لانخفاض سعتها التبادلية الكاتيونية. وقد ينتج نقص الكالسيوم عن ظروف أخرى لا تتعلق بمحتوى التربة من الكالسيوم القابل للإفادة فالجفاف والملوحة والتسميد النتروجيني

الأمونيماكي يمكن أن يؤدي إلى انخفاض معدل انتقال الكالسيوم في النسغ الناقص وبالتالي ظهور أعراض النقص. كما أن سوء تهوية التربة وانخفاض درجة حرارتها. وأي عامل آخر يعيق نمو الجذور يمكن أن يؤدي إلى ظهور أعراض نقص هذا العنصر.

يعد الكالسيوم من العناصر غير المتحركة في النبات Immobile element لذلك تظهر أعراض نقصه على النموات الفتية أولاً. وقد تحتوي الأوراق المسنة لنبات ما على كميات كبيرة من الكالسيوم، بينما تعاني الأوراق الحديثة للنبات ذاته نقصاً في هذا العنصر. ويمكن إيجاز أهم الأعراض الناجمة عن نقص هذا العنصر بالآتي:

- 1- تشوه الأوراق الفتية وتقوس قممها وحوافها وتلون العروق بلون أدكن من المناطق المحيطة بها.
- 2- انخفاض معدل نمو النبات وضعف نمو المجموع الجذري.
- 3- تعفن قمم الجذور وموتها بشكل تدريجي.
- 4- ليونة في الأنسجة بسبب ذوبان الجدر الخلوية.
- 5- موت القمم النامية، مما يؤدي إلى خروج عدد كبير من البراعم الجانبية الحديثة ويجعل مظهر النبات كثيفاً.
- 6- يسبب نقصه على التفان مرضاً فيزيولوجياً يدعى الندبة المرة أو التبغ الفليني Bitter Pit حيث تظهر على الثمار عند النضج أو أثناء التخزين بقع فلينية بنية اللون تحت القشرة وتزداد مع مرور الزمن.
- 7- يسبب نقصه على البندورة إصابة الثمار بمرض يدعى تعفن الطرف الزهري "Blossom-end Rot حيث تتعفن قاعدة الزهرة نتيجة لتحلل الأنسجة الخلوية فيها.
- 8- يمكن أن يؤدي نقص الكالسيوم وبخاصة عندما يكون معدل نمو النبات مرتفعاً إلى مرض فيزيولوجي يسمى تراجع (التواء) الساق Bending down إذ تظهر بقع متطاولة تحيط بالمنطقة الواقعة أسفل الحامل الزهري أو أسفل القمة النامية، لا تلبث أن تتحول إلى لون بني وتؤدي إلى التواء الساق أو الحامل الزهري وبقائه معلقاً لفترة قصيرة قبل أن يذبل ويموت.

5- المغنيزيوم Magnesium

يمكن أن تظهر أعراض نقص المغنيزيوم في الترب الكلسية، والرملية، وفي الترب الحامضية، كما في الترب الحامضية المستصلحة بإضافة كميات كبيرة من المركبات الكلسية. ويمكن أن تظهر هذه الأعراض أيضاً عند إضافة كميات زائدة من الأسمدة البوتاسية أو الأمونيومية، وعند زراعة محصول متطلب للمغنيزيوم في تربة لا تعاني أساساً من نقص في محتواها من المغنيزيوم القابل للإفادة.

تبدأ أعراض نقص المغنيزيوم بالظهور عندما ينخفض محتوى النبات منه عن (0.2 %) في المادة الجافة، وتتباين هذه الأعراض تبعاً للنوع النباتي. ونظراً لامتداد هذا العنصر بحركية عالية داخل النبات، فإن أعراض النقص تبدأ بالظهور على الأوراق المسنة أولاً وتتجلى هذه الأعراض بالآتي:

1- اصفرار صفيحة الورقة مع بقاء العروة خضراء اللون لفترة أطول، وتصبح الأوراق قاسية وهشة وتتساقط قبل أوانها عند النباتات ثنائية الفلقة كالشوندر السكري والكرمة والفاصولياء والبطاطا.

2- ظهور بقع مرمية تمتد بموازاة عروق الورقة عند النباتات أحادية الفلقة. وقد تظهر بقع أو خطوط صفراء اعتباراً من قمة وحواف الأوراق يتصل بعضها ببعض وتنتشر باتجاه قاعدة الورقة.

3- يؤدي استمرار النقص إلى تخريب تام للكلوروفيل، وتوقف لتصنيع الكربوهيدرات، وتظهر أنسجة ميتة بلون بنيم أو بني داكن داخل المساحات المصفرة. وقد تظهر على بعض النباتات تلوّنات برتقالية أو حمراء أو أرجوانية.

4- تصبح الأوراق قاسية نتيجة لتجمع النشاء فيها بسبب إعاقة نقل نواتج عملية التمثيل الكلوروفيل.

5- ينخفض محتوى الثمار والبذور والدرنات من البروتين والكربوهيدرات والليبيدات.

6- يسبب نقص المغنيزيوم عند الكرمة مرض يدعى شلل أعناق أوراق وعناقيد الكرمة.

6- الكبريت Sulfur

تتشابه أعراض نقص الكبريت على النباتات مع أعراض نقص الآزوت، إلا أن أعراض نقص الكبريت والتي تظهر بلون أصفر تظهر على النموات الحديثة للنباتات وذلك بعكس أعراض نقص الآزوت التي تظهر على النموات القديمة للأوراق. وفي مرحلة متقدمة من النقص، فإن أعراض النقص تشمل النبات بكامله ولا يمكن عند هذه المرحلة التمييز بين نقص الآزوت أو الكبريت على النبات. ويمكن تمييز أعراض أخرى عند بعض النباتات

- نباتات العائلة الصليبية: يلاحظ اصفرار الأوراق يرافقه تطاول الأوراق وتشوهاها.
- نباتات العائلة البقولية: يكون الاصفرار على شكل لون أخضر باهت مترافق مع حروق على حواف الأوراق.

التسمم بالكبريت:

- يمكن لبعض النباتات تحمل تراكيز مرتفعة من الكبريتات في التربة، وعموماً فإن انخفاض محتوى التربة عن 0.2 % يعد غير ضار لمعظم المحاصيل، أما ارتفاعها عن 0.7 %

فيؤدي إلى أضرار على أغلب المحاصيل. أما فيما يتعلق بتركيز SO_2 في الهواء الجوي فإن ارتفاع تركيز عن 1 مغ/م³ يسبب سمية لمعظم المحاصيل.

- تظهر أعراض السمية نتيجة لارتفاع تركيز شاردة الكبريتات في التربة على شكل لون أخضر داكن يرافقه انخفاض في معدل النمو أما السمية الناجمة عن ارتفاع تركيز SO_2 في الهواء الجوي فيكون التأثير مختلفاً ونميز حالتين: ففي الحالة الأولى التي يصل فيها SO_2 إلى داخل الخلايا النباتية عن طريق الثغور التنفسية، تظهر أعراض السمية على شكل لون أخضر باهت ناتج عن انحلال SO_2 في الخلايا حيث تؤثر بذلك أيونات الكبريت سلباً على نشاط بعض الأنزيمات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي، كما تغير من تركيب الأحماض الأمينية، وتمنع تبادل المواد ضمن أغشية الخلايا. أما الحالة الثانية للتسمم بغاز SO_2 فتلاحظ عند ارتفاع الرطوبة الجوية وبالتالي انحلال غاز SO_2 وتحوله إلى H_2SO_3 الذي يتساقط على شكل أمطار حامضية (pH حوالي 3) مما يسبب حرقاً على النباتات، ويؤدي إلى خفض قدرتها على القيام بوظائفها الحيوية.

7- الحديد Iron

قد تظهر أعراض نقص الحديد والناتج عن نقص الكمية الصالحة في التربة عندما يقل تركيزه داخل النبات عن 50 جزءاً في المليون. ويمكن ذكر الظروف التي تشجع على ظهور الاصفرار Chlorosis وهو العرض الرئيسي على النبات فيما يلي: انخفاض محتوى التربة من الحديد الصالح (الحد الحرج للحديد والمستخلص بمحلول DTPA هو في مدى 2.5 - 4.5 ppm) - ارتفاع نسبة الكربونات في التربة - ارتفاع مستوى البيكربونات الذائبة في التربة وفي مياه الري - زيادة الفوسفات الذائبة - زيادة النترات - الري الزائد وارتفاع نسبة الرطوبة بالأرض - زيادة تركيز بالترية مثل Zn , Cu , Mn وغيرها - عدم الاتزان بين نسب الكاتيونات في النبات - التهوية السيئة - انخفاض درجة حرارة التربة - زيادة الكثافة الضوئية - معدل إضافة المادة العضوية - الإصابة بالفيروسات - إصابة الجذور بالنيماتودا أو الكائنات الأرضية الأخرى وأخيراً العوامل الوراثية للنبات.

يعتبر الحديد من العناصر غير المتحركة داخل النبات وبالتالي تظهر أعراض نقصه على الأوراق حديثة النمو. وأهم الأعراض الظاهرية ما يلي:

1- أهم الأعراض المعروفة هي ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة النمو. ويبدأ الاصفرار بظهور لون أخضر باهت ثم يتبعه ظهور اللون الأصفر وفي مناطق متداخلة على الورقة، مع بقاء العروق خضراء.

2- في العديد من الحالات، ومع شدة النقص يتحول اللون الأصفر إلى اللون الأبيض مع انعكاس الشمس على الورقة.

ومن الجدير بالذكر أنه قد يحدث تشابه بين أعراض نقص الحديد والماغنسيوم وذلك لتأثيرهما على تكوين جزيء الكلوروفيل في النبات إلا أن عنصر الماغنسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات وبالتالي تظهر الأعراض على الأوراق المسنة.

التسمم النباتي بعنصر الحديد

تظهر عادة أعراض التسمم بعنصر الحديد في الترب الحامضية الغدقة، وكذلك بتأثير إضافات كبيرة منه في الترب الحامضية، وكذلك في الترب الحامضية القريبة من مصانع تعدين الخامات الحديدية. ومن النادر حدوث تسمم نباتي بالحديد في الترب الكلسية والقاعدية. وتظهر أعراض التسمم بتلون الأوراق باللون الأخضر الداكن وتنقرم الجذور وتتلون بالبنّي ويضعف نمو النبات بشكل عام.

8- المنغنيز Manganese:

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو عند انخفاض تركيز المنغنيز في النبات عن 20 جزء في المليون. والترب التي يظهر فيها نقص المنغنيز هي الترب الرملية: لأنها فقيرة وراثياً بهذا العنصر والعناصر الأخرى، والترب الحمضية: يتم ذلك عند استصلاحها بإضافة كميات كبيرة من الجير. والترب الكلسية والقلوية: يؤدي ارتفاع pH هذا الترب إلى انخفاض الأشكال القابلة للإفادة من المنغنيز، ويؤدي وجود الكلس إلى أسباب أخرى أهمها منافسة Ca^{+2} على الامتصاص.

ومن الأعراض:

- ظهور اصفرار بين عروق الأوراق الحديثة، ثم تتميز بعد ذلك بظهور بقع بنية لأنسجة ميتة منتشرة على الورقة مع بقاء عروق الورقة خضراء داكنة (أي تبدو الورقة مبقعة كلوحة الشطرنج).
- تظهر منطقة ذات لون رمادي عند قاعدة الأوراق الصغيرة ثم يتحول إلى لون مصفر وفي النهاية يتحول إلى اللون البرتقالي المصفر.

- وأعراض المنغنيز المنتشرة على نباتات الشوفان تعرف باسم البقع الرمادية Grey speck وعلى البسلة تعرف باسم نقط المستنقعات أو البقع السبخية Marsh spot و على قصب السكر تعرف باسم الأمراض الخطية أو الشريطية Streak disease.

- الفاصولياء: تظهر بثرات على السطح العلوي للورقة بلون بني. البطاطا: تظهر بثرات على السطح السفلي للورقة بلون بني. البندورة: تظهر بقع صفراء موازية للعروق لا تلبث أن تتصل مع بعضها البعض وتتحول إلى البني ثم تصفر باقي أجزاء الورقة. الجزر: يلاحظ وجود شعيرات جذرية على الجذر وانتشار الجذر إلى نصفين، علماً أن لهذه الظاهرة أكثر من مسبب.

- حالات خاصة لظهور أعراض النقص:

- يؤدي ارتفاع تركيز الحديد في التربة إلى انخفاض امتصاص النبات لعنصر المنغنيز
- ارتفاع تركيز الفوسفور يمكن أن يؤدي إلى ترسيب المنغنيز ضمن أنسجة النباتات.
- يؤدي ارتفاع كل من النحاس والزنك إلى إعاقة امتصاص المنغنيز.

التسمم بالمنغنيز

يحدث التسمم بالمنغنيز في الترب شديدة الحموضة والترب الغدقة، ويمكن أن يحدث عند استخدام كميات كبيرة منه وخاصة في الترب الحامضية. يمكن أن يكون التسمم عن طريق تلوث التربة بمخلفات المصانع التي تطرح إلى الترب الزراعية.

تظهر أعراض التسمم على النبات عندما يرتفع تركيز المنغنيز إلى 400-500 ppm حيث تظهر هذه الأعراض على شكل بقع بنية على حواف الأوراق القديمة تحيط بها مساحات شاحبة، يشذ عن ذلك بعض النباتات التي تمتص عنصر المنغنيز بمقدار يتعدى 50 ضعفاً مقارنة مع نباتات أخرى، ومن المعتقد تخزينه في هذه الحالة ضمن النبات بأشكال غير فعالة.

9- الزنك Zinc:

تختلف حدود النقص والكفاية وأيضاً حدود السمية للزنك من نبات لآخر، و في كثير من المحاصيل إذا انخفض التركيز إلى 20 جزءاً بالمليون في المادة الجافة، يكون هناك احتمال بوجود مشكلة نقص في الزنك، بينما إذا انخفض التركيز إلى 15 جزءاً في المليون يكون هناك نقص أكيد في هذا العنصر. والترب التي يظهر فيها نقص الزنك هي الترب الرملية. والترب الحامضية المستصلحة بإضافة الجير. والترب الكلسية بسبب المنافسة مع الكالسيوم من جهة ورفع درجة التفاعل من جهة ثانية. وفي ما يلي الأعراض العامة لنقص عنصر الزنك والتي يمكن تمييزها ظاهرياً على النبات والتي تظهر على الأوراق الحديثة أولاً نظراً لأن الزنك من العناصر غير المتحركة داخل النبات.

- تبدأ الأعراض بظهور لون أخضر باهت، ثم يتحول إلى الأصفر، ثم يتطور إلى بقع يصبح لونها أبيض مع انعكاس الشمس عليها ويكون ذلك جزئياً على الأوراق السفلية المسنة مع شدة النقص، وفي بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ .
- اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعامة الانتشار على الورق وتكون مميزة بين العروق. وغالباً ما تكون هذه الأعراض على الورقة الثانية أو الثالثة كاملة النضج من القمة.
- ظهور أوراق صغيرة الحجم على قمة الساق (حدوث ما يعرف بظاهرة التورد Rosetting). وهي ظاهرة تقزم الأفرع وقصر السلاميات، وظهور أوراق قمية على الفرع بما يشبه الوردة، تعري الأجزاء السفلى للفرع وتظهر هذه الظاهرة في التفاحيات.
- ظهور النبات متقزماً نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق.

- حدوث موت للأنسجة المتأثرة بذلك يتبعها موت النبات، و يكون النبات غير مستوى في استقامته ويتأخر النضج.
- ظاهرة الموت القمي التراجعي: وهذ الظاهرة أكثر مصادفةً عند الحمضيات حيث تموت البراعم القمية للأفرع وتتشأ أفرع جديدة اعتباراً من براعم إبطية، وتدعى هذ الظاهرة Die Back
- تكون الثمار غير طبيعية وصغيرة الحجم مما يؤثر على المحصول. وبصفة عامة تكون أعراض نقص الزنك واضحة تماماً على بعض المحاصيل مثل الأرز، الذرة، الحمضيات، العنب والتفاح.
- ظاهرة الورقة الفنجانية أو الورقة الصغيرة little leaf or cupped leaf حيث تظهر على أوراق البطاطا على شكل فنجان.
- تقعر حواف التربة باتجاه الأعلى عند الكرمة تزداد الزاوية بين الورقة والغصن المثبتة عليه.
- عند أحاديات الفلقة: تظهر الإصابة على شكل لون أصفر موازي للعروق يتحول إلى لون بني كما وتظهر أعراض شبيهة بالحروق على حواف الأوراق.

التسمم بالزنك

نقص: تظهر أعراض التسمم بالزنك في الترب الحامضية بشكل عام أو كنتيجة لإضافة كبيرة من هذا العنصر، ويمكن تلافي أعراض التسمم في التربة عن طريق إضافة الجير الذي يقلل من امتصاص النبات لهذا العنصر، و يعد الحد الأعلى لوجود هذا العنصر في النبات هو 400 ppm. وبالرغم من ذلك فإن بعض النباتات قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الزنك دون أن تظهر عليها أعراض التسمم ويفسر ذلك بقدرة بعض النباتات على تخزين الزنك في أنسجتها بأشكال لا تستخدم من قبل النبات. تظهر أعراض التسمم على شكل اصفرار ناجم عن نقص عنصر الحديد وكذلك انخفاض في عملية التمثيل الضوئي وتدني المحصول.

10- النحاس Copper:

تظهر أعراض نقص عنصر النحاس على النباتات عندما ينخفض تركيزه في الأوراق 2-4 مغ/مادة جافة (أقل من 0.2 مغ/كغ تربة). وتظهر أعراض النقص على النموات الحديثة، وتختلف أعراض النقص بحسب النوع النباتي وشدة النقص. والنحاس قد يسلك سلوك كلٍ من العناصر المتحركة وغير المتحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر في وسط النمو. محاصيل الحبوب: تظهر أعراض النقص على شكل جفاف وموت قمة الأوراق أو أجزاء من الورقة، وتلتف الأجزاء الجافة على شكل لولب، وقد تجف الأوراق دون تغير في لونها، ويتأثر طرد السنابل حيث تبقى تحت إبط آخر ورقة. وفي حالات النقص البسيط تكون الحبوب المتكونة صغيرة، وفي حالات النقص الشديد تكون السنابل فارغة والسفا جافة ومشوهة. وتتميز

حقول القمح التي تعاني من نقص النحاس بأن يكون لونها مائلاً للون الأبيض. ويظهر نقص النحاس عادةً في الترب الرملية والعضوية. أشجار الفاكهة: تظهر على الأشجار المثمرة ظاهرة الموت القمي التراجعي (back Die) حيث تموت القمة النامية للفرع وتصفّر الأوراق ثم تتساقط، وتظهر أعراض النقص على أشجار الحمضيات والتي تعد من أكثر أشجار الفاكهة حساسية لهذا العنصر حيث يبدأ ظهور أعراض النقص على النموات الحديثة على شكل جيوب صمغية على الأفرع وتكون الأفرع ضعيفة، أما على الثمار فيمكن ملاحظة بقع صمغية ضمن طبقة الألبيدوم وظهور تفلن في قلب الثمرة، ويمكن أن تتشقق الثمرة حيث تلاحظ الإفرازات الصمغية مكان التشقق.

سمية النحاس:

يزداد تركيز عنصر النحاس في التربة أو النباتات، نتيجة الإفراط في إضافة الأسمدة النحاسية، أو قد يكون ذلك ناجماً عن مصانع تنف دخانها وأغبرتها إلى الأراضي الزراعية المجاورة (كمصانع تعدين النحاس وغيرها).

تختلف المحاصيل فيما بينها في حساسيتها لظهور أعراض التسمم بعنصر النحاس. وبشكل عام يسبب تركيز 25-50 مغ/كغ مادة جافة انخفاض نمو النبات دون ظهور أعراض تسمم واضحة، إلا أن ارتفاع التركيز إلى 10 مغ/كغ مادة جافة. يؤدي إلى ظهور أعراض سمية النحاس على النبات، علماً بأن بعض النباتات (نبات حشيشة الدينار)، لم تظهر عليها أعراض التسمم رغم ارتفاع محتواها من عنصر النحاس (حوالي 1000 مغ/كغ مادة جافة).

ومن المعتقد أن أعراض السمية تظهر على النبات عند ارتفاع تركيز الشكل الكلي للنحاس عن 150-300 مغ/كغ تربة، الأخذ بالحسبان أن التركيز المرتفع للنحاس يكون تأثير كبيراً في الترب الرملية وكذلك عند انخفاض pH التربة، بينما لا يكون له الأثر ذاته في الترب الثقيلة وذات درجة تفاعل قلوي. تظهر أعراض التسمم بعنصر النحاس مشابهة لأعراض نقص الحديد حيث تصفر الأوراق ويضعف نمو النبات وتتقرم الجذور، وتقل قدرتها الحيوية. ومن الممكن تقليل الأثر السمي للنحاس في التربة عن طريق إضافة كربونات الكالسيوم أو الأسمدة المحتوية على الكالسيوم.

11- البورون Boron: تظهر أعراض نقص البورون على النباتات وخاصة تلك المزروعة في ترب رملية وترب ناتجة عن صخور فقيرة بعنصر البورون، وفي الترب الحامضية المعرضة لنظام غسل دائم، وكذلك عند ارتفاع نسبة كربونات الكالسيوم فيها وارتفاع رقم حموضتها. ظهرت أعراض النقص على النباتات عند انخفاض تركيز البورون المستخلص بالماء الساخن عن 0.36 في الترب الرملية، 0.60 في الترب الطينية، 0.80 مغ/كغ تربة في الترب الكلسية، أما الحد الحرج لتركيز البورون في النباتات فيختلف بحسب عوامل عديدة أهمها

النوع النباتي والصنف والجزء النباتي وعمره. وبشكل عام يكون الحد الحرج لمستوى عنصر البورون في الأوراق الفتية لمعظم المحاصيل حوالي 10 مغ/كغ مادة جافة. تبدو أعراض النقص على النباتات بشكل عام بظهور تغيرات فيزيولوجية مثل انخفاض النمو وسك الأوراق وموت الأنسجة الميرستيمية القمية وتساقط الأزهار وانخفاض نسبة العقد وتساقط الثمار وتشوهاها. و يعتبر البورون من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وعلى ذلك تظهر الأعراض أولاً على النموات الحديثة. وقد يتسبب نقص البورون في ظهور عدد من الأمراض الفسيولوجية التي تصيب النبات ومنها:

- الشوندر السكري: القلب الأجوف (Heart Rot) أو القلب الأسود حيث يظهر داخل جذر الشوندر السكري وتبدو الإصابة على شكل انحلال للأنسجة داخل الجذر من ناحية قمته وباتجاه الأسفل، حيث تتلون باللون البني ثم الأسود وتتشكل بعدها فجوة ضمن الجذر أما على المجموع الخضري فتكون قاعدة نصل الأوراق الحديثة غير كاملة النمو (قصيرة). وتظهر بقع صفراء على الأوراق تؤدي إلى موتها، وعلى أنصال الأوراق تتكون بقع رمادية بنية يخرج منها عصير لزج أسود اللون. تتجمع الأوراق الحديثة على قمة الجذر بشكل وردة Rosetting .

- التفاح: تظهر على ثمار التفاح بقع بنية في الجزء اللحمي من الثمرة ، تتحول لاحقاً إلى بقع فلينية Internal Corck ويمكن أن يحدث تشوه لثمار التفاح، أما الأوراق فتزداد ثخانة وتموت البراعم القمية (الموت القمي Die Back)، وتتمو براعم جانبية وتتساقط أوراق صغيرة متوضعة على أغصان ذات سلاميات متقاربة، على شكل وردة Rosetting.

- الملفوف القرنبيط: تظهر الأعراض على شكل فجوة طولانية داخل الساق تبدو بلون بني يسمى بالقلب البني Brown Heart ، ويمكن ملاحظة تلون القرص الزهري للقرنبيط باللون البني.

- العنب: تظهر على العنقود حبات عنب صغيرة مجاورة لحبات عنب كبيرة بسبب تأثير البورون على الإزهار والعقد وتشكل الثمار. ويعرف هذا المرض بما يسمى Hen and Chicken

- كذلك نتيجة لتأثير البورون على تمثيل البروتين فإن نقص البورون يؤدي إلى عدم تكوين البروتين وبالتالي عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. كما يتأثر أيضاً نمو وتطور الجذور حيث تبدو سميكة غير نظيفة ويوجد تبرقش في قمته.

سمية البورون: تختلف النباتات فيما بينها في قدرتها على تحمل تراكيز مرتفعة من البورون. تنشأ زيادة تركيز البورون في التربة نتيجة للإفراط في استخدام أسمدة البورون، وكذلك عند

استخدام مياه ري يرتفع فيها تركيز البورون عن 2 مع/ل، وعن ارتفاع التركيز في الأوراق عن 100 مع/كغ مادة جافة، وفي التربة عن 5 مغ/كغ تربة. تظهر أعراض السمية على الأوراق على شكل احتراق يمتد من نهاية الأوراق، يتبعه ظهور بقع ميتة بين العروق لا تلبث أن تتصل مع بعضها، ثم تتساقط لاحقاً.

12- الموليبدنم Molybdenum:

تظهر أعراض نقص الموليبدنم على النباتات عند انخفاض تركيز 0.02-0.2 مغ/كغ مادة جافة، وتظهر أعراض النقص عادة في الترب الحامضية والرملية، كما وتختلف أعراض النقص من نبات لآخر.

بما أن الموليبدنم يدخل في صميم عمليات ميتابوليزم النتروجين N – metabolism داخل النبات، فعلى ذلك تكون أعراض نقص هذا العنصر مشابهة لأعراض نقص النتروجين، وهذا التشابه مع أعراض نقص النتروجين يكون واضحاً في النباتات البقولية، فنقص الموليبدنم من وسط نمو تلك النباتات يؤثر على كمية النتروجين المثبتة بواسطة البكتريا الموجودة في العقد الجذرية بجانب تأثيره على عملية اختزال النترات داخل النبات. ونقص الموليبدنم يؤدي إلى إعاقة النمو الطبيعي للنبات، والأوراق تصبح شاحبة اللون وفي النهاية يحدث الذبول لتلك الأوراق. كذلك يسبب نقص هذا العنصر مرض البقع الصفراء Yellow spot في الحمضيات حيث تظهر أعراض نقص الموليبدنم على شكل بقع مائية على الوجه العلوي للأوراق الحديثة وبقع صمغية على الوجه السفلي ثم تتساقط الأوراق، ومرض الذيل السوطي Whip tail في العائلة الصليبية، حيث يحدث انكماش لحواف الأوراق الحديثة باتجاه الداخل ثم تتعري أجزاء من صفيحة الورقة حول العرق الرئيسي حيث تبدو الأوراق مشوهة وغير مكتملة النمو وتظهر بقع باهتة بين العروق ويظهر القرص الزهري على القرنبيط بشكل غير متراس مع تلونه باللون البني، وتظهر الأعراض بوضوح على نبات القرنبيط في التواء الأوراق بجهة عكس عقرب الساعة Counter clockwiss، ونمو غير طبيعي لعروق الأوراق ويعجز النبات عن تكوين رؤوس القرنبيط.

التسمم بالموليبدنم

لا تتأثر النباتات عادةً بارتفاع تركيز الموليبدنم في أنسجتها عن الحد الطبيعي ولا تظهر عليها أعراض السمية بهذا العنصر. ويمكن أن يرتفع تركيز الـ 100-1000 مغ/كغ مادة جافة. عند زيادة تركيز عنصر الموليبدنم في الوسط الغذائي ويوجد بعض المحاصيل كالعائلة البقولية يمكنها تخزين كميات كبيرة منه في البذور زيادة عن حاجتها دون أن يتأثر نموها، لذلك من الضروري معرفة تركيز الموليبدنم فيها لأن ارتفاع تركيزه عن حد معين يؤدي إلى أمراض خطيرة على صحة الإنسان والحيوان فارتفاع تركيز الموليبدنم عن 15 مغ/كغ مادة جافة في علائق

الحيوانات يسبب مرض Molybdenosis والذي يتمثل بأعراض عديدة منها الإسهال وضعف الجسم وفقر الدم وبيضاض الشعر وترق العظام وضعف الشهية، وقد لوحظ أن إضافة النحاس إلى علائق الحيوانات بنسبة 5:1 Cu/Mo ضرورية للتخفيف من هذا المرض.

12-3-2- تحليل أنسجة النبات Plant Tissue Analysis

12-3-2-1- مقدمة: مع تقدم التحليل الكيميائي اتجه الاهتمام إلى تحليل النبات بالإضافة إلى تحليل التربة وذلك للتعرف على حالة ونقص العناصر وكانت الطريقة المعتادة لتحليل النبات هو عمل حرق للمادة النباتية والحصول على الرماد ثم تحليل مكونات الرماد وتقدير نسبة كل عنصر بالنسبة للرماد وكان يظن أن الرماد الناتج ثابت لكل نوع نباتي وأن عناصر التربة متساوية الصلاحية لجميع الأنواع النباتية وقد تم إثبات عدم صحة هذين الفرضين ومن المعروف أيضا أن عملية الرماد ينتج عنها تطاير جزء من عناصر معينة أثناء الحرق وخصوصا الكبريت.

وفي هذا المجال كان لبييج أول من تقدم بكل من النظرية المعدنية Mineral theory واختراع السماد المعدني. فقد اعتقد لبييج أنه إذا أضيفت العناصر المتواجدة في رماد النبات إلى التربة فلن يكون هناك نقص في خصوبة التربة، وبالرغم من صحة مفهوم النظرية وهو أن الإمداد بالعناصر الغذائية الصالحة ضروري وهام إلا أن النظرية تجاهلت العوامل الأخرى المختلفة التي تساهم في إنتاجية التربة. إن السماد الذي أنتجه لبييج فشل في إعطاء النتائج المتوقعة لأن السماد انصهر من تأثير الحرارة التي أدت إلى اتحاد بعض العناصر مع المركبات غير الذائبة (أي تحولت إلى صورة غير صالحة).

وبالرغم من أن فكرة تقدير نقص عناصر التربة عن طريق تحليل رماد النبات قد سادت لعديد من السنين إلا أنه وجد عام 1905 حل للمشكلة توضح فيما يلي: يتم تقدير N,P,K في رماد نباتات التربة تحت الدراسة ومقدار نقص العنصر أو زيادته يقدر من الفرق بينه وبين مكونات بيئية طبيعية لنفس نوع النبات. وقد توصل العلماء إلى عدم استخدام مكونات الرماد فقط في تفسير حالة التربة ولا يجب الاستغناء عن تحليل التربة ومما يؤيد هذا أن هناك عوامل كثيرة تؤثر على امتصاص النبات للعناصر مثل: طبيعة التربة، والمناخ، وعمر وطبيعة النبات، وعمليات الخدمة، وتفاعل العناصر. ولهذا لا بد أن يستخدم تحليل النبات أو مظاهر أعراض نقص العناصر مع تحليل التربة في تحديد حالة التربة من العناصر الغذائية (تشخيص الحاجة للتسميد). ومن تحليلات النبات المستخدمة: تحليل النبات ككل أو تحليل عضو نباتي معين.

12-3-2-2- تحليل الورقة Leaf analysis

بالرغم من أن تحديد نقص التربة للعناصر الغذائية يعتمد على تحليل النبات الناضج إلا أنه يمكن استخدام تحليل الورقة في هذا الغرض. بشرط أن تختار آخر (أحدث) الأوراق ولا بد من تجنب الأوراق غير الناضجة بقمة النبات Latset mature leaf .

لماذا تستخدم تحليل الأوراق في تشخيص نقص العناصر التربة عن أي عضو نباتي آخر؟
السبب أن الورقة هي العضو النباتي الذي فيه تختلط العناصر الغذائية مع نواتج التمثيل الضوئي. وقد أوضح العالم لوندجارد السبب في أن تحليل الورقة تعتبر دليل لحالة العنصر لكل من النبات والتربة. فقد أشار أن قوة الامتصاص للجذور تنظم جزئياً تركيز الأملاح في الأوراق وأن هذه العناصر المنتقلة إلى أوراق التمثيل الخضراء تتحكم في نمو النبات وتكوين البذور (هذا معناه لو العناصر بالتربة قليلة الصلاحية يكون معدل انتقالها وتركيزها بالورقة قليل ويؤثر سلباً على نمو وتكوين البذور لهذا يمكن الحكم من تحليل الورقة على حالة العناصر بالتربة). وقد اعتقد العالم أيضاً أن تحليل الورقة لا يعطي فقط إجمالي الأملاح المستخلصة من التربة خلال فترة عدة أسابيع بل يعطي أيضاً صورة عن تشبع التربة بالعناصر.

بالنسبة لاختبار عينة الأوراق للتحليل فإنها تتحدد بشيئين هما: العمر و موقعها على أفرع النبات. فإذا روعي الموقع السليم والوقت المناسب عند أخذ عينة الأوراق فإن تحليل مكوناتها سوف يعطي فكرة عن العوامل البيئية الخارجية والداخلية المؤثرة على تراكم العناصر الغذائية بواسطة النبات. وهذا أيضاً لأن نسب العناصر بالأوراق تختلف حسب الآتي: أثناء موسم النمو، بين الأفرع المثمرة والغير مثمرة، بالأوراق من المواقع القاعدية حتى القمية.

ويلاحظ أن عينات الأوراق تؤخذ من مواقع موحدة على الأفرع وكذلك يكون توقيت أخذ العينة موحد بحيث تكون هذه الأفرع لها نفس درجة النمو العمري تقريبا عموماً مرحلة النمو الحرجة التي يجب أن تؤخذ عندها العينة لتحليل النسيج هي مرحل الإزهار أو من الإزهار حتى الإثمار. وقد توجد شروط معينة لأخذ عينة الأوراق ولكن قد تختلف طبقاً لطبيعة النبات تحت الدراسة وكذلك حسب الباحث ومثال ذلك. فقد أشار البعض إلى توصيات أخذ عينة الأوراق من أشجار الموالح وهي أن يؤخذ من 5-20 ورقة كاملة النمو ربيعية Spring cycle leaves وتكون من أفرع مثمرة من شجرة واحدة ويكرر هذا في 10 شجيرات تكون ممثلة للحقل أو جزء من الحقل. وهذه العينات تخلط للحصول على عينة شاملة.

وقد أشار آخرون في توصياتهم عند أخذ عينة أوراق من الحقل إلى:

اختيار أغلب الأوراق الحديثة النضج ويكون موقعها أسفل قمة الفرع والسبب في اختيار هذه الأوراق وموقعها أنها تعكس التغيرات في الحالة الغذائية للنبات بدرجة أكثر من الأوراق المسنة لأنها قرب القمة النامية. وقد شكك البعض في صحة هذا السبب وحيث أن وجهة النظر في ذلك

أن علامات نقص العناصر على النبات تظهر في ظروف معينة وهي عندما يكون الاحتياج إلى العنصر أكبر من الإمداد به. وبهذا فالأوراق الحديثة لا توضح الحالة الغذائية للنبات بدرجة أفضل من الأوراق المسنة ويؤدي هذا بالرأي القائل أن الجوع الداخلي للنبات تظهر آثاره على الأوراق المسنة المبكرة عن تلك الصغيرة وذلك بسبب انتقال العناصر من الأوراق المسنة عند نمو النبات. ويلاحظ أن أخذ عينات الأوراق المسنة يسمح بالتبكير في الحصول على العينة. والسؤال هنا هل كل العناصر متحركة بدرجة تسمح بأخذ عينة أوراق مسنة؟ لهذا يرى البعض أنه في حالة العناصر المتحركة تؤخذ الأوراق المسنة وفي حالة العناصر غير المتحركة الأوراق الحديثة. وبناء على ذلك تم التوصل إلى استنتاج وهو أنه بالنسبة لأخذ عينات الأوراق في حالة محاصيل الحقل والفاكهة يكون التبكير أفضل في حالة أخذ عينة واحدة ويستند هذا الاستنتاج إلى الاعتبارات التالية:

- العينة المبكرة تعطي فرصة لعلاج نقص العناصر في نفس موسم النمو.
 - معدل الانتقال في فترة النمو المبكر خصوصا قبل الإزهار يكون أكبر منه في فترة النضج.
 - عند تقدم النضج فإن العناصر المختلفة لا تزال (تؤخذ) دائما من الأوراق بالنسبة لكميات العناصر الموجودة، لذلك لو أن الاحتياج لعنصر معين أكبر من الإمداد فإن النسبة المئوية للعنصر سوف تزداد (لنقص المادة الجافة)
 - انتقال العناصر من الأوراق الناضجة يكون أكبر أثناء فترة النمو السريع لذا فإن أكبر تغيير في تركيز العناصر يتم عند هذه الفترة.
- وعموما فلا يتفق جميع العلماء مع وجهات النظر السابقة. ومن ناحية طرق التعامل مع عينات الأوراق فإنها متعددة:

- البعض يفضل الأنصال ويقوم بتحليلها فقط.
- آخرون يفضلون العرق الوسطي.
- بعض الباحثين يستخلص نسج الأوراق بماء ساخن وآخرون يستخدمون كحولاً بدلاً من الماء.

عموماً فإن طبقة التحليل تختلف باختلاف هدف الباحث والطريقة المعتادة لتحليل النسيج النباتي هو استخدام أوراق كاملة ثم تجفيفها وهضمها وتقدير العناصر المختلفة بها ثم مقارنة القيم المتحصل عليها مع القيم التي على أساسها يتم تشخيص حالة العنصر وبالتالي الحاجة إلى التسميد كما هو موضح بالجدول الآتي:

يستعمل عادة نحو 40 عنق ورقة أو عرق وسطى أو نصل في كل عينة تحليل، كما يفضل إجراء التحليل على 4 - 2 عينات ، ويحسن أن تكون هذه العينات ممثلة لمراحل مختلفة من

النمو وتغسل العينات جيداً بالماء، ثم تجفف في حرارة 70 – 60 م° في أكياس ورقية، ثم تطحن وتخزن في أوعية محكمة الغلق لحين تحليلها. (Lorenz & Tyler, 1978). هذا ومن المؤكد ظهور أعراض نقص النتروجين إذا انخفض مستواه عن 1.5% من الوزن الجاف للأوراق، وأفضل وقت للتحليل يكون في مراحل النمو المبكرة. أما المستوى الحرج للبتواسيوم، فإنه يتراوح من 2% – 0.75% بمتوسط حوالى 1.5% من الوزن الجاف للنبات، ويجري التحليل على الأوراق الحديثة المكتملة النمو، وتظهر أعراض نقص البوتاسيوم بوضوح إذا انخفض تركيزه في النبات عن هذا المستوى، وتستجيب حينئذ للتسميد البوتاسي، لكن نادراً ما تستجيب النباتات للتسميد البوتاسي إذا زاد تركيزه في النبات عن 2%، ويجب إجراء التحليل خلال المراحل المتأخرة من النمو، لأن التحليل قبل ذلك يعطى نتائج مضللة، نظراً لأن النباتات تمتص في هذه المراحل المبكرة من النمو أكثر من حاجتها الفعلية من هذا العنصر (Wilcox, 1969) وتظهر أعراض نقص الفوسفور إذا انخفض مستواه في النبات عن 0.2% على أساس الوزن الجاف، ويفضل إجراء التحليل في المراحل المبكرة من النمو. وبالمقارنة فأن البوتاسيوم تظهر أعراض نقصه إذا انخفض مستواه في النبات عن 0.8 من الوزن الجاف. (Maynard, 1979)

12-3-2-3- تحليل النسيج النباتي الطازج Fresh Tissue Analysis

تعتمد طرق تحليل النسيج النباتي سواء بعد هضم العينة النباتية ثم استخلاصها بعد الهضم بحمض أو باستخلاص النسيج الطازج في الحقل أو مخبرياً على الحقيقة العلمية التي تؤكد أن محتوى النسيج من العنصر يعكس حالة صلاحية العنصر بالتربة (الجدول 1-12).

يتناسب النمو النباتي مع محتوى النبات من العناصر الغذائية، كما هو مبين في شكل (1-12) لكل عنصر تركيز حرج Critical concentration في النبات، وهو ذلك التركيز الذي يصاحبه مع نقص تركيزه في النمو النباتي بمقدار 10% عن النمو الطبيعي، وتبدأ أعراض نقص العنصر في الظهور مع نقص تركيزه في النبات عن هذا الحد الحرج، وتفصل منطقة انتقال Transition Zone ما بين التركيز الذى تظهر عنده أعراض نقص العنصر، والتركيز الذى يصاحبه النمو الطبيعي، ومع زيادة تركيز العنصر في النبات، فإنه يصبح ساماً، ويقل النمو النباتي تبعاً لذلك (Ulrich, 1978) الشكل (2-12).

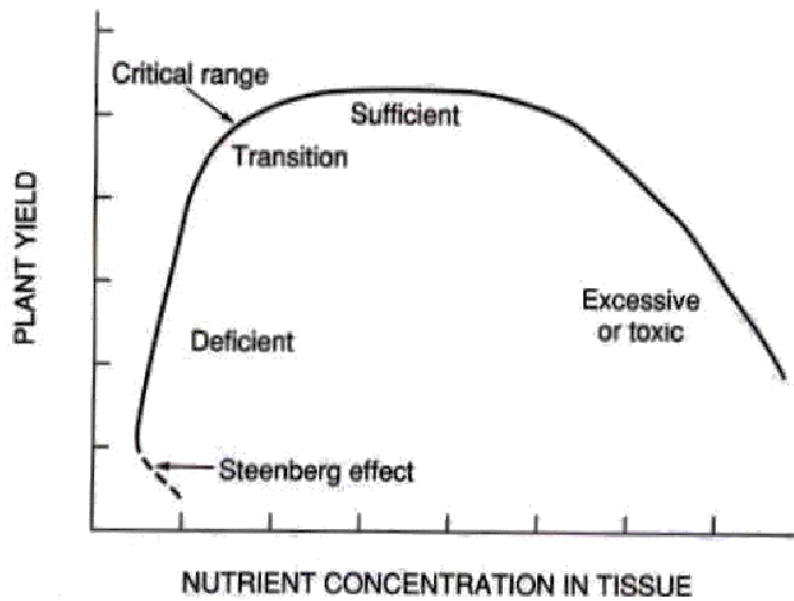
الجزء النباتي الذي يستخدم في التحليل يكون عادة نصل الورقة، أو عنق الورقة، أو الساق وقد تستخدم الجذور أحياناً، لكن أكثر الأجزاء النباتية استعمالاً هي أعناق الأوراق والعرق الوسطى المتضخم Midrib فمثلاً تستعمل: أعناق الأوراق في البندورة، العرق الوسطى المتضخم في الخس نظراً لسهولة استعمال عينات صغيرة من هذا الجزء النباتي، وسهولة تنظيفها وتجفيفها وطحنها، كما يكون تركيز العناصر في أعناق الأوراق عادة أكبر بكثير مما في الأنصال. تفضل

الأوراق لتحليل البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والصوديوم، والحديد والمنجنيز، والنحاس، والموليبدينم، والبورون، والكبريت، ويختار لأجل ذلك ورقة حديثة مكتملة

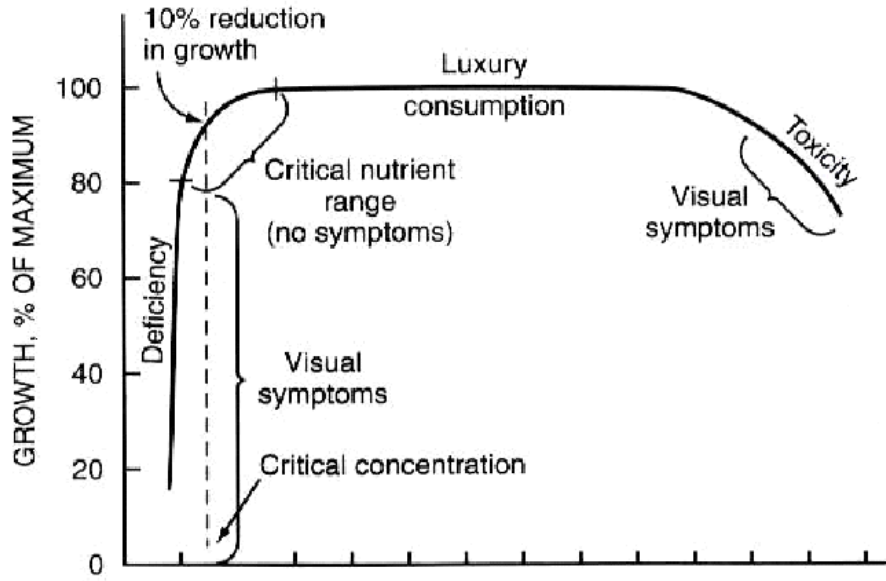
جدول (1-12) تحليل نسيج النجيليات

تركيز العناصر الغذائية في النسيج الجاف				العناصر الغذائية	
مرتفع	كاف	منخفض	نقص		
%					
>3.0	1.75-3.00	1.25-1.74	<1.25	حبوب شتوية	الأزوت
>3.00	3.00-2.00	1.50-1.99	>1.50	حبوب ربيعية	
>0.50	0.20-0.50	0.15-0.19	<0.15		الفوسفور
>0.300	1.50-3.00	1.25-1.49	<1.25		البوتاسيوم
>0.50	0.20-0.50	<0.20	-	قمح وشوفان	الكالسيوم
>1.20	0.20-0.50	<0.30	-	شعير	
>0.50	0.15-0.50	<0.15	-		المغنيزيوم
>0.40	0.15-0.40	<0.15	-		الكبريت
Ppm					
>100	25-100	5-24	<0.5		المنغنيز
>70	15-70	<15	-		الزنك
>25	5-25	<5	-		النحاس

المصدر: (ICARDA, 2003) تحليل التربة والنبات



الشكل (1-12) العلاقة ما بين تركيز العناصر المغذية في النبات وإنتاجية المحاصيل



الشكل (2-12): تركيز العناصر الغذائية في النسيج النباتي

12-3-2-4- أسباب استخدام طرق تحليل أنسجة النبات:

- لتساعد التعرف على أعراض النقص في التشخيص وكذلك التشخيص قبل ظهور الأعراض (تجيل التنبؤ بمشاكل الإنتاج ومازال المحصول موجوداً في الحقل).
 - لتساعد في تحديد سعة إمداد التربة والعناصر الغذائية Nutrient supplying capacity .of soil
 - لتساعد في تحديد تأثير معاملة الخصوبة المستخدمة على الإمداد بالعناصر الغذائية.
 - لدراسة العلاقة بين حالة العناصر بالنبات وخواص المحصول الناتج.
- وتعتبر طريقة تحليل النسيج الطازج من الاختبارات السريعة ويمكن أن تنفذ بطريقتين:
- 1- تقطيع أجزاء النبات واستخلاصها باستخدام مواد كشافة ثم مقارنة شدة اللون بألوان قياسية ومنها يحدد إمداد التربة بالعناصر الغذائية وبالتالي حالته بالنبات.
 - 2- يعصر النسيج النباتي بعصارة يدوية ثم يرشح ثم يضاف مواد كشافة تعطي لون يقارن مع الألوان الموجودة بخريطة الألوان التي منها نعرف محتوى العنصر بالنبات كآتي: High, Medium, Low, Very low ويمكن خلال دقيقة الحصول على قيم تقريبية لحالة N,P,K.
- وعلى المهتم بدراسة خصوبة التربة وتشخيص الحاجة للتسميد أن يضع في الاعتبار عدم أهمية طريقة تحليل النسيج النباتي في التشخيص وتحديد الحاجة لإضافة العناصر الغذائية في الحالات التالية:

- ربما يكون حدث فعلا نقص في المحصول نتيجة نقص العناصر ولا يمكن تصحيح هذا النقص.
- مرحلة النمو التي تم عندها الاختبار قد لا تستجيب النباتات لإضافة العناصر عندها.
- ضخامة المحصول إلى الدرجة التي تؤدي إلى عدم زيادته معنويا عند إضافة العناصر التي تحددتها الطريقة.
- عدم ملائمة الظروف المناخية لإضافة العناصر التي تحتاجها الطريقة.

12-3-2-5- النقاط الواجب مراعاتها عند استخدام طرق تحليل النسيج في تشخيص الحاجة للتسميد

1. لا بد من تتبع امتصاص العناصر خلال موسم النمو عدة مرات (5-6 مرات) ولا بد أن يوضح في الاعتبار ارتفاع مستوى العناصر بالنبات عند مرحلة النمو المبكر في حالة عدم معاناة النبات من نقص العنصر.
2. لا بد أن يتم اختيار النسيج النباتي في مرحلة أعلى احتياج للعناصر وهما مرحلتان الأولى عند مرحلة النمو الخضري العظمى والثانية عند مرحلة الإنتاجية (الإثمار) والتأخير بعد الفترة الثانية يؤدي إلى عدم إمكانية تصحيح النقص.
3. يفضل أخذ النبات من المساحات التي تعاني نقص عناصر وأخرى من المساحات الطبيعية التي لا تعاني نقص وذلك للمقارنة والمساعدة في تصحيح النقص.
4. لاختلاف النباتات في نتائج التحليل يؤخذ متوسط تحليل 10-15 نبات.
5. لتفسير النتائج جيدا لا بد أن يوضع في الاعتبار العوامل التي تؤثر على أخذ العينة النباتية وعلى التفسير وهي الشكل العام للنبات، ومستوى العناصر بالنبات، و الحشرات، والأمراض، وظروف التربة (الرطوبة والتهوية)، والظروف المناخية. ولا بد أن يكون القائم بالتشخيص وتفسير النتائج ذي مهارة عالية.
6. تحليل النسيج النباتي قد يتم على النبات الكلي أو عضو معين وبفضل الأوراق الحديثة جدا بشرط أن تكون تامة النضج ولتقدير العناصر يهضم العضو النباتي ويتم عمل مستخلص حامضي يقدر فيه العناصر المختلفة. يمكن استخدام تقدير الكلوروفيل بالأوراق للتعرف على حالة N,S ، وقد يستخدم البعض تقدير NO_3^- بالساق السفلية بالذرة عند مرحلة النضج للتعرف على كفاية N حيث أقل من 0.05-0.15% لا بد من إضافة N لزيادة محصول الحبوب وهذا يدل على فقر التربة في النتروجين.
7. عند حساب امتصاص النبات للعناصر قد يكون هناك امتصاص زائد عن حاجة النبات يطلق عليه الاستهلاك الترفي Luxury consumption أي النباتات تستمر في امتصاص العنصر الذي تحتاجه للنمو المثالي مما يؤدي إلى تراكم العنصر دون زيادة النمو (المحصول).

8. قد يستمر النبات في امتصاص العنصر لدرجة كبيرة تؤدي إلى السمية Toxicity وفي هذه الحالة يحدث نقص في نمو محصول النبات مع زيادة محتوى العنصر.
9. يوجد تركيز حرج لكل عنصر Critical nutrient concentration وهو تركيز العنصر الذي أقل منه ينخفض المحصول والجودة .
10. في حالة نقص العناصر يحدث زيادة لمحصول النبات مع زيادة محتوى العنصر بالنبات نتيجة إضافته (زيادة صلاحيته بالتربة).
11. يمكن استخدام تحليل الحبوب لتشخيص الحاجة إلى السماد النيتروجيني حيث عند تقدير البروتين بحبوب القمح وجد أنه أقل من 11.5% فإن إضافة النترجين سوف يزيد محصول الحبوب ويحسن جودته ولكن إضافة النيتروجين في هذه المرحلة ربما قد يعتبر عديم الفائدة وهي المرحلة التي يطلق عليها Postmortem (مرحلة بعد الموت).
12. إن دراسة ائزان العناصر الغذائية Balance of Nutrients النباتية يفيد في تفسير النتائج.

12-3-2-6- ائزان العناصر Balance of Nutrients

- إن أحد مشاكل تفسير نتائج تحليل النبات هو ائزان العناصر، وتستخدم النسب بين العناصر في دراسة هذا الاتزان N/S, K/Mg, K/Ca, Ca+Mg/K, N/P ونسب أخرى
- عندما تكون النسبة العنصرية مثالية يتم الحصول على محصول مثالي ما لم يوجد عامل محدد آخر يقلل المحصول.
 - عندما تكون النسبة العنصرية منخفضة جدا Too low فإنه يحدث استجابة من إضافة العنصر الموجود في بسط كسر النسبة العنصرية إذا كان هو العامل المحدد. وإذا كان عنصر مقام كسر النسبة موجود بكمية كبيرة فإن إضافة عنصر البسط لا تزيد المحصول.
 - عندما تكون قيمة النسبة العنصرية مرتفعة جدا Too High يحدث عكس السابق.

وفيما يلي توضيح ذلك:

- الافتراض أن مدى N/S مثالي في جزء معين بالنبات حيث المحصول عالٍ عند هذا الاتزان يعبر عن العناصر بالسهم الأفقي → وعندما تكون النسبة أعلى من المثالي يعبر عن السهم لأعلى ↑ وعندما تكون النسبة أقل من المثالي يعبر عن السهم لأسفل ↓ في حالة النسب المثالية
- N/S يكون عندنا ثلاث احتمالات هي:
- N/S = كل من البسط والمقام مثالي.
- ↑ N/S = كل من البسط والمقام عالٍ.
- ↓ N/S = كل من البسط والمقام غير كافٍ.

هذا يؤكد أنه من النسبة وحدها لا يمكن تحديد أي احتمال من السابق موجود بالنبات لأنه في كل احتمال من الاحتمالات الثلاثة سوف تقول أن هناك ائزان عنصرى وفي كلا الاحتمالين الأعلى والأقل من المدى المثالى يوجد احتمالان لكل واحد منهم كالاتى:

أ- الحالة الأعلى $N/S \uparrow$ قد تكون ناتجة عن $N \rightarrow /S \downarrow$ منخفضة أو $N \uparrow /S \rightarrow$ زيادة.

ب- الحالة الأقل $N/S \downarrow$ قد تكن ناتجة عن $N \rightarrow /S \uparrow$ زيادة أو $N \downarrow /S \rightarrow$ منخفضة.

لهذا ففي حالة النسبة N/S الأعلى عن المدى المثالى (أ) فإنه يحدث استجابة لإضافة الكبريت إذا كان النبات يعاني نقص في S. أما إذا كان ارتفاع الكسر ناتجة عن زيادة في N و S طبيعي فإن إضافة الكبريت لا تؤدي إلى زيادة المحصول.

نفس الشيء في الحالة (ب) حيث قيمة النسبة منخفضة عن المدى المثالى أي أن العنصر الموجود في حالة نقص بالنسبة هو الذي يؤدي إلى استجابة المحصول عند إضافته. هذا يوضح لماذا لا تحدث استجابة للمحصول عندما تكون قيمة النسبة بعيدة عن المدى (أقل أو أكبر). لذا لابد من وجود قيم مثالية لنسب العناصر بحيث يكون كل عنصر بالنبات موجود بتركيز مثالى.

12-3-2-7- اختبار التسميد السريع Rapid Fertilization Test

ويتم برش الأوراق الصفراء اللون بعدة عناصر غذائية وعند تغير اللون بالمقارنة المرئية قبل وبعد الرش يمكن تشخيص العنصر الذي يعاني منه النبات في حالة النقص.

12-4- اختبارات التربة Soil Analysis

يستخدم التحليل الكيمياءى للتربة في تشخيص الحاجة إلى التسميد و الهدف الأساسى هو التعرف على محتوى التربة من العناصر و الصورة الصالحة التى يستطيع النبات امتصاصها وهى أكثر فائدة من طرق تحليل النبات، لأن القيم المتحصل عليها يمكن أن تستخدم في تحديد الكمية من العنصر التى يحتاجها النبات لإعطاء المحصول المثالى (تقدير كمية السماد التى يجب إضافتها).

12-4-1- طرائق تحليل التربة لتشخيص الحاجة للتسميد:

1- تقدير محتوى التربة من العنصر من خواص التربة العامة Estimation of nutrient content from general soil properties

وفي هذه الطريقة يتم تقدير بعض خواص التربة التى يمكن منها التعرف على محتوى العناصر بالتربة وهى طريقة تقريبية، فمثلا في هذه الطريقة يتم تقدير بعض المكونات الأولية، أو قياس درجة التعرية Weathering، أو الطين أو الدبال وعلى هذا تعتبر التربة السلتية ذات محتوى أعلى من العناصر عنها في التربة الرملية.

2- تقدير محتوى التربة من العناصر عن طريق النباتات الدليل Estimation of nutrients content on the basis of indicators plants

وفي هذه الطريقة يتم التعرف على محتوى عناصر التربة من خلال وجود نمو بعض الحشائش Weeds حيث تدل على وفرة أو ندرة العناصر وهي طريقة تقريبية.

3- اختبارات التربة السريعة Rapid Soil Tests

في هذه الطريقة يتم رج وزن معين من التربة (أو حجم معين) مع حجم معين من حمض ذو قوة معينة وتختلف الطرق في قوة الحمض المستخدم التي غالبا ما تكون 0.7 غ من حمض HCl وذلك لتجميع حبيبات غرويات التربة، وقد يستخدم البعض محاليل أملاح مختلفة بهدف إدخال الكمية المتبادلة من العناصر الغذائية في التقدير أو استخدام محاليل معينة لاستخلاص عنصر معين تحت ظروف أرضية خاصة مثل تقدير عنصر P وعموما يعامل بالراشح الكواشف الخاصة بالعنصر لتعطي لونا معينا ومن شدة أو كثافة هذا اللون الذي يحدد بالعين المجردة يمكن الحكم على حالة العنصر بالتربة فيما إذا كان موجوداً بدرجة منخفضة (تكون التربة في حاجة إلى التسميد العالي) أو متوسطة (الحاجة لتسميد متوسط) أو عالية (ليست التربة في حاجة إلى تسميد). وهذه الطريقة (الاختبارات السريعة) تقريبية لا يعتمد عليها في وضع برامج التسميد (تحديد الكمية المطلوب إضافتها من السماد).

4- التحليل الكيميائي للتربة Soil Chemical Analysis

هذه الطريقة من أدق الطرق التي تستخدم في التشخيص وأيضا في تقدير الكمية المطلوب إضافتها من السماد للتربة. وفي هذه الطريقة يتم استخلاص التربة بمحلول معين ويتم تقدير محتوى التربة من العنصر وكان في الماضي يتم تقدير محتوى التربة من الصور الكلية من العنصر Total ولكن تطورت الطرق ليتم تقدير محتوى التربة من الصور الصالحة Availabe على أساس أن النبات لا يمتص إلا الصورة الصالحة من العنصر.

11-4-2- طرائق تقدير محتوى التربة من العناصر:

1- التحليل التام Complete soil Analysis

كان التحليل المستخدم في الماضي لحل مشاكل نمو النيات هو تقدير الكمية الكلية من عنصر معين وليس تقدير كل العناصر الموجودة، ولهذا كان الاهتمام بتقدير عناصر N,P,K وكان هناك اهتمام ضئيل بتقدير Ca, Mg, S. والفلسفة في استخدام التقدير الكلي لعناصر معينة هو أنه توافرت كمية من أي عنصر فإن الكمية من هذا العنصر التي تقابل احتياجات المحصول الأعظم سوف تصبح صالحة أثناء موسم النمو.

لذلك حدد العالم Hopkions أن (N 2%, P 1%, K 0.25%) سوف يصبح صالحاً أثناء موسم النمو تحت الظروف المناسبة من الرطوبة والحرارة وبناء التربة. وقد استخدم عامل

الصلاحية في السنوات الماضية من هذا القرن. وعموما لا يستخدم طريقة التحليل التام لتحديد الصلاحية نظرا لأن التربة نظام معقد وخصوصا نظرا لأهمية الجزء الغروي بها.

2- الاستخلاص بحمض قوي:

وغالباً HCl حيث يتم استخلاص التربة باستخدام تركيز معين منه، ورغم أن الكمية المستخلصة بهذه الطريقة أكبر من الكمية التي يمتصها النبات إلا أنها كانت تعتبر الكمية الصالحة للنبات أثناء موسم النمو. ولم تستخدم الطريقة فيما بعد لعدم ارتباط الكمية المستخلصة من العنصر مع محصول واحتياج النبات. ويجب أن لا يستج أن كل من طريقة التحليل التام والحمض القوي عديمة القيمة ولكنها أفادت كثيرا في تقدم علم الأراضي.

3- الاستخلاص باستخدام أحماض ضعيفة:

استخدام طريقة الاستخلاص بحمض ضعيف لتقدير إمداد التربة السريع بالعناصر الغذائية الصالحة. وقد تم استخدام أحماض مختلفة وبتراكيز محددة منها (حمض الكربونيك، حمض نيتريك 0.2 ع، حمض الستريك 1%، حمض HCl 0.005 ع، حمض HCl 2%، استخدام أحماض مختلفة مخففة لاستخلاص فوسفور التربة).

4- طريقة الاستخلاص باستخدام الماء واستخدام محلول التربة:

يتم تحضير مستخلصات مختلفة (1:2:5, 1:5, 1:10) من خلال وزن معين من التربة إلى حجم معين من الماء ويتم الحصول على مستخلص التربة بالترشيح ويقدر في الراشح النترات والمكونات الأخرى بالطرق اللونية. ويوجد طريقة أخرى للحصول على المستخلص المائي للتربة وهي التحلل الكهربائي خلال كيس من الكرلوديون.

ويوجد أيضا طريقة للحصول على محلول التربة نفسه تحت ظروف غير تبادلية وذلك بإزاحة محلول التربة من عمود التربة باستخدام سائل آخر. حيث يتم ملء اسطوانة زجاجية بالتربة ذات نسبة رطوبة عند السعة الحقلية أو أقل قليلا ويوضع سائل الإزاحة (ماء أو كحول أو زيت) أعلى السطح ويجمع أسفل الاسطوانة محلول التربة تحت تأثير الجاذبية أو باستخدام ضغط خفيف ويشترط في السائل المستخدم عدم الاختلاط والتلامس مع محلول التربة خلال فترة زمنية قصيرة والمحلول الناتج يمكن تحليل مكوناته وعموما لا توجد دراسات عن استخدام تحليل هذا المحلول في الاحتياجات السمادية.

5- المستخلصات الشائعة الاستخدام في الوقت الحاضر:

توجد العديد من المستخلصات التي تخدم في تقدير الكمية الصالحة من العنصر وهي تختلف باختلاف العنصر المقرر (الجدول 12-2) لأنه يشترط في المستخلص أن:

- يعطي فكرة عن صلاحية أو إمداد التربة من العنصر المختبر أي أن المستخلص المستخدم لا بد أن يكون له القدرة على استخلاص العنصر من مصادره بالتربة مثل المحلول الأرضي المتبادل، والمعقد العضوي، والمعقد المعدني.
- أن يكون هناك ارتباط موجب بين الكمية المستخلصة والمحصول وبالتالي الكمية الممتصة.

وعلى هذا يمكن الاعتماد على القيم المتحصل عليها في إعطاء توصية سمادية بعد عمل معايرة لهذه الطرق الكيميائية باستخدام تجارب الأصص والتجارب الحقلية (الجدولان 3-12، 4-12).

الجدول (12-2): مستخلصات العناصر من التربة

Hot Water	DTPA	NH ₄ OAc	AB-DTPA	Olsen P	المعيار
B	Zn,Cu,Fe,Mn	K,Mg,Na,Ca	NO ₃ ,N,P,K,Zn,Ca,Fe,Mn	P	العناصر الغذائية
H ₂ O	0.005M DTPA+0.01M TEA+0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)	1N NH ₄ OAc pH7.0	1N NH ₄ HCO ₃ +0.005M DTPA (pH 6)	0.5M NaHCO ₃ at pH 8.5	محلول الاستخلاص
B: 1-10	Zn: 0.5-20	K: 50-1000 Ca: 500-2000 Mg:5-500 Na:10-250	P:2-100 K:5-750 Zn: 0.5-35	P: 2-200	تركيز العناصر بدون تخفيف ppm
Berger and Truog (1939)	Lindsay and Norvell (1978)	Schollenb erger and Simon (1945)	Soltanpour and Schawb (1977)	Olsen et (1954)	المرجع الأساسي

المصدر: مجلس تحليل التربة والنبات 1992.

الجدول (12-3): تقييم نتائج تحليل التربة

K(ppm) المتبادل	P(ppm) المتاح	N(ppm) المعدني	مادة عضوية %	Caco ₃ %	التقييم
أقل من 80	أقل من 6	أقل من 5	أقل من 1	أقل من 5	فقيرة جداً
160 - 80		9 - 5.1	2 - 1	10 - 5	فقيرة
240 - 160	12-6	15 - 9.1	4 - 2	25 - 10	متوسطة
320 - 240		19 - 15.1	6-4	50 - 25	جيدة
400 - 320	أكثر من 12	أكثر من 20	أكثر من 6	أكثر من 50	غنية

الجدو(12-4): تقييم نتائج تحليل التربة

التقييم			طريقة اختبار التربة	العنصر المقدر
عالي	متوسط	منخفض		
ppm				
>20	11-20	<11	AB-DTPA	الأزوت
>15	15-8	<8	NaHCO ₃	الفوسفور
>7	4-7	<4	AB-DTPA	
>150	100-150	<100	NH ₄ OAc	البوتاسيوم
>120	60-120	<60	AB-DTPA	
>1.0	1.0-0.5	<0.5	DTPA	الزنك
>1.5	1.0-1.5	<1.0	AB-DTPA	
>0.5	0.2-0.5	<0.2	DTPA	النحاس
>0.5	-	0.2	AB-DTPA	
>4.5	-	<4.5	DTPA	الحديد
>4.0	2.1-4.0	<2.0	AB-DTPA	
>2.0	1.0-2.0	<1.8	DTPA	المنغنيز
>1.8	-	<1.8	AB-DTPA	
>1.0		<0.5	Hot Water	البورون
>1.0	1.0-0.45	<0.45	HCl	

المصدر (ICARDA, 2003) تحليل التربة والنبات

12-5- الطرق الحيوية Biotic (Biological) methods

الطرق الحيوية هي الطرق التي تستخدم فيها الكائن الحي للتعرف على خصوبة التربة أي حالة العناصر بها وبالتالي تشخيص حاجتها للتسميد ومن هذه الطرق:

أ- استخدام الكائنات الدقيقة Microorganisms methods

وفي هذه الطرق يتم تنمية البكتريا أو الفطر على التربة المراد تشخيص حاجتها للتسميد حيث تقوم هذه الكائنات الدقيقة باستخلاص العناصر الصالحة من التربة ومن حجم نموها الناتج يمكن التعرف على حالة صلاحية العناصر بها.

مثال ذلك: طريقة فطر الاسبرجلس نيجز وفي هذه الطريقة ينمي الفطر على 7.5 غ تربة (المراد اختبارها) ويتم وزن الفطر وتشخيص الخصوبة على النحو التالي:

أ- عندما يكون وزن الفطر 0.4 غ هذا يعني أن الفوسفور الصالح بالتربة بين 0-10مغ/100 غ تربة وتعتبر التربة فقيرة وفي حاجة ماسة للتسميد.

ب- عندما تكون وزن الفطر 1.5 غ هذا يعني أن الفوسفور الصالح بالتربة حوالي 5 مليغرام /100 غ تربة وتعتبر التربة غنية بالفوسفور الصالح وليست في حاجة إلى تسميد.

ب- طرق استخدام النبات Plant methods

في هذه الطريقة تستخدم بادرات النباتات في تشخيص حاجة التربة للتسميد ويطلق عليها طريقة نيوباوور التي استخدمت في ألمانيا منذ 1940 وما زالت تستخدم حتى الآن وأساس هذه الطريقة استخلاص العناصر الغذائية من التربة وخصوصا P,K بواسطة بادرات النبات وبالتالي تحديد حالة العناصر الغذائية بها وتتلخص الطريقة في الآتي:

يخطط 100 غ من التربة المراد اختيارها مع 50 غ رمل خشن مغسول في وعاء مناسب مستدير ثم يوضع فوقها 250 غ رمل ناعم ثم يزرع 100 حبة من القمح أو الشعير (وذلك حتى تقوم باستخلاص جميع العناصر الصالحة بالتربة) ثم تغطى ويتم ري الوعاء في الأول عند النشبع ثم بعد ذلك كل 3 أيام حتى يصل 70% من السعة الحقلية وبعد 17 يوم تحصد البادرات وتجفف وتطحن وتهضم بالحمض وتعمل مستخلص منها يقدر فيه العناصر مع عمل تجربة كنترول لطرح القيم المتحصل عليها منها من التجربة الأصلية ويتم حساب العناصر مغ /100 غ تربة. وبمقارنة القيم المتحصل عليها مع قيم الجدول (5-12) يمكن تشخيص حاجة التربة للتسميد:

الجدول (5-12): تشخيص الحاجة للتسميد باستخدام النبات وتحليل التربة

الحاجة للتسميد	حالة التربة	كمية العنصر مغ/100 غ تربة	
		K ₂ O	P ₂ O ₅
ماسة	فقيرة	15-0	4-0
متوسطة	متوسطة	24-15	6-4
ليست في حاجة	جيدة	24<	6<

المصدر: الصيرفي والغمري، 2003 (خصوبة التربة والتسميد)

والقيم الموجودة بالجدول يعبر عنها في مدى ويعزى هذا إلى أن كل من الحد الأصغر والأعلى يتوقف على نوع المحصول والتربة، حيث الحد الأعلى يكون لمحاصيل حاجتها للعناصر عالية مثل الدرنية والتي وسط نموها في أرض خفيفة، والعكس بالأرض الثقيلة والمحاصيل ذات حاجة أقل من العناصر، كذلك يؤثر المناخ السائد على هذه الحدود.

12-6- معايرة اختبارات خصوية التربة Calibration of Soil Fertility Tests

Tests: إن أي اختبار من اختبارات تشخيص الحاجة إلى التسميد لا بد من عمل معايرة له حتى تحدد حالة التربة من العنصر الصالح بها أي متى تدل القيمة المتحصل عليها من التحليل على أن التربة فقيرة أو غنية في العنصر وبالتالي في حاجة أو عديمة الحاجة للتسميد. **إن:** ما هو مفهوم معايرة اختبارات خصوية التربة؟ المفهوم هو ربط الاختبار مع استجابة المحصول من خلال إضافة معدلات مختلفة من العنصر وذلك عن طريق تنفيذ عدد هائل من تجارب الأخص أو التجارب الحقلية على نطاق واسع من الأراضي وعلى أساس النتائج التي تعطي أعلى معنوية وارتباط يفوق 90% تحدد درجات الاختبار وهي Low - Very low - Medium - High - Very High وهي التي تقابل القيم المتحصل عليها كما ذكر سابقاً. وتعتبر التجارب الحقلية المستخدمة للمعايرة أحد طرق تقدير حاجة الأرض للتسميد وهو المرحلة التي تلي التشخيص حيث تحدد بالتجارب الكمية من العنصر التي يجب إضافتها للحصول على أعلى محصول أو أعلى نسبة من المحصول الأعظم.

ويمكن بإيجاز شرح طريقة المعايرة عن طريق التجارب الآتية:

1) التجارب الحقلية Field experiments

تتخذ التجارب الحقلية بطرق مختلفة إما باستخدام قطع تجريبية صغيرة Plots test بالمنطقة. توضع بها معاملات التسميد التي تتمثل في المعدلات المختلفة ومنها معاملة كنترول (بدون تسميد) أو استخدام مساحات واسعة تمثل شريط من الأرض المنزرعة Strip test توضع به المعاملات السابق ذكرها وهي أكثر دقة خصوصاً عند عمل مكررات وقد تتخذ هذه التجارب في مناطق أخرى مختلفة في محتواها من العنصر الصالح وقد تشمل مناطق ذات أنواع تربة مختلفة. بعد نمو المحصول يتم حسابه لكل معاملة وقد يتم حساب امتصاص العنصر بالنباتات (كغ/هـ) ويتم عمل ارتباط بين القيمة الناتجة من التحليل المستخدم والمحصول (امتصاص العناصر) وهنا يتم تحديد درجات العنصر الصالح ودرجة الاستجابة بمعنى أنه عند تواجد العنصر الصالح بكمية صغيرة يحدث استجابة كبيرة للتسميد بمعنى أنه عند إضافة السماد في التربة الفقيرة تعطى أعلى امتصاص أو أعلى محصول أو أعلى نسبة من المحصول الأعظم (المحصول عند توافر كل العوامل) والعكس في حالة التربة الغنية بالعنصر ومن هذه التجارب يمكن إعطاء توصية سمادية.

2- تجارب الأخص Pot experiments

هذه التجارب يمكن أن تتم في المخبر أو في البيوت البلاستيكية أو الزجاجية بأنواعها لمختلفة ويطلق عليها Laboratory and green house experiments هي سهلة وسريعة التنفيذ

أكثر تحكما في العوامل المختلفة التي تؤثر على نمو النبات وهي تتم في تصميم تجريبي ومعاملات تنفيذ كما ذكر في التجارب الحقلية ومنها يمكن إيجاد العلاقة بين الكمية من العنصر الصالح بالتربة ودرجة الاستجابة للتسميد ولكن لا يمكن الحصول منها على توصية سمدية كما بالتجارب الحقلية وعموما فهي تجارب استرشادية تفيد في تنفيذ التجارب الحقلية.

وفي هذه الأنواع من التجارب يمكن عمل المعايرة والحصول على نتائج درجات صلاحية العنصر ودرجة الاستجابة للتسميد في أنواع عديدة من التربة. وفي هذه التجارب يمكن اختيار أنواع مستخلصات عديدة لدراسة العنصر الصالح وقيمة العنصر بالمستخلص الذي يعطي ارتباطاً موجباً مع المحصول أو امتصاص العنصر في أنواع عديدة من التربة هو الذي يوصى باستخدامه بعد ذلك لتشخيص درجة الحاجة إلى التسميد.

وتوجد ثلاث مقاييس يستخدم أحدها في المعايرة **Calibration Standards** وهي:

1- المعايرة على أساس استخدام محصول النبات النسبي *relative yield* بالحقل أو بالأوعية:

$$Relative Yield = \frac{Yield Without Fertilizer}{Yield With Fertilizer} \times 100$$

فمثلا إذا كان المحصول في حالة القطع التجريبية غير المسمدة (شاهد) 2 طن/هـ وفي حالة القطع التجريبية المسمدة بالنيتروجين 4 طن/هـ يكون المحصول النسبي $(100 * 4/2) = 50\%$ وباستخلاص N الصالح في التربة غير المسمدة وتقدير قيمته ويتم عمل تجارب عديدة في أراضي مختلفة في قيمة النيتروجين الصالح وترسم علاقة بين N الصالح والمحصول النسبي ومن الرسم الناتج أو الجدول المستنتج لهذه العلاقة المعايرة يمكن تشخيص حالة العنصر. ودرجة الاستجابة للتسميد من قيمة N الصالح بنفس المستخلص الموصى به، والجدول (6-12) يوضح دليل الخصوبة على أساس الكفاية النسبية *relative sufficiency* هي الكمية من العنصر التي تكفي لإعطاء نفس نسبة أعلى محصول *Top yield*، ويمكن تحويل هذه النسبة إلى قيم مطلقة طن/هـ.

الجدول (6-12): دليل الخصوبة **Fertility index** استخدام محصول النبات النسبي

المستوى	دليل الخصوبة % (Fertility index)	المستوى	دليل الخصوبة % (Fertility index)
عالي	110-200	منخفض جدا	50-0
عالي جداً	400-210	منخفض	70-60
عالي جداً جداً	أكبر 410	متوسط	100-90

المصدر: (C.F. Tisdal and Nelson, 1975)

2- المعايرة على أساس استخدام محتوى العنصر النباتي. Plant nutrient content

وهي تشبه المحصول النسبي حيث امتصاص النبات يتناسب مع محتوى التربة من العنصر.

3- المعايرة على أساس ظهور أعراض نقص العنصر. وهذه الطريقة تفيد في حالة التمييز بين

النقص الشديد (الحاد) Acute و النقص المستتر Latent من الإمداد المناسب بالعنصر.

الملاحظات التي توضع في الاعتبار عند عمل معايرة لاختبارات تشخيص الحاجة للتسميد:

1- المعايرة الدقيقة لاختبار التربة لا بد أن تحقق الآتي:

• التعرف التام على درجة نقص أو كفاية العنصر.

• إعطاء تقدير كمي لكمية العنصر التي تحتاجها التربة لتعويض النقص.

2- الأفضل إجراء تجارب الصوب أولاً والتي يطلق عليها تجارب التحكم Control

experiments بهدف الحصول على المعلومات الآتية:

- تحديد أفضل مستخلص وهو الذي يرتبط معنويًا مع الكمية الممتصة من العنصر أو المحصول.

ب- معرفة العلاقة بين مستوى العنصر الناتج من اختبار التربة والمحصول النسبي وتحديد

المدى الحرج للعنصر Critical nutrient range وذلك لمحاصيل مختلفة.

3- يلاحظ أنه كلما انخفضت قيمة العنصر الصالح بالتربة تزداد الاستجابة للتسميد والعكس

كلما زادت قيمة العنصر الصالح تقل الاستجابة للتسميد أي أن المحصول النسبي في حالة عدم

التسميد كبير حتى نصل إلى مستوى اختبار التربة الحرج (CLS) Critical soil test level

وهو الذي عنده قيمة اختبار العنصر الصالح بالتربة يعطي محصول نسبي 90-95% أي

الزيادة من التسميد منخفضة (0-5%).

4) عملية معايرة الاختبارات عملية معقدة لأن الاستجابة المتحصل عليها تتأثر بعدد من

العوامل مثل حرارة - رطوبة - خواص التربة - العمليات الزراعية - الآفات والتي يمكن التحكم

فيها في تجارب الأخص ولهذا لا بد من تأكيد تجارب الأخص بالتجارب الحقلية.

5- من مشاكل المعايرة هو اختلاف الأصناف النباتية للاستجابة للعنصر الموجود أصلاً بالتربة

أو المضافة (أي صعوبة تعميم تشخيص حالة العنصر والمقدار المطلوب إضافته).

6- من ناحية العائد المادي الناتج من التوصية السمادية لإضافة السماد يختلف باختلاف

المحاصيل حيث مثلاً عند مستوى عنصر منخفض بالتربة يعطي الشعير محصولاً منخفضاً

70% من المحصول الأعظم، في حين عند نفس مستوى التسميد تعطي الذرة محصولاً عالياً

89% بينما الفول يعطي محصولاً عالياً جداً 93% وهنا عند إضافة السماد يعطي الشعير زيادة

كبيرة جداً في المحصول أي أكبر عائد عن كل من الذرة والفول عند المستوى المنخفض من

العنصر بالتربة.

الفصل الثالث عشر طرائق تقدير الحاجة للتسميد

Methods of Fertilizers Requirements Determination

13-1-1- التوصية السمادية Fertilizer Recommendation: تعني تقدير الحاجة للتسميد وتتم بطرق مختلفة، وذلك لتحديد كمية العناصر الواجب إضافتها حتى نحصل على أقصى إنتاجية اقتصادية. وأساس هذه الطرق هو معرفة الكمية من العنصر التي يحتاجها النبات لإعطاء محصول اقتصادي، وهذه تحسب لكل نوع وصنف عن طريق حساب امتصاص العنصر عند أعلى محصول وبوجود العنصر والعناصر الأخرى وقد توجد في جداول ثم يطرح منها الكمية الصالحة الموجودة في التربة كما بالمعادلة السابقة.

ويمكن حساب التوصية السمادية من معادلات تضع في الاعتبار كفاءة كل نبات على استخدام العنصر الموجود بالتربة وكذلك المضاف (كفاءة استخدام السماد)، أو من التجارب الحقلية بعد استخدام عدة معادلات من العنصر، كما تم توضيح ذلك في موضوع معايرة اختبارات خصوبة التربة.

ويجب أن يوضع في الاعتبار أن التوصية السمادية الناتجة من التجارب الحقلية هي أفضل الطرق، لأنها ناتجة من معادلات تحت الظروف الحقلية و المناخية والنباتية التي تؤثر على كفاءة استخدام السماد، وأن الرقم الناتج هو متوسط عديد من التجارب لكل نوع تربة.

13-2- طرق تقدير الحاجة للتسميد

13-2-1- الطرق الكيميائية Chemical methods

وفي هذه الطرق يستخدم مستخلص خاص لكل عنصر لاستخلاصه من التربة ومن القيم المتحصل عليها تشخص حالة التربة ثم يتم تقدير الكمية من العنصر الواجب إضافته (التوصية السمادية).

1- طريقة كونيغ Konig: في هذه الطريقة يتم استخلاص كل من الفوسفور و البوتاسيوم القابل للذوبان بمحلول حمض ستريك 1% ويستخلص النتروجين باستخدام محلول كبريتات بوتاسيوم 1% وتشخص الحاجة للتسميد من النهايات الصغرى التي وضعها العالم حيث أنه عند الكميات التي أدنى منها تكون التربة بحاجة للتسميد: (N =14, P₂O₅ =25, K₂O=16 mg/100 kg Soil)

ولتحويل قيمة العنصر الصالح وليكن مثلاً N = 20 مغ/100 غ تربة) إلى كغ/هـ نحسب وزن الهكتار وفق التالي: ت = ك/ح أي ك = ت * ح حيث أن ك (وزن الهكتار)، ت (الكثافة الظاهرية)، ح (حجم الهكتار لعمق 20سم).

وبالتالي ك = 1.5 * 10000 * 100 * 100 * 20 = 3000 طن

يحول قيمة تحليل التربة (20 ملغ/100 غ تربة) إلى كغ/غ تربة كالتالي:
 $(1000 * 1000 * 100) / 20$ ثم يضرب هذا في وزن الهكتار بالغرام وهو $10^6 * 3000$. ومنه
 $(1000 * 1000 * 100) / (10^6 * 3000 * 20) = 30 * 20 / N$ هـ.

2- معامل الاستفادة Efficiency coefficient

المقصود من معامل الاستفادة للعنصر هو نسبة العنصر الذي يمكن أن يمتصه النبات سواء من الكمية الموجودة بالتربة أو المضافة عن طريق السماد، وذلك لأنه توجد عوامل عديدة تجعل النبات لا يمتص الكمية وبعض هذه العوامل تتعلق بخواص التربة. وأخرى بنوع النبات وثالثة بالظروف الجوية وغيرها من العوامل مثل طبيعة العنصر، فمثلاً هناك عناصر قادرة على الحركة مع الماء بالانتشار مثل النترات وهذه العناصر يمكن أن يمتصها النبات من المنطقة المحيطة بالجذر أو تتحرك إليه ليقوم بامتصاصها وهذه الكمية الكلية منها عدا ما يفقد بالغسيل أو يثبت في أجسام الميكروبات.

وهناك عناصر أخرى غير قادرة على الحركة مثل الكاتيونات المدمصة على سطوح الغرويات مثل K أو العناصر التي تكون رواسب بطيئة الذوبان مثل P فهي لا تمتص إلا في حالة تلامس الجذور مع التربة وهنا كلما ابتعد الجذر عنها قل الامتصاص وبهذا يكون الممتص ضئيلاً جداً بالنسبة للكمية الكلية، كذلك طبيعة وشكل الجذر لكل نوع نبات له تأثير في القدرة على الامتصاص فمثلاً معامل الاستفادة من N, K أكبر من P ويمكن حساب معامل الاستفادة من المعادلة التالية:

$$\text{معامل الاستفادة} = \frac{\text{كمية العنصر الممتصة من قبل النبات}}{\text{كمية العنصر الكلية}} \times 100$$

ويمكن حساب معامل الاستفادة في الحقل بزراعة النبات في القطعة التجريبية وحساب الامتصاص كغ/هـ (حاصل ضرب نسبة العنصر بالنبات * محصول المادة الجافة بالهكتار). ويقسم هذا على كمية العنصر المستخلص بالطرق الكيميائية محسوبة كغ/هـ ويضرب الناتج بـ 100.

13-2-2- طرق حيوية كيميائية Chemical Biological methods:

وهي طرق تستخدم فيها النباتات لامتصاص العنصر المتاح بالتربة، ثم تحلل هذه النباتات كيميائياً لتقدير كمية العنصر الممتص، ثم يتم تقدير الحاجة للتسميد (التوصية السمادية) ومن هذه الطرق طريقة نيوباور (Neubauer) أو طريقة البادرات. وتجرى كالاتي:

- 1- يخلط 100 غ تربة ناعمة جافة مع 50 غ رمل خشن خال من العناصر الغذائية و توضع في آواني مستديرة (آواني نيوباور)، ويوضع فوقها 250 غ رمل ناعم ويزرع فيها 100 حبة من القمح أو الشعير ثم تغطى الحبوب بالرمل يدوياً.
- 2- يروى الإنباء بمعدل 70-80 سم³ ماء مقطر ويغطى بغطاء زجاجي حتى تثبت كل البذور ويتم خلال 3 أيام.
- 3- تروى النباتات من حين لآخر بالماء المقطر عندما يصل نموها إلى الغطاء الزجاجي يبعد الغطاء.
- 4- يراعى أن تكون كل تجربة مصحوبة بتجربة أخرى للمقارنة، ولا يستعمل فيها إلا الرمل النقي.
- 5- بعد 17 يوم نحصد البادرات ثم نتظف من الرمل وتوضع في بوتقة وتحرق ثم يقدر في الرماد كمية الفوسفور و البوتاسيوم ملغ/100 غ تربة.
- 6- الفرق بين كل مجموعتين من النباتات (تجربة التربة والمقارنة) في كل عنصر هو المطلوب ويسمى نيوباور.
- 7- وجد أن طريقة نيوباور هي الأقرب إلى طرق التجارب الحقلية بالنسبة للفوسفور والبوتاسيوم وقد وضعت النهايات الصغرى لنتائج نيوباور وفق الآتي:
6 مغ/100 غ تربة P₂O₅، 24 مغ/100 غ تربة K₂O وعادة يقدر مدى الاحتياج الجدول (1-13).

الجدول (1-13): تقدير الاحتياج من العناصر الغذائية وفق طريقة نيوباور

المحتوى من العنصر مغ/100 غ تربة		حالة التسميد
K ₂ O	P ₂ O ₅	
15-0	4-0	تربة فقيرة وفي حاجة ماسة للتسميد
24-15	6-4	تربة متوسطة وفي حاجة إلى تسميد متوسط
أكثر من 24	أكثر من 6	تربة جيدة ولا تحتاج للتسميد

المصدر: الصيرفي والغمري، 2003 (خصوبة التربة والتسميد)

13-2-3 طرق حيوية (التجارب الحقلية)

Biological methods (Field Experiments)

أهميتها: بينما يفيد تحليل النبات وتحليل الأرض وأيضاً تجارب الأخص في الحصول على معلومات عن موقف العناصر السمدية بالأرض إلا أن التقدير النهائي لما تحتويه الأرض من العناصر الغذائية يجب أن يحدد من سلوك الأسمدة في الحقل. ومما لا شك فيه أن التجارب الحقلية ضرورية للمزارع إذا أراد الحصول على أعظم غلة من أرضه، وذلك باختيار المحاصيل

التي تلائم تربة حقله ومناخ منطقته وباستعمال الأسمدة كمية ونوعا بطريقة صحيحة، ولا يكفي أن تقوم إحدى الجهات المختصة بإجراء هذه التجارب، بل يجب على المزارع أن يعتبر أرضه وحدة مستقلة لأن ظروفها تختلف عن ظروف أرض جاره، ولذا يجب معاملتها معاملة خاصة، ولا يمكنه ذلك إلا إذا قام بإجراء التجارب فيها. وفي هذا المجال يجب ملاحظة أنه لا فائدة من التجارب إلا إذا أجريت على الوجه الصحيح وبالذقة الكافية .

شروط إجراء التجارب:

- 1- أن يكون حقل التجربة بعيدا عن ظل الأشجار والمساقى المائية.
- 2- ألا تزرع تجربة تسميد عقب تجربة تسميد أخرى .
- 3- أن يكون حقل التجربة غير مصاب بالحشائش وخاصة الريزومات.
- 4- تقليل الحركة على موقع التجربة بقدر الإمكان.
- 5- اتباع العمليات الزراعية المثلى السائدة في المنطقة.
- 6- أن يكون حقل التجربة متجانسا بقدر الإمكان.

ولاختيار الحقل يمكن اتباع إحدى طريقتين :

- يمر المختص على الحقل أثناء زراعته بمحصول مناسب وينتخب الموقع الذي يكون النمو فيه متماثلا.
- تجرى تجربة أولية بالحقل قبل إجراء التجربة الأساسية، وذلك بأن يقسم الحقل إلى قطع متساوية في المساحة، وتزرع بمحصول مناسب وتعامل معاملة واحدة وتقدر محاصيل القطع كل على حدة، ومن نتيجة التجربة يمكن الحكم على مدى تماثل الحقل.

الدقة في التجارب والعوامل المؤثرة عليها:

يمكن اعتبار التجربة دقيقة عندما تكون محاصيل مكررات كل معاملة أقرب ما يمكن من بعضها وبذلك يكون متوسط محاصيل مكررات المعاملة أقرب ما يمكن من محاصيل مكرراتها. ويتحقق ذلك بالوسائل المختلفة مثل اختيار أفراد متجانسة، وشكل وحجم القطعة التجريبية والمكرر و تحسين وسائل القياس.

ولكى تكون التجربة دقيقة يجب:

- إضافة الأسمدة في وقت مناسب.
 - يتم حصاد جميع المعاملات في نفس اليوم.
 - يكون ميعاد الزراعة في الوقت المناسب.
 - أن تتم العمليات الزراعية المختلفة بالطريقة المناسبة وفي الوقت المناسب.
- ويجب الإشارة إلى أن العوامل الجوية لها أثرها على نتيجة التجربة ومن أجل ذلك لا يكفي بتجربة سنة واحدة

أنواع تجارب التسميد:

تشمل ما يأتي:

- تجارب لاختبار العناصر السمادية الكبرى والصغرى الموجودة بتركيزات قليلة في الأرض.
- تجارب لاختبار صورة العنصر السمدى الواجب إضافته ، وهنا نقارن أسمدة نتروجينية ببعضها أو أسمدة فوسفاتية ببعضها وهكذا.
- تجارب لاختبار كمية السمد الواجب إضافتها. بعد أن عرفنا نوع العنصر الموجود بدقة وصورته نبحث عن الكمية الاقتصادية التي يمكن التسميد بها .
- تجارب لاختيار نسبة العناصر السمادية بعضها لبعض . لأنها تؤثر في كثير من الأحوال على المحصول.
- تجارب لاختبار مواعيد التسميد.
- تجارب لاختبار طريقة وضع السمد.
- تجارب لدراسة الأثر المتبادل بين التسميد والمعاملات الزراعية الأخرى مثل الري وكثافة النباتات في وحدة المساحة.

التصميمات المستخدمة في التجارب الزراعية

تصميم التجربة: هي توزيع المعاملات على الوحدات التجريبية بغرض الحصول على تقدير غير متحيز للخطأ التجريبي، ويفضل استعمال التصميم البسيط، ويمكن تحليله إحصائيا حتى ولو فقدت إحدى قيم التجربة، التصميمات المستخدمة في التجارب الزراعية، مثل : تصميم قطاعات عشوائية كاملة، التجارب العملية، تصميم المربع اللاتيني.

13-3-3- المقررات السمادية والاحتياجات السمادية:

13-3-1- المقررات السمادية: عبارة عن كمية السمد التي يقرر إضافتها لمساحة معينة من الأرض في المقام الأول وللمحصول المزروع أو الذي سيزرع بها في المقام الثاني. ويجري اعتماد المقررات السمادية على مستوى المنطقة الزراعية أو مستوى البلد وليس على مستوى مساحة زراعية محددة أو مزرعة معينة، وغالبا ما تعتمد المقررات السمادية بدلا من الاحتياجات السمادية نتيجة ظروف اقتصادية واجتماعية على المستوى الوطني وليس على مستوى القرية أو المزرعة. ويستند تحديد المقررات السمادية عادة إلى نتائج تجارب حقلية تجرى في محطات الأبحاث أو حقول الإرشاد أو لدى المزارعين، وفي مناطق مختلفة وتحت ظروف متفاوتة، ومن البيانات المتحصل عليها يتحدد المقرر السمدى للمنطقة أو المحصول.

13-3-2- الاحتياجات السمادية Fertilizers Requirements

تعتبر الاحتياجات السمادية عن كمية السماد التي يحتاجها محصول معين لإعطاء أفضل عائد ممكن تحت ظروف عوامل الإنتاج السائدة (مناخ، تربة، إنسان، نبات وزمن) وتتحدد غالباً هذه الاحتياجات بالاستعانة بنتائج تحليل النبات والتربة ومعامل الاستفادة من السماد. وتتأثر هذه الاحتياجات السمادية بعوامل عدة أهمها: الصنف- الكثافة الزراعية- العمليات الزراعية- الدورة الزراعية- نوعية مياه الري- انتظام الري- الغرض الذي يزرع المحصول من أجله، طريقة التسميد، صفات التربة، الظروف الجوية السائدة.

تتفاوت احتياجات مختلف المحاصيل الزراعية من العناصر الغذائية، إضافة لذلك كثيراً ما تعتمد الكمية المطلوبة من هذه العناصر على الغلة التي سبق الحصول عليها (أو التي من المتوقع الحصول عليها)، وليس الأمر قاصراً على اختلاف الاحتياجات تبعاً لاختلاف المحاصيل واستجابتها للأسمدة فحسب بل إنها تتفاوت أيضاً بالنسبة للمحصول الواحد تبعاً لصفته وسلالته، ويمكن القول عموماً أن استجابة الأصناف المحلية للأسمدة أقل من استجابة الأصناف المحسنة. كما أن هناك عوامل أخرى يجب أخذها في الحسبان لتقدير الاحتياجات السمادية الحقيقية ومن أمثلتها ما تمد به التربة النبات من عناصر، كما أنه ليس كل ما يضاف من أسمدة يتاح للنبات امتصاصه والاستفادة منه، إذ قد يثبت بعضه أو يزال بالغسيل أو يفقد بطريقة ما، ولهذا فإن كمية ما يتطلبه النبات من العناصر المغذية يفوق ما تستنزفه المحاصيل من التربة.

13-3-3- التوصية السمادية Fertilizer Recommendation: هي الصيغة أو

المعادلة السمادية للمحاصيل الزراعية والتي تتحدد بعد تقدير الاحتياجات السمادية والتي تضمن توفير الاحتياج السمادي لهذه المحاصيل تحت الظروف المزروع فيها لإعطاء أفضل عائد وأقل تلوث للبيئة. ويتم عمل التوصية السمادية في إطار استهداف تحقيق أكبر قدر من التوازن بين العناصر المغذية الكبرى والصغرى، وهذا التوازن يلبي احتياجات النبات الغذائية، وبالتالي يتيح للنباتات التعبير عن قدرتها الوراثية في إنتاج المحصول كما ونوعاً.

13-4- أسس اعتماد المقررات و الاحتياجات السمادية:

13-4-1- أسس اعتماد المقررات السمادية: يعود اعتماد المقررات السمادية بدلا من

الاحتياجات السمادية في بلد ما إلى مجموعة من الأسباب يمكن إجمالها بالتالي:
- عدم توفر كمية كافية ومتنوعة من الأسمدة المعدنية تسمح للمزارع بشراء الكمية الكافية والنوعية المناسبة لأرضه وزراعته.

- صعوبة تحديد الاحتياجات السمادية على مستوى المناطق الزراعية كافة وذلك لقلّة المعلومات العلمية الدقيقة المتاحة لكل منطقة زراعية لدى أجهزة البحث العلمي.

- دعم الجهات الزراعية الحكومية لسعر السماد وهذا يقضي بضرورة توزيع هذا الدعم على المزارعين بحيث ينال كل منهم قدرًا محددًا مما يحتاج إليه.
- عدم الربط بين الإرشاد الزراعي والمزارع من جهة وبين الإرشاد الزراعي ومؤسسات البحث العلمي من جهة أخرى لبيان الاحتياج الحقيقي من السماد الواجب إضافته والوقت المناسب للإضافة لكل مزرعة.
- عدم توافر كوادر علمية متخصصة ومتفرغة كافية لتنفيذ أبحاث علمية وتجارب زراعية لتحديد الاحتياجات السمادية لكل منطقة زراعية.

13-4-2- أسس تعيين الاحتياجات السمادية:

تقدر الاحتياجات السمادية عادة من معرفة:

1. كمية العنصر المستنفذة (المستنزفة) بواسطة المحاصيل (تحليل النبات).
2. تركيز العناصر المغذية في التربة: يحدد تركيز العناصر المغذية القابلة لإفادة النبات في التربة عن طريق إجراء التحاليل الكيميائية للتربة التي بواسطتها تتحدد كمية العناصر المغذية في مساحة معينة أو حجم معين من التربة
3. معامل الاستفادة من الأسمدة المضافة: يتأثر معامل الاستفادة بنوع التربة ونوع السماد المضاف والعمليات الزراعية المختلفة مثل طريقة الري ونوعية المياه المستعملة (الجدولان 13-2 و 13-3).

4. ويمكن حساب الاحتياجات السمادية لأي محصول بتطبيق المعادلة التالية:

$$\text{الاحتياجات السمادية} = (\text{كمية العنصر المستنزف من قبل النبات} - \text{المتوافر في التربة}) \times$$

معامل الاستفادة من السماد.

حيث يمكن حساب معامل الاستفادة من السماد المضاف من المعادلة التالية:

$$\text{معامل الاستفادة الظاهري} = \text{كمية العنصر الممتص في نباتات المعاملة المسمدة} - \text{كمية}$$

$$\text{العنصر الممتص في نباتات معاملة الشاهد} \times 100 \text{ كمية السماد المضاف.}$$

ويتأثر معامل الاستفادة من السماد حسب نوع التربة ونوع السماد المضاف، ويبلغ هذا المعامل وسطياً: 80% للأسمدة الآزوتية و 20% للأسمدة الفوسفاتية و 70% للأسمدة البوتاسية. ولا بد من الإشارة إلى العوامل المتعددة والمتداخلة التي تؤثر في كمية السماد الواجب إضافته لمحصول ما ومن أهم هذه العوامل ما يلي:

1. نوع التربة: ويشمل الصفات الفيزيائية والكيميائية ومستوى خصوبتها من العناصر الأساسية الضرورية لنمو النبات (التركيب الحبيبي، النسبة المئوية للكربونات الكلية والكلس الفعال، النسبة المئوية للمادة العضوية، pH التربة، الناقلية الكهربائية للأملاح، والمحتوى من الآزوت و الفوسفور والبوتاسيوم والكلسيوم والمغنسيوم والعناصر الصغرى).

2. نوع المحصول المراد زراعته.
 3. كمية ونوعية الإنتاج المطلوبة والتي تحقق العائد الاقتصادي من زراعة هذا المحصول.
 4. المعاملات السابقة للتربة ونوعية المحصول السابق (الدورة الزراعية المستخدمة).
 5. كمية ونوعية مياه الري المتاحة وطريقة الري المتبعة.
- كما يتم حساب الاحتياجات السمادية لإنتاج محصول معين من المعادلة التالية:

$$D = [(100 \times A) - S \times Cs] / Cf$$

D : مقدار السماد المعدني.

A: مقدار ما يمتصه المحصول المعين.

S: معامل استعمال المواد المغذية من التربة.

Cs : معامل استعمال المود المغذية من الأسمدة.

Cf : محتوى المواد المغذية المتاحة في طبقة الحرثة.

يتعلق امتصاص المواد المغذية من التربة بخصوبة التربة والظروف المناخية ونوع المحصول وصنفه، ومستوى التقانات الزراعية وعمليات الاستصلاح والتحسين ويساوي تقريباً (N 25%, P₂O₅ 5%, K₂O 15%) ، بينما معامل استعمال المواد المغذية من الأسمدة يساوي وسطياً لجميع المحاصيل (N 0.8%, P₂O₅ 0.2%, K₂O 0.7%).

الجدول (13-2) معامل استفادة المحاصيل من السماد البلدي (سماد الإسطبل)

معامل الاستفادة %			نوع السماد
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	
25	15	20	سماد الإسطبل (السنة الأولى)
25	10	10	سماد الإسطبل (السنة الثانية)
70	25	85	الأسمدة الكيميائية
معامل الاستفادة %			نوع المحصول
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	
25	6	25	محاصيل الحبوب
48	7	35	محاصيل الدرنات

الجدول (13-3) معامل استفادة المحاصيل المختلفة من الزيل والأسمدة المعدنية

الأسمدة المعدنية			الزيل			المحصول
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	
80	25	60	60	40	25	الخضر
50	10	95	==	==	==	البطاطا
60	15	75	==	==	==	القمح
70-60	20-15	50-40	==	==	==	الملفوف
70	20	80	60	40	25	بالمتوسط لجميع المحاصيل

المصدر: أبونقطة و الشاطر (الأسمدة والتسميد، 2011). الموسوعة العلمية.

جدول ملحق 1 تحويل الوحدات:

الوحدات المعمول بها حالياً وعلى المستوى العالمي هو ما يسمى SI Units إلا أنه وعلى الرغم من ذلك هناك العديد من المراجع التي لاتزال تعتمد الوحدات القديمة، ولذا سيتم التطرق إلى بعض من هذه الوحدات وكيفية تحويلها الى الوحدات العالمية. ملاحظة مهمة: لتحويل الوحدات من العمود الأول الى العمود الثاني يتم ضرب الوحدات في العمود الأول بالعامل أو القيمة الموجودة في العمود الثالث. يتم التعبير عن كمية الحاصل (الإنتاج) وحسب الوحدات الحديثة بالميكاجرام لكل هكتار وتكتب ميكاجرام.ه⁻¹ والتي تعادل طن/هكتار. ومع هذا لايزال هناك من يذكر في المراجع وحدة الباوند لكل ايكر والبوشل لكل ايكر.

العمود الاول الوحدات القديمة	العمود الثاني الوحدات الحديثة	العمود الثالث عامل التحويل	العمود الاول الوحدات القديمة	العمود الثاني الوحدات الحديثة	العمود الثالث عامل التحويل
طن/هكتار	ميكاجرام/ه	1.0	ميل	كم	1.6
باوند/ايكر	كغ/ه	1.12	لتر	م ³	0.001
ايكر	هكتار	0.4048	غ/سم ³ وحدة الكثافة	ميكاجرام/م ³	1.0
طن متري	كغ	1000	مليمكافى/ 100 غ تربة	سنتي مول شحنة/كغ	1.0
طن انكليزي	كغ	1016	مليموز /سم	دسي سيمنز/م	1.0
طن اميركي	كغ	907	بار	كيلو باسكال	100
قنطار	كغ	100	الانكستروم	متر	10 ⁻⁸
جزء بالمليون	مغ/كغ	1	الايكتر	متر مربع	4046.85
جزء بالمليون	مغ/ل	1	انج	سم	2.54000508
الاونسة (الاقوية)	غ	28.35	مائة وزن (انكليزي)	كغ	50.8
اونس/ايكر	غ/ه	71	مائة وزن(اميركي)	كغ	45.36
التحويل بين الوحدات					
هكتار	فدان / 0.42	فدان	0.42 هكتار	القيراط	175.09 م ²
هكتار	10000 م ²	فدان	4200.83 م ²	ميكاجرام/ه	1.12*10 ⁻⁶ الباوند /ايكر
الدونم	1000 م ²	القيراط	24 سهم	البوشل / ايكر (وحدة حجمية)	كغ/ه * معامل التحويل لكل محصول
الهكتار	10 دونم	السهم	7.29 م ²	كغ/ه	1.12 الباوند /ايكر

المصدر: شوقي، 2007 (تقانات الأسمدة)

جدول ملحق 2: معدلات التسميد الموصى بها للقمح بناءً على محتوى التربة حسب نتائج التحاليل المخبرية

التوصية السمادية لوزارة الزراعة والاصلاح الزراعي

الاحتياج من البوتاسيوم K ₂ O كغ/هـ							الاحتياج من النتروجين كغ/هـ					الاحتياج من الفوسفور (P ₂ O ₅) كغ/هـ					المحصول		
نتائج التحاليل المخبرية K.PPM							نتائج التحاليل المخبرية N.PPM					نتائج التحاليل المخبرية P.PPM							
>4 21	36 -1 42 0	35 -1 36 0	24 -1 35 0	121 - 240	60. 1- 120	<60	>20	15. -1 19	15. -1 19	9.1- 15	5.1- 9	<5	>1 2	9. -1 12	7. -1 9	5. 1- 7		3. 1 5-	<3
-	4 0	6 0	8 0	10 0	12 0	14 0	16 0	80	14 0	13 8	15 0	16 0	-	3 0	5 0	7 0	8 5	10 0	قمح عالي الانتاج مروي
-	-	2 0	3 0	40	60	80	10 0	40	50	92	10 0	11 0	-	1 5	3 0	4 5	5 5	65	قمح عالي الانتاج بعل استنف رار اولى
-	-	2 0	3 0	40	60	80	10 0	-	40	69	75	80	-	1 5	2 5	4 0	5 0	60	قمح عالي الانتاج بعل استنف رار ثانية
-	-	2 0	3 0	40	60	80	10 0	40	50	92	10 0	11 0	-	1 5	3 0	4 5	5 5	65	قمح محلي بعل أولى
-	-	2 0	3 0	40	60	80	10 0	-	40	69	75	80	-	1 5	2 5	4 0	5 0	60	قمح محلي بعل ثانية
-	-	-	-	20	35	50	60	-	20	41	50	55	-	2 5	3 5	4 0	5 0	60	قمح محلي بعل أولى
-	-	-	-	20	35	50	60	-	15	25	35	40	-	1 5	2 0	2 5	3 5	40	قمح محلي بعل ثانية

المصطلحات

Active Absorption	الامتصاص الفعال
Adsorption	ادمصاص
Ammonification	النشدة
Ammonium Chloride	كلوريد الامونيوم
Ammonium Nitrate	نترات الأمونيوم
Ammonium Phosphate	فوسفات الامونيوم
Ammonium Poly Phosphate	فوسفات الامونيوم المتعددة
Ammonium Sulfate	سلفات الامونيوم
Anhydrous Ammonia	الامونيا اللامائية
Anion Exchange	التبادل الأنيوني
Antagonism	التضاد
Aqua Ammonia	الامونيا المائية
Availability	اتاحة
Base Fertilization	تسميد الأساس
Baule's concept	مفهوم باول
Biofertilizers	الأسمدة الحيوية
Biogas fertilizers	سماد البيوغاز
Boron	البورون
Broadcast	النثر
Caking)	التكتل أو التحجر
Calcicoles	أليفة (محببة) الكلس
Calcifuges	كارهة الكلس
Calcium	الكالسيوم
Calcium Cyanamid	سيناميد الكالسيوم
Calcium Nitrate	نترات الكالسيوم
Cation Exchange	التبادل الكاتيوني
Chelates	مخلبيات
Chemical adsorption	ادمصاص كيميائي
Chemical Fertilizers	الاسمدة الكيميائية
Compost	كومبوست كمر
Compound Fertilizers	الأسمدة المركبة

Copper	النحاس
$CuSO_4.H_2O$	كبريتات النحاس
Deficiency	نقص
Diammonium phosphate	فوسفات ثنائية الامونيوم
Diffusion	الانتشار
Dilution ceffect	ظاهرة التخفيف
diminishing yield law	قانون الغلة المتناقصة
Dinitrification	عكس النتجة (التأزت)
Efficiency coefficient	معامل الاستفادة
Efficiency index	دليل الاستفادة
Erosion	انجراف
Essential Nutrients	العناصر المغذية
Farmyard manure	السماد البلدي
Fe-DTPA	ثنائي الإيثيلين ثلاثي الأمين خماسي حمض الخليك
Fe-EDDHA	إيثيلين ثنائي الأمين ثنائي الفينيل هيدروكسي حامض الخليك
Fe-EDDHA	شيلات الحديد
Fe-EDTA	الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخليك
Fermentation	التخمير
Fertigation	التسميد مع ماء الري
Fertility	خصوبة
Fertility index	دليل الخصوبة
Fertilization	تسميد
Fertilization Conservation	تسميد الصيانة
Fertilization Efficiency	كفاءة التسميد
Fertilizer	سماد
Fertilizer grade	رتبة السماد
Fertilizer Materials	مواد الاسمدة
Fertilizer ratio	نسبة السماد
Fertilizer Recommendation	التوصية السمادية
Fertilizers Requirements	الاحتياجات السمادية
$FeSO_4.7H_2O$	سلفات الحديدي
Field experiments	التجارب الحقلية
Foliar application	تسميد ورقي
Fulvic acids	حمض الفولفيك
Granular Fertilizer	الأسمدة المحببة

Green manures	الأسمدة الخضراء
Heavy metal	عناصر ثقيلة
Hidden Hunger	الجوع الخفي
Humic acids	حمض الهيوميك
Humification	التدبيل
Humus	الدبال
Immobilization	تمثيل حيوي
Inherent Fertility	الخصوبة الوراثية
Inorganic Form	الشكل اللاعضوي
Intensity factor	عامل الشدة
Interaction	التفاعل
Ion Exchange	تبادل الأيونات
Ionic Concentrating	التركيز الأيوني
Iron	الحديد
Isobutylidene Diurea	ايزوبيوتيليدين دي يوريا
Leaching	الغسل
Liebeg Law	قانون لبيج
Lime Ammonium Nitrate	نترات الجيري النشادرية
Lime stone	الحجر الكلسي
Luxury consumption	الاستهلاك الترفي
Macronutrients	العناصر الكبرى
Magnesium	المغنيزيوم
Manganese	المغنيز
Mass Flow	التدفق الكتلي
Maximum crop	المحصول الأعظم
Metabolism	الاستقلاب
Micronutrients	العناصر الصغرى
Mineral	فلزي (معدني)
Mineralization	معدنة
Mitscherlich Laws	قوانين متشرلش
MnSO ₄	كبريتات المغنيز
Molybdenum	الموليبدنم
Mono ammonium phosphate	فوسفات أحادية الامونيوم
N ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	البوراكس
Nitrification	التأزت أو النتجة

(NH ₄) ₂ MoO ₄	مولبيدات الأمونيوم
Nitrification Inhibitors	مثبطات النترجة
Nitrogen	النتروجين
Nitrogen Fixation	تثبيت النتروجين
Nitrogen Solutions	محاليل النتروجين
Nonspecific Adsorption	ادمصاص غير نوعي
Nutrition	التغذية
Ordinary Super Phosphate	السوبر فوسفات الاعتيادي
Organic Fertilizers	أسمدة عضوية
Organic Form	الشكل العضوي
Organic Matter	المادة العضوية
Passive Absorption	الامتصاص السلبي
Phosphate fertilizers	الأسمدة الفوسفاتية
Phosphoric acid	حمض الفسفوريك
Phosphorus	الفوسفور
Phosphorus Fixation	تثبيت الفوسفور
Physiological Functions	الوظائف الفيزيولوجية
Physiological relations Law	قانون العلاقات الفيزيولوجية
plant growth regulators	منظمات النمو النباتي
Pot experiments	تجارب الأصص
Potassium	البوتاسيوم
Potassium Chloride	كلوريد البوتاسيوم
Potassium Fixation	تثبيت البوتاسيوم
Potassium Nitrate	نترات البوتاسيوم
Potassium Phosphate	فوسفات البوتاسيوم
Potassium Sulfate	كبريتات البوتاسيوم
Poultry manure	سماد الدواجن
Precipitation	الترسيب
Primary minerals	فلزات أولية
Quantity factor	عامل الكمية
relative sufficiency	الكفاية النسبية
relative yield	محصول النبات النسبي
Rhizobium Inoculant	لقاح الرايزوبيوم
Rock Phosphate	الصخر الفوسفاتي
Secondary minerals	فلزات ثانوية

Sewage sludge	مخلفات الصرف الصحي
Simple Fertilizers	أسمدة بسيطة
Slag	خبث المعادن
Slow Release	بطيء التحلل
Sludge	الحمأة
Sodium Nitrate	نترات الصوديوم
Soil application	تسميد أرضي
Soil Solution	محلول التربة
Sorption	امتصاص
specific adsorption	ادمصاص نوعي
Sulfur	الكبريت
Super Phosphoric acid	حمض الفوسفوريك (المركز) المكثف
Synergism	التآزر
Thermo phosphate	الأسمدة الفوسفاتية المعاملة بالحرارة
Town refuse	سماد قمامة المدن
Toxic	سام
Triple Super Phosphate	السوبر فوسفات الثلاثي
Uptake	امتصاص
Urea	اليوريا
Urea Forms (Urea-formaldehydes)	اليوريا فورم (اليوريا فورمالدهيد)
Urease inhibitors	مثبطات اليوريز
Volatilization	التطاير
ZnSO ₄ H ₂ O	كبريتات الزنك

المراجع العلمية:

1. أبو نقطة فلاح، الشاطر محمد سعيد، الأسمدة والتسميد، منشورات جامعة دمشق، 2011.
2. أبو الروس سمير عبد الوهاب، الخرباوي محمدي مهدي، هوله شوقي شبل، خصوبة الأراضي وتغذية النبات، كلية الزراعة، جامعة القاهرة، 1990.
3. أبو نقطة فلاح و الشاطر محمد سعيد، خصوبة التربة والتسميد، منشورات جامعة دمشق، 2011.
4. بلبع، عبد المنعم، خصوبة الأراضي والتسميد، جامعة الاسكندرية، دار المطبوعات الجديد، 2011.
5. حماد سامي عبد الحميد، سليم المتولي مصطفى، الشاذلي مجدي محمد، البيئة والزراعة العضوية في الوطن العربي، 2010.
6. الشاطر محمد سعيد، البلخي أكرم محمد، الأسمدة والتسميد، منشورات جامعة دمشق، 2017.
7. الشرايبي نجم الدين، هاويل منير، الأحياء الدقيقة، منشورات جامعة دمشق، 2001.
8. الصيرفي زكريا مسعد، الغمري أيمن محمد، خصوبة التربة والتسميد، 2003.
9. علي، نور الدين شوقي، تقانات الأسمدة، 2007.
10. عودة محمود، شمشم سمير، خصوبة التربة وتغذية النبات، كلية الزراعة، منشورات جامعة البعث، 2011.
11. عوض الله إدوارد عبده، بسيوني نبيلة حسن، طه سعد عبد الحفيظ، ربيع أحمد محمد الزهري، أسمدة وتسميد، 2003.
12. كاخيا، طارق اسماعيل، كتيب الأسمدة.
13. المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا) ICARDA، تحليل التربة والنبات، 2003.
14. المواصفات القياسية السورية، الجمهورية العربية السورية، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، مديرية الأراضي والمياه. ق 158 ت. 2017. و اللائحة التنفيذية لقانون (نظام) الأسمدة ومحسنات التربة الزراعية الصادر في 2006 لدول مجلس التعاون الخليجي.
15. الموصلي مظفر أحمد داود، الكامل في الأسمدة و التسميد تحليل التربة و النباتات و الماء، دار الكتب العلمية للنشر، بيروت، 2018.
16. النعيمي سعد الله نجم، المرشد الحسابي و المعرفي لخط الأسمدة السائلة و الصلبة، دار الكتب العلمية، بيروت، 2019.