الآزوت في البيئة الزراعية ودوره في تغذية النبات

دورة الآزوت: تعد دورة الآزوت في التربة من الدورات المعقدة حيث تشمل عدداً من العمليات الأساسية يمكن إيجازها فيما يلي:

١- **تثبيت الأزوت الجوي.Nitrogen fixation** : يقصد به تحويل الآزوت الغازي والموجود في الغلاف الجوي إلى آزوت عضوي بفعل البكتريا.

٢- **النشدرة(معدنة) Nitrogen mineralization** وتكوين الأمونيا.Ammonification

٣- **تكوين النترات (النترجة)Nitrification**

٤- **امتصاص النبات للنترات والأمونيوم** وتمثيل الآزوت المعدني في اجسام الكائنات الحية الدقيقة والنبات حيث يتحول الامونيوم إلى حمض اميني فيما يعرف بعملية التمثيل Immobilization وهي عملية عكسية لعملية المعدنة.

٥- **غسل النترات** وفقدها إلى الماء الأرضي أو ماء الصرف Leaching.

٦- **عكس التأزت Denitrification** تتم هذه العملية تحت الظروف اللاهوائية للترب الزراعية في المناطق الغدقة سيئة الصرف، تقوم بعض أنواع الأحياء الدقيقة (Pseudomonas, Micrococcus) بإرجاع النترات والنتريت إلى صورة غازية وهي N٢, N٢O, NO

٧- **التطاير Volatilization**: تحول الأمونيوم $NH^{+}_{٤}$ إلى أمونيا (نشادر) NH٣.

محتوى التربة من الازوت : تحتوي التربة على كمية من الآزوت الكلي تتراوح بين (٠,٠٢ و٠,٥%) ويشكل وسطيا نسبته ٠,١٥% ويكون في معظمه على شكل عضوي. حيث تحتوي المادة العضوية في التربة (الدبال) ٥% آزوت. والأشكال المعدنية القابلة للامتصاص ($NH_{٤}^{+}$ $NO_{٣}^{-}$).

أشكال الآزوت في التربة:

١- **غازي:** يوجد في هواء التربة وقد يكون جزءاً منه ممتزاً على سطوح المواد المعدنية المكونة للتربة أو ذائباً في ماء التربة إلا أن هذا الشكل غير ذي فائدة للنباتات غير البقولية علماً أنه كبير الأهمية بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة التي تثبت الآزوت في التربة.

٢- **عضوي:** تشكل الأسمدة العضوية، الأسمدة الخضراء وبقايا نباتية مختلفة مصدراً أساسياً لهذا الشكل من الآزوت، حيث تتحلل هذه الأسمدة في التربة وتتحول إلى بروتينات وأشكال أخرى معدنية بفعل الكائنات الحية الدقيقة في التربة. وقد يوجد الآزوت بأشكال عضوية أخرى كسكريات أمينية وأحماض أمينية مختلفة ومركبات الغنية مرتبطة بالأمونيوم.

٣- **معدني:** (NH_4^+ و$NO3^-$): يتشكل هذا النوع من الآزوت عن طريق تحول الآزوت العضوي بفعل الكائنات الحية الدقيقة إلى بروتينات ثم إلى مركبات أمينية وبعدها إلى أمونيوم ومن ثم نترات بعملية النشدرة(المعدنة) mineralization ومن ثم إلى نترات بفعل عملية النترجة (التأزت) Nitrification.

٤- **أشكال معقدة:** يتمثل بارتباط الغنيين مع البروتين أو الأمونيوم، وارتباط المركبات الآزوتية كالحموض الأمينية أو البروتينات مع الطين.

النشدرة (المعدنة):

$$R - NH_2 + HOH \longrightarrow R - OH + NH_3 + energy$$

$$NH_3 + H_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

ويكون مصير الأمونيوم الناتج:

أ- الأكسدة إلى نتريت ثم نترات بوساطة كائنات دقيقة متخصصة وذلك من خلال كمية النترجة(التأزت) Nitrification.

ب- الامتصاص مباشرة بوساطة النبات، علماً بان النبات يفضل الشكل النتراتي للأزوت عند الامتصاص مقارنة بالشكل الأمونياكي.

ت-الدخول في تفاعلات التبادل الأيوني عبر امتصاصه على السطوح الخارجية لمعادن الطين والمادة العضوية.

ث- التثبيت على صورة غير ميسرة للنبات وذلك بامتصاصه على السطوح الداخلية لمعادن الطين (تثبيته بين الوحدات البلورية).

ج- الفقد من التربة بالتطاير Volatilization على شكل غاز نشادر وبخاصة في الترب الكلسية والقلوية pH أكبر من ٨ وعند الإضافة السطحية والزائدة للأسمدة الأمونياكية للتربة.

العوامل المؤثرة في عملية النشدرة:

أ - **نسبة الكربون إلى الآزوت C/N ratio:** تلعب نسبة الكربون إلى الأزوت C/N دوراً اساسياً ومهماً في عملية تحلل المخلفات العضوية، ومن ثم معدنة العناصر الموجودة في تركيبها. وتختلف هذه النسبة باختلاف أنواع المخلفات الزراعية. كلما كانت نسبة ال C/N واسعة- اي أن المخلفات العضوية تحتوي على كمية منخفضة من الآزوت- فإن ذلك يعنى استهلاك الأزوت المعدني الموجود في التربة الزراعية بوساطة الأحياء الدقيقة المحللة للمخلفات العضوية والذي يستخدم في بناء أنسجتها أي يحدث له عملية تمثيل وعلى ذلك تقل الكمية الميسرة من هذا العنصر في التربة، ويعاني النبات النامي بها من نقص الآزوت. وعلى هذا تتحدد السيادة لأي من عمليتي المعدنة والتمثيل في التربة بنسبة ل C/N بها بعد إضافة المادة العضوية (الأصلية + المضافة). حيث تكون السيادة لعملية التمثيل إذا زادت النسبة عن ١/ ٣٠، ومن ثم يختفي الآزوت المعدني من

التربة ويمثل داخل أجسام الأحياء الدقيقة، مما ينتج عنه معاناة النباتات النامية من نقص الآزوت. والعكس حيث يؤدى ضيق هذه النسبة أقل من ١/٣٠ في الإسراع من عملية المعدنة.

ب- الظروف البيئية المحيطة: تؤثر الظروف البيئية المحيطة (درجات حرارة – رطوبة – تهوية – pH) تأثيرا كبيراً في تحديد طبيعة نشاط الكائنات الأرضية الدقيقة القائمة بعملية التحلل، ومن ثم عملية المعدنة للآزوت العضوي. و أن أفضل pH لعملية المعدنة هو من (٦,٥ –٨)، كما أن أفضل درجة حرارة من (٣٥– ٤٥) م وأي ارتفاع أو انخفاض عنها يقلل من نشاط الكائنات القائمة بعملية المعدنة٠ أيضا تتم عملية المعدنة للآزوت تحت ظروف الترب المغمورة بالماء، لكن تتوقف عند تكوين الأمونيوم NH_4^+.

النترجة (التأزت): **Nitrification:** هي عملية الأكسدة البيولوجية للأمونيوم الناتج من عملية النشدرة أو المضاف في صورة أسمدة إلى نترات. وتتم هذه العملية على مرحلتين:

١- أكسدة الأمونيوم الى نتريت وتقوم بها بكتيريا Witrosomonas

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2 + 2H_2O + 4H_+$$

٢- أكسدة النتريت إلى نترات وتقوم بها بكتيريا Nitrobacter

$$2NO_2 + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$$

ومن التفاعلات السابقة يمكن استنتاج ما يلي:

١- يشكل أيون الامونيوم المادة الاساسية والاولية لعملية النترجة.
٢- إن عملية النترجة عملية أكسدة أي يلزمها أكسجين بوفرة لكي تتم وعلى ذلك فان جميع العمليات الزراعية التي تؤثر في تهوية التربة الزراعية سيكون ليا تأثيرها المباشر في هذه العملية. .
٣- تقلل عملية النترجة من قلوية التربة وذلك نتيجة لاستهلاكها للأمونيوم في الوقت ذاته تحرر أيونات الهيدروجين إلى الوسط مما يؤدى إلى زيادة حموضة التربة (انخفاض الpH) .

يعتقد أن أفضل الشروط البيئية المناسبة لبكتيريا النترجة تتجسد في pH مناسب بين ٧و٩ ورطوبة تشكل ٦٠– ٧٠ % من السعة الحقلية وهي الرطوبة المناسبة لنمو النبات ودرجة حرارة تتراوح بين٢٥–٣٥ م.

مصير النترات:

١- الامتصاص من قبل النباتات النامية واستخدامها في عملية التمثيل Assimilation.
٢- الاستهلاك من قبل الاحياء الدقيقة حيث تدخل في بناء انسجة ميكروبية لعملية التثبيت الحيوي Immobilization داخل أجسام الأحياء الدقيقة

٣- الفقد من التربة بالغسل Leaching أثناء عملية الري مع مياه الصرف وذلك لقلة قدرتها على الادمصاص على غرويات التربة لأنها تحمل شحنة سالبة.

٤- يتعرض ايون النترات في الظروف اللاهوائية الى عملية ارجاع نتريت ثم الى صورة غازية وهي N_2 NO N_2O تنطلق إلى الهواء الجوي مكملة دورة الآزوت. ويطلق عليها عملية عكس التأزت Denitrification.

مصادر الكسب:

١- **التثبيت الحيوي للأزوت** : من أهم مصادر كسب الأزوت في التربة إضافة لمياه الأمطار والثلوج من خلال البرق، كما يضاف الآزوت للتربة من خلال البقايا النباتية والأسمدة العضوية الحيوانية أيضا. و يقصد به تحويل الآزوت الغازي والموجود في الغلاف الجوي إلى آزوت عضوي بفعل البكتريا و تقوم بهذه العملية أنواع مختلقة من الأحياء الدقيقة المتخصصة والتي لها القدرة على تثبيت وإرجاع الآزوت الجوي وتحويله إلى NH_3 تحت الظروف العادية الحرارة ومن ثم يتحول إلى مركب عضوي . ويمكن أن نميز نوعن من التثبيت:

أ- **تثبيت لا تكافلي (لا تعايشي)**:: تقوم به. بكتريا هوائية Azobacter واخرى لاهوائية Clostridium وتقدر كمية الآزوت المثبتة بوساطة هذه الأجناس ٣-١٥ كغ/N في التربة تقوم كائنات أخرى كالطحالب الخضراء المزرقة (الترب المزروعة بالأرز) بعملية تثبيت الأزوت الجوي وتقدر كمية الآزوت المثبتة عن طريقها ب ٢٠-٣٠كغ N\هـ.

ب-**تثبيت تكافلي (تعايشي)**: تقوم به بكتريا Rhizoboum المتعايشة مع النبات البقولى. إذ تتشكل عقد جذرية يتم فيها تثبيت الازوت الجوي حيث يقدم النبات العائل لبكتريا الرايزوبيوم المواد الكربوهيدراتية، بينما تقدم البكتريا للنبات مركبات الازوت المثبت حيويا من قبلها.

٢- **الأمطار والثلوج**: تحدث أثناء عملية البرق شرارة تؤدي إلى اتحاد الآزوت بالأكسجين مكونا أكاسيد آزوتية ($NO - NO_2$) يمكن أن تنحل الاكاسيد الناتجة في هذه المياه وتصل التربة الذائبة فيها.

٣- **الأسمدة المعدنية والعضوية**: تعد الأسمدة المعدنية (الكيميائية) من المصادر الهامة للأزوت، كما تؤدي إضافة الأسمدة العضوية للتربة إلى زيادة محتواها من المادة العضوية ومن الآزوت الكلي.

مصادر الفقد:

١- **الامتصاص من قبل النبات** : أن معظم الازوت الممتص بواسطة النبات والذي يمثل كمية لا يستهان بها تُفقد من التربة عند حصاده فيما عدا النبات الذي يزرع على أنه مراعي. حيث وجد أن حوالي ٨٥% من الازوت الممتص من قبل تلك النباتات يعود مرة أخرى للتربة على أنها مخلفات حيوانية للحيوانات التي تقوم بالرعي.

٢- **فقد الآزوت في صورة غازية :** ان جزءاً كبيراً من الآزوت يفقد من التربة الزراعية في صورة غازية على هيئة اكاسيد آزوتية أو أمونيا ودلك على أنه ناتج لتفاعلات بيولوجية أو كيميائية. وهناك ثلاث طرائق تسبب هذه العملية:

أ- **عكس التأزت Denitrification:** يقوم مبداً هذه العملية على أنه تحت الظروف اللاهوائية للترب الزراعية في المناطق الغدقة سيئة التهوية تقوم بعض أنواع الأحياء الدقيقة بإرجاع النترات والنتريت إلى صورة غازية وهى $NO، N_2O، N_2$. ثم تنطلق إلى الهواء الجوي. ويمكن توضيح عملية عكس التأزت بالمعادلة التالية:

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

يمكن تفسير ذلك بأنه في حالة توافر ظروف تهوية جيدة تقوم البكتيريا بأكسدة المادة العضوية بوساطة الأكسجين الجوي . أما في حالة غياب الأكسجين يتم الأكسدة باستخدام أكسجين النترات كما توضحه المعادلات التالية:

في وجود الأكسيجين الجوي:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة}$$

في غياب الأكسجين الجوي:

$$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^- \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة}$$

كذلك يحدث أكسدة للأحماض العضوية باستخدام أكسجين النترات كما يلي:

$$CH_3COOH + 8KNO_3 \longrightarrow 8KOH + 6H_2O + 10\ CO_2 + 4N_2 + \text{طاقة}$$

والاحياء الدقيقة المسؤولة عن هذه العملية هي من انواع: Pseudomonas

Micrococcus, Achromobacter and Bacius، وبصفة عامة تختلف الكمية المفقودة بهذه العملية من (٥-٥٠) % من الكمية المضافة.

وهناك عوامل عدة تؤثر على عملية عكس التأزت يمكن إيجازها في النقاط التالية:

- ✓ **مستوى النترات والنتريت في التربة:** تنشط هذه العملية عند توفر مستويات مرتفعة من النترات والنتريت.
- ✓ **درجة الحرارة:** ان أكبر كمية مفقودة من الآزوت بهذه العملية تكون عند درجة الحرارة ما بين (٥ ١-٥ ٤) م. حيث يزداد نشاط الأحياء الدقيقة في التربة مع ارتفاع درجات الحرارة، .
- ✓ **المادة العضوية:** تزداد هذه العملية بزيادة محتوى التربة الزراعية من المادة العضوية وخاصة في الظروف المعتدلة الحرارة، وذلك نتيجة زيادة نشاط الأحياء الدقيقة واستهلاكها للأكسجين، .

- ✓ **درجة التهوية:** يزداد الفقد للآزوت بهذه العملية كلما سادت ظروف التهوية السيئة. وهذه الظروف مرتبطة بمحتوى الأرض من الرطوبة، وهذا لا يعنى وجود تأثير مباشر للماء، بل ان السبب الرئيسي هو انخفاض كمية الهواء الأرضي بزيادة الرطوبة. وعلى ذلك لا ينصح باستخدام الأسمدة النتراتية في مزارع الأرز لحدوث فقد منها بهذه العملية بجانب الفقد بالغسل.
- ✓ **درجة ال pH:** اشارت الأبحاث إلى أن ارتفاع PH عن ٥ يسرع من كمية الآزوت المفقودة بعملية عكس التازت، ووجد أن أقصى كمية مفقودة تكون عند درجة pH متعادل ويميل إلى القاعدي الخفيف.

ب- **تطاير الأمونيا** : يحدث تطاير للأمونيا (NH_3) لدى إضافة الأسمدة النشادرية (سلفات الامونيوم ونترات الأمونيوم) واليوريا للتربة، وكذلك الناتجة من معدنة الآزوت العضوي في التربة.**ويوجد العديد من العوامل التي تؤثر على تطاير الأمونيا:**

- ✓ **درجة ال pH:** يزداد تطاير الأمونيا بارتفاع ال PH عن ٧.
- ✓ **محتوى التربة من الكربونات الكلية:** يزداد تطاير الأمونيا عموماً في الترب الكلسية، وبخاصة عندما تتم إضافة الأسمدة النشادرية واليوريا إلى التربة بطريقة سطحية.
- ✓ **درجة الحرارة:** يزداد تطاير الأمونيا مع ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض مستوى رطوبة التربة.
- ✓ **سعة التبادل الكاتيوني:** تزداد تطاير الأمونيا مع انخفاض السعة التبادلية للتربة، كما هو الحال في الترب الرملية. فكاتيون الأمونيوم (NH_4^+) يمكن أن يمتز على الطين والدبال ثم لا يتعرض للتطاير.

٣- **الفقد بالغسل** : يحدث فقد الآزوت نتيجة الغسل عندما يكون على شكل نتراتي سالب الشحنة NO_3^- وعلى ذلك تكون فرصة ادمصاصه على سطح غرويات التربة قليلة وذلك للتنافر نتيجة تماثل الشحنة على سطح الغرويات.

- ▪ **ويمكن تقليل فقد النترات بالغسل باتباع المعاملات الزراعية التالية:**
  - ✓ استخدام كميات قليلة من المياه (ترشيد استهلاك مياه الري)
  - ✓ استخدام السماد النثرات بالكمية المناسبة وفي الوقت الملائم.
  - ✓ تجزئة كمية السماد المستخدمة حسب أطوار النمو للحاصلات المختلفة.
  - ✓ استخدام السماد النثرات في تسميد المحاصيل ذات الجذور العميقة.

٤- **الفقد بالانجراف:** يحدث فقد الآزوت العضوي بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبقة السطحية للتربة بوساطة عمليات الانجراف.

الفوسفور في البيئة الزراعية ودوره في تغذية النبات

دورة الفوسفور:

- ✓ يعد الفوسفور أحد اهم العناصر المغذية الكبرى حيث يساهم في تركيب الفايتين والاحماض النووية ومركبات الطاقة واستقلاب السكريات وتشكل الثمار.
- ✓ امتصاص النبات للفوسفور على شكل $H_2PO_4^-$ HPO_4^{-2} وذلك عبر جذوره إلى الأجزاء الهوائية للنبات. يعود الفوسفور إلى التربة عبر تحلل المخلفات النباتية والحيوانية في التربة. وخلال عملية التحلل
- ✓ يستعمل جزء من الفوسفور المتحرر في بناء أنسجة ميكروبية جديدة بعملية التسكين أو الوقف الحيوي للفوسفور P–Immobilization ، بينما يتحرر القسم المتبقي إلى محلول التربة.

محتوى التربة من الفوسفور : تحتوي التربة على كمية من الفوسفور الكلي تتراوح بين (٠,٠٢ و ٠,١) % وترتبط هذه الكمية بوجود المادة العضوية حيث يمثل الفوسفور العضوي من ٢٠–٨٠% من الفوسفور الكلي. تختلف الترب في محتواها من الفوسفور الكلي متأثرة بالعديد من العوامل أهمها: مادة الأصل– الاستغلال الزراعي– المناخ .... إلخ.

أشكال الفوسفور في التربة

١– **الفوسفور المعدني(الفلزي)** يعود مصدر الفوسفور المعدني في الترب الزراعية الى تجوية الصخور المحتوية على الفوسفور. وعلى ذلك فان يوجد على هيئة مركبات تحتوي على الكالسيوم الألمنيوم الحديد الفلوريد او عناصر أخرى. تعد جميع مركبات الفوسفور قليلة الذوبان في الماء مما يؤثر سلبيا على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات، حيث تكون هذه الكمية قليلة جداً في محلول التربة أو قد تكون معدومة، وتمل مجموعة الأباتايت المصدر الرئيس له مثل هيدروكسى أباتايت فلور أباتايت (والتي تعد أكثر الانواع شيوعاً) الكلور أباتايت.

٢– **الفوسفور العضوي** :؛ يعود هذا الشكل من الفوسفور الى المادة العضوية ويعد الفوسفور العضوي الذي يستخلص من التربة شديد المقاومة لفعل الأحياء الدقيقة، واهم هذه المركبات هو الفيتين phytin وهو أحد املاح الكالسيوم او أو المغنزيوم لحامض الفايتيك phytic acid.

- **وهناك عوامل عدة تؤثر في معدنة الفوسفور العضوي:**

أ– **نسبة الكربون إلى الفوسفور في المادة العضوية الموجودة بالتربة الزراعية (c/p ratio)** فاذا كانت النسبة ١/٢٠٠ أو أقل تكون السيادة لعملية المعدنة ويتحرر الفوسفور العضوي في التربة بأشكال معدنية ذائبة متاحة للنبات، في حين أن النسبة ١/٣٠٠ أو أكثر تعني فقد الفوسفور الميسر نتيجة لعملية التمثيل (التسكين الحيوي) للفوسفور حيث يستخدم الفوسفور المعدني الناتج عن تفكك المادة العضوية (وحتى المضاف على شكل أسمدة معدنية أو الموجودة أصلا في التربة بأشكال معدنية ذائبة) في بناء أنسجة

ميكروبية جديدة. أما عندما تكون النسبة بين ١/٢٠٠ و١/٣٠٠ فتكون عمليتا المعدنة والتسكين الحيوي للفوسفور متساويتين وتسيران جنبا إلى جنب.

ب-**نشاط الأحياء الدقيقة** (مثل: Pseudomonas Aspergillus Moedr ,Penicilllum، Bacillus,) وكمية أنزيم الفوسفاتيز Phosphatase enzyme المنطلق من هذه الكائنات وجذور النباتات النامية. ولذلك فإن جميع العوامل المؤثرة على نشاط الأحياء الأرضية وخاصة المتخصصة منها متل درجة الحرارة – الرطوبة – التهوية – رقم pH التربة – وكثافة الغطاء النباتي يكون لنا تأثير كبير على عملية المعدنة. وتوضح المعادلة التالية كيفية انطلاق الفوسفور المعدني خلال عملية المعدنة وتأثير أنزيم الفوسفاتيز في ذلك.

٣- **الفوسفات المدمصة p –Adsorbed**: يمكن ان يحدث ادمصاص الفوسفات بطرائق مختلفة:

أ- ادمصاصه على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم المائية في الترب الحامضية والمتعادلة.

ب- ادمصاصه على سطوح المادة العضوية والدبال ومعادن الطين بوساطة جسور كاتيونية في الترب المتعادلة والمتعادلة القلوية وعلى أكاسيد الحديد والألمنيوم المائية في الترب الحامضية والحامضية المتعادلة.

ت- ادمصاصه على سطوح الكاؤولنيت في ظروف الترب الحامضية، وعلى سطوح كربونات الكلسيوم في الترب الكلسية.

٤- **الفوسفور الذائب في محلول التربة** : تمتص النباتات الفوسفور بشكل رئيس في صورة أيونات الفوسفات المعدنية الأحادية والثنائية $H_2PO_4^-$، H_2PO_4، وهذه الأيونات تكون موجودة في المحلول الارضي وفى أي وقت بتراكيز قليلة جداً لا تزيد بضعة أجزاء في المليون، وفي الغالب يكون أقل من واحد جزء في المليون، ويعزى هذاً التركيز المنخفض إلى سرعة تثبيت الفوسفات بالطرائق المختلفة في التربة.

العوامل المؤثرة في تثبيت الفوسفات في التربة:

١- **كمية الطين في التربة:** الكمية المثبتة من الفوسفور مع زيادة نسبة الطين ونظراً لأن السعة التبادلية الكاتيونية لها مرتفعة فتكون كمية الكالسيوم المتبادلة كبيرة ومن ثم يحدث التثبيت أو الاحتفاظ بوساطة أيون الكلسيوم (فوسفات- كالسيوم – طين).

٢- **نوع معدن الطين:** أن الترب الغنية بمعادن الطين ١:١ مثل الكاؤولينيت تكون قدرتها على تثبيت الفوسفور مرتفعة عن تلك الغنية بمعادن من نوع ٢:١ ويرجع ذلك إلى أن عددا أكبر من مجموعات الهيدروكسيل المرتبطة مع ذرة الالمنيوم في طبقة رباعيات الوجوه تكون مكشوفة في معادن من نوع ١:١ إضافة الى الشحنات الموجبة على الحواف المكسورة للكاؤولنيت.

٣- **زمن التفاعل:** كلما زاد زمن التلامس بين أيونات الفوسفات ومكونات التربة كلما زاد معدل التثبيت، وهذا الزمن يختلف من تربة إلى أخرى. ويعد الزمن الذي يتمكن فيها النبات من الاستفادة القصوى من السماد الفوسفاتى المضاف مهم من الناحية العملية. ففي الترب ذات القدرة العالية على التثبيت يكون هذا الزمن

قصيرا، بينما في ترب أخرى قد يطول هذا الزمن شهراً أو أكثر. وهنا ترجع أهمية ما إذا كان السماد يضاف على دفعة واحدة أو على دفعات عدة خلال الدورة الزراعية، كذلك تحديد طريقة الإضافة.

٤- **pH التربة:** التربة من العوامل المؤثرة في تحديد درجة صلاحية الفوسفور للنبات، كما سبق ذكره أن الصورة الأيونية للفوسفات والمفضلة للامتصاص من قبل النبات هي $H_2PO_4^-$ بالمقارنة بالصور الأيونية الأخرى، وذكر أن تركيز هذه الصورة يقل بارتفاع رقم ال pH وانخفاضه. وذلك حسب طريقة التثبيت وتكون أعلى درجة صلاحية للفوسفات في مدى pH من ٦-٧.

٥- **درجة الحرارة: يزداد تثبيت الفوسفات بارتفاع درجة الحرارة:**

٦- **المادة العضوية:** من المعروف أن الأسمدة العضوية عند إضافتها إلى التربة تؤدي إلى زيادة خصوبتها، سواء لما تحويه من عناصر، أم عن طريق زيادة ذوبان بعض العناصر، وجعلها في صورة قابلة لإفادة النبات.

مصادر كسب الفوسفور: تعد الأسمدة المعدنية المضافة من أهم مصادر كسب الفوسفور إضاقة للمخلفات العضوية وكذلك الفوسفور المتحرر من معادن التربة.

مصادر الفقد: يفقد الفوسفور من التربة عن طريق ما يلي:

١- **الامتصاص من قبل النبات :** يعد امتصاص النبات للفوسفور المصدر الاساس لفقد الفوسفور الميسر من التربة

٢- **الفقد بالغسل :** يعد الفوسفور اقل فقداً بالغسل من الأزوت، ويمكن ان يعزى نلك إلى سرعة تثبيته في التربة وذلك نتيجة ارتباط الفوسفات بالكالسيوم في الترب الكلسية وبالحديد والألمنيوم في الترب الحامضية إضافة لعوامل اخرى تتعلق بالغرويات وال PH وغيرها...

٣- **الفقد بالانجراف :** يحدث فقد الفوسفور بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبة السطحية للتربة بوساطة عمليات الانجراف، وخاصة في المناطق الموجودة على المنحدرات وهي طبقات غنية بالمادة العضوية

٤- **الفقد بالتثبيت :** تتحول أسمدة الفوسفات الذائبة في الماء إلى شكل أقل ذوباناً واقل جاهزية للنبات بعد إضافتها للتربة.

البوتاسيوم في البيئة الزراعية ودوره في تغذية النبات

دورة البوتاسيوم : يعد البوتاسيوم أحد أهم العناصر المغذية الكبرى، والذي يأتي في المرتبة الثالثة من حيث الأهمية بعد الآزوت والفوسفور، حيث يوجد البوتاسيوم دائماً على هيئة مركبات غير عضوية ذائبة، ولو أنه يتحد أيضاً بالأحماض العضوية، ويتدخل هذا العنصر في تكوين الكربوهيدرات وما ينشا منها من مركبات أخرى، ويعمل على تنظيم محتويات الخلية من الماء، كما أنه بنشط الإنزيمات.

محتوى التربة من البوتاسيوم : تحتوي التربة على كمية من البوتاسيوم الكلى تتراوح بين (٠,٣ و٣ %). ويبخ البوتاسيوم في تركيب بعض المعادن التي تصبح غنية في محتواها من هذا العنصر، ويوجد البوتاسيوم في المعادن الأولية والتي تعد المصدر الأساسي للبوتاسيوم مثل: الفلدسبارات البوتاسية ،كذلك يوجد البوتاسيوم في كثير المعادن الثانوية (الطين) وعلى هذا تكون الترب الغنية في الطين ذات محتوى أكبر البوتاسيوم مقارنة بالترب الرملية أو العضوية.

أشكال البوتاسيوم في التربة :

١- **البوتاسيوم المعدني (الفلزي) :** يعود مصدر البوتاسيوم المعدني في الترب الزراعية إلى تجوية الصخور المحتوية على البوتاسيوم. ومنها الفلدسبارات البوتاسية: الأورثوكلاز والميكروكلين ($KALSi_3O_8$) وتحوي من ٤ – ١٥% K_2O المسكوفايت $\{KAL_3Si_3O_{10}.(OH)_2\}$ وتحوي من ٧-١١% K_2O والبيوتايت biotite $\{K(MgFe)_3Si_3O_{10}.(OH)_2\}$ كما يدخل في تركيب بعض المعادن الثانوية مثل الإليت والفيرميكيوليت والكلوريت.

٢- **البوتاسيوم غير المتبادل(المثبت):** يعرف هذا الشكل من البوتاسيوم بانه الشكل الذي يكون ممتزاً (مثبتاً)على السطوح الداخلية والجانبية لمعادن الطين مثل الإيليت والفيرمكيولايت والكلورايك Chlorite إلى محلول التربة، ومن ثم يكون بطيء الصلاحية للنباتات النامية. كما أنه غير قابل للتبادل مع الأيونات الأخرى المشابهة له في الشحنة الكهربائية خلال عملية التبادل الأيوني المعروفة.

٣- **البوتاسيوم المتبادل :** يكون هذا الشكل من البوتاسيوم مدمصاً على الشحنات السالبة لسطوح غرويات التربة. وتقدر كميته ب ١% تقريبا من البوتاسيوم الكلى في التربة، وغلباً ما يستخلص بمحول خلات الأمونيوم NI. ويعد هذا الشكل بمثابة المستودع الذي يمد محلول التربة بالبوتاسيوم باستمرار .

٤- **البوتاسيوم الذائب في محلول التربة:** هو البوتاسيوم الموجود ذائباً في محلول التربة. وتعد كميته في المحلول قليلة، وتشكل (١-٢) % من البوتاسيوم المتبادل في التربة. يعتقد أن التركيز المناسب من البوتاسيوم في محلول التربة يقع بين ٢٠ و٦٠ PPM، تبعاً لطبيعة المحصول ونسيج التربة ورطوبة وجفان التربة، وتعد التربة الحاوية على ٨ PPM بوتاسيوم ذائب فقيرة بالبوتاسيوم.

تثبيت البوتاسيوم في التربة : هو تحول البوتاسيوم الذائب والمتبادل إلى بوتاسيوم غير متبلل نتيجة لدمصاصه على السطوح الداخلية والجانبية لمعادن الطين.

العوامل المؤثرة في تثبيت البوتاسيوم في التربة:

١- **كمية معدن الطين ونوعيته في التربة:** تزداد الكمية المثبتة من للبوتاسيوم مع زيادة نسبة الطين. كما أن احتواء التربة على معادن الطين من نوع ١:٢ وخاصة الإليت يؤدي إلى زيادة في التثبيت وتحويل البوتاسيوم إلى شكل غير جاهز للنبات وفي مثل هذه الترب يتم العلاج بمزج كميات إضافية من البوتاسيوم مع التربة

أثناء الدورة الزراعية حتى الوصول إلى نقطة يصل فيها التثبيت إلى اقل ما يمكن وبقاء الجزء الأعظم من البوتاسيوم المضاف بشكل متبادل على غرويات التربة. ويمكن تطبيق هذا العلاج في حالة الأسمدة الفوسفاتية.

٢- **زمن التفاعل:** يزداد تثبيت البوتاسيوم في التربة مع مرور الوقت.

٣- **pH التربة:** يقل تثبيت البوتاسيوم عند خفض ال pH عن ٦. وان أفضل جاهزية وتيسر للبوتاسيوم تكون في مجال pH من ٦-٨، يلاحظ زيادة تثبيت البوتاسيوم في الترب الحامضية المضاف إليها المصلحات الكلسية حيث يرتفع ال PH ومن ثم يقل ادمصاص الهدروجين مما يحفز ادمصاص البوتاسيوم وتثبيته.

٤- **درجة الحرارة:** يزداد تثبيت البوتاسيوم بارتفاع درجة الحرارة، يؤثر المحتوى الرطوبي في تثبيت البوتاسيوم على معادن الطين، حيث وجد أن التجفيف يؤدي إلى زيادة التثبيت بسبب زيادة تجمع البوتاسيوم على سطوح معادن الطين .

٥- **تأثير أيون الأمونيوم:** نتيجة لتقارب نصف قطر أيون البوتاسيوم K^+ (١,٣٣ أنغستروم) ونصف قطر الفجوة السداسية طبقة رباعيات الوجوه (١,٣٥ أنغستروم)، لوحظ حدوث تثبيت للبوتاسيوم في هذا الموقع.

العوامل المؤثرة في إفادة البوتاسيوم للنبات وتحسين كفاءة امتصاصه:

ينفرد البوتاسيوم بظاهرة **الاستهلاك الترفي** من قبل النبات Luxury Consumption دون سائر العناصر المغذية الأخرى، ويقصد بذلك استمرار جذور النبات في أخذ أيون البوتاسيوم من التربة طالما توفر الأخير فيها. إن تراكم البوتاسيوم في أنسجة النبات قد لا تؤدي بالضرورة إلى زيادة الإنتاج، ولذلك فإن اعتماد اختبار التربة للبوتاسيوم (K-soil test) يعد أنجع وسيلة لتقدير حاجة النبات من البوتاسيوم تفادياً للهدر في استعمالات هذا السماد ذلك لأن مستوى البوتاسيوم في النبات ذو ارتباط وثيق بمدى توفره في التربة.

١- **السعة التبادلية الكاتيونية (RCEC):** يقصد بذلك أن قدرة الجذور على تبادل الأيونات الموجبة بآلية مشابهة لتبادل الأيونات في التربة، وتقدر هذه القدرة بت (٢٠-٦٠) ميليمكافى١٠٠ غرام جذور جافة، وتختلف باختلاف نوع النبات.

٢- **االسعةالتبادلية الكاتيونية للتربة (\CEC):** يزداد تثبيت البوتاسيوم في التربة بزيادة سعتها التبادلية حيث يزداد تبادل البوتاسيوم وادمصاصه وكذلك بوجود معادن الطين (١:٢) كطين الإليت حيث يحتجز البوتاسيوم طبقاته ومن ثم قلة البوتاسيوم الجاهز الآني للنبات.

٣- **المادة العضوية :** تساهم المادة العضوية بزيادة تيسر البوتاسيوم ومن ثم زيادة النمو والإنتاج.

٤- **نسبة الكالسيوم الى البوتاسيوم K/Ca:** ان زيادة هذه النسبة تؤدي الى عدم توازن بين الكلسيوم والبوتاسيوم الامر الذي ينعكس سلبا في امتصاص البوتاسيوم. ومن ثم يزداد تثبيت البوتاسيوم في التربة.

مصادر كسب البوتاسيوم : تعد الأسمدة المعدنية المضافة من أهم مصادر كسب البوتاسيوم إضافة للمخلفات العضوية وكذلك البوتاسيوم المتحرر من معادن التربة الأولية والثانوية.

مصادر الفقد:

١- **الامتصاص من قبل النبات :** يعد امتصاص النبات للبوتاسيوم المصدر الأساسي لفقد البوتاسيوم الميسر من التربة.

٢- **الفقد بالغسل :** يتعرض البوتاسيوم للفقد بالغسل خاصة في الترب الرملية والترب ذات ال pH المنخفض وتلعب معدلات الأمطار وكميات مياه الري دوراً في غسل البوتاسيوم.

٣- **الفقد بالانجراف :** يحدث فقد البوتاسيوم بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبقة السطحية للتربة بوساطة عمليات الانجراف وخاصة في المناطق الموجودة على المنحدرات وهي طبقات غنية بالمادة العضوية.

٤- **الفقد بالتثبيت :** يتحول جزء من أسمدة البوتاسيوم الذائبة في الماء إلى شكل أقل ذوباناً وأقل جاهزية للنبات بعد اضافتها للتربة حيث يثبت البوتاسيوم على السطوح الداخلية والجانبية لمعادن الطين ويصبح غير متبادل.

الكالسيوم والمغنزيوم في البيئة الزراعية

محتوى التربة من الكلسيوم : تحتوي التربة على كمية من الكالسيوم الكلي تبلغ ١,٥ % ويدخل الكالسيوم في تركيب عديد من المعادن السيليكاتية مثل: الفلسبارات ومركبات الفوسفات مثل: مجموعة الاباتيت والكبريتات مثل الجبس وكربونات الكالسيوم المختلفة مثل: الكالسيت $CaCO_3$ والدولوميت $CaMg(CO_3)_2$.

اشكال الكالسيوم في التربة :

١- **: الكلسيوم المعدني (الفلزي) :** يعود مصدر الكالسيوم المعدني في الترب الزراعية إلى تجوية الصخور المحتوية على الكلسيوم. ومنها الفلدسبارات ومركبات الفوسفات مثل: مجموعة الأباتيت، وكربونات الكلسيوم المختلفة مثل: الكالسيت $CaCO_3$ والدولوميت $CaCO_3$. $MgCO_3$- وتعد المركبات الأخيرة ذات تأثير كبير في الترب حيث يتراوح تركيز الكالسيوم في هذه الترب من ١٠-٧٠%.

٢- **الكالسيوم المتبادل (المدمص) :** يكون هذا الشكل من الكالسيوم ممتزا على سطوح غرويات التربة سواء المعدنية منها أم العضوية، ويعد الكالسيوم المتبادل ذا أهمية كبيرة في المحافظة على بناء جيد للتربة حيث يشجع على تكوين التجمعات الترابية مما يزيد من المسافات البينية بين الحبيبات خاصة في الترب الطينية ومن ثم تزداد عمليات التهوية مما يؤثر إيجابياً في كفاءة امتصاص الجذور للأيونات. وتختلف كمية الكلسيوم المتبادل في التربة حسب نوع معادن الطين السائدة، وسعتها التبادلية الكاتيونية. ويعد الكالسيوم المتبادل مخزوناً للكالسيوم الذائب في محلول التربة لوجود حالة من الاتزان بينهما.

٣- **الكالسيوم الذائب في محلول التربة :** يحتوي المحلول المائي لمعظم الترب كمية كافية من الكالسيوم لسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. بينما قد تعاني الترب العضوية من نقصه نتيجة لادمصاصه على الدبال وتكوين معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة. وفى الترب الحامضية نتيجة لإحلال الهيدروجين محل الكالسيوم على مواقع التبادل فإنه يحدث للكالسيوم غسيل من محلول التربة٠ وتتأثر هذه الكمية الذائبة بعوامل عديدة أهمها: الـ PH حيث يحدث ترسيب للكالسيوم في صوره مركبات عديدة بارتفاع الـ PH وعلى الرغم من ذلك تحتوي هذه الترب كمية كافية من الكالسيوم صالحة لتغذية النبات. بينما في الترب الحامضية يقل الكلسيوم الذائب وسبق تفسير سبب ذلك أيضاً لنوع معدن الطين وكمية المادة العضوية تأثيرا كبيراً في الكمية الذائبة.

محتوى التربة من المغنزيوم : تتصف ترب المناطق الجافة وشبه الجافة بارتفاع محتواها من المغنزيوم، الذي يمكن ان يصل إلى ١%، وتحتوي التربة الطينية على كمية من للمغنزيوم تبلغ ٠,٥%، وتنخفض هذه النسبة في ترب المناطق الرطبة والرملية، ويدخل المغنزيوم في تركيب عديد من المعادن السيليكاتية مثل: الفلسبارات Feldspars والإلليت والفيرميكوليت والمغنزيت $MgCO_3$ والدولوميت $Ca\ Mg\ (CO_3)_2$ وغيرها.

أشكال المغنزيوم في التربة :

١- **المغنزيوم المعدني (الفلزي)** : يعود مصدر المغنزيوم المعدني في التربة الى تجوية الصخور المحتوية عليه. ومنها الفلدسبارات والاالليت والفيرميكوليت والمغنزيت $MgCO_3$ والدولوميت $Ca\ Mg\ (CO_3)_2$ وغالباً ما يكون المغنزيوم في هذه المعادن غير ذائب أو ضعيف الذوبان، ويمكن ان يتحرر من هذه المعادن بفعل عملية التجوية أو من السطوح الداخلية للمونتمورونيت عند تمددها.

٢- **المغنزيوم المتبادل (المدمص):** تختلف كمية المغنزيوم المتبادل في التربة حسب نوع معادن الطين السائدة، وسعتها التبادلية الكاتيونية. ويعد المغنزيوم المتبادل مخزونا للمغنزيوم الذائب في محلول التربة لوجود حالة من الاتزان بينهما، ويكون هذا الشكل من المغنزيوم ممتزا على سطوح غرويات التربة سواء المعدنية منها أم العضوية.

٣- **المغنزيوم الذائب في محلول التربة:** يحتوي المحلول المائي لمعظم الترب كمية كافية من المغنزيوم لسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها وقد ينخفض تركيزه في الترب الرملية وكذلك في الترب الحامضية نتيجة لإحلال الهيدروجين محل المغنزيوم على مواقع التبادل فانه يحدث للمغنزيوم غسيل من محلول التربة. ويتشابه المغنزيوم في سلوكه الكلسيوم فيما عدا صغر حجم الايون Mg^{2+} نسبيا عن حجم ايون الكلسيوم.

مصادر الفقد :

١- عن طريق النبات .

٢- **الفقد بالغسل :** يتعرض كل من الكلسيوم والمغنزيوم للفقد بالغسل خاصة في الترب الرملية، والترب ذات ال pH المنخفض وتلعب معدلات الامطار وكميات مياه الري دورا في غسل كل من هذين العنصرين.

٣- **الفقد بالانجراف :** يحدث فقد للكلسيوم والمغنزيوم بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبقة السطحية للتربة بوساطة عمليات الانجراف، وخاصة في المناطق الموجودة على المنحدرات وهي طبقات غنية بالمادة العضوية.

٤- **الفقد بالتثبيت :** يمكن لكل من الكلسيوم والمغنزيوم ان يتفاعلا مع مكونات التربة وخاصة الكلسية منها ويشكلان مركبات ضعيفة الذوبان ككربونات الكلسيوم أو المغنزيوم أو الاثنين معا.

الحديـــد

محتوى التربة من الحديد : تحتوي التربة على كمية من الحديد الكلي تتراوح بين ٢٠٠ ppm و١٠%. يوجد الحديد في التربة على شكل أكاسيد وأكاسيد مائية وهيدروكسدات وكذلك ضمن الوحدات البلورية لمعادن الطين. تعد الترب الطينية غنية بهذا العنصر حيث يضفي عليها ألوانا حمراء وصفراء وبنية، بينما تعد الترب الرملية فقيرة بهذا العنصر.

أشكال الحديد في التربة :

١- **الحديد المعدني (الفلزي)** : يعود مصدر الحديد المعدني في الترب الزراعية إلى معادن (فلزات) التربة ومنها الاوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ والسيدريت $FeCO_3$ والهيماتيت Fe_2O_3...الخ) ويشكل الجزء الأكبر من محتوى التربة الكلي من الحديد.

٢- **الحديد المتبادل (المدمص)** : يكون هذا الشكل من الحديد مدمصاً على سطوح غرويات التربة سواء المعدنية منها أم العضوية، ويشكل جزءا قليلا من محتوى التربة الكلي من الحديد. تكون أيونات الحديدي (Fe^{2+}) المتبادلة في حالة توازن مع كل من الشكل الذائب للحديد ومعقدات الحديدي غير المستقرة وبيكربونات الحديدي التي يمكن ان توجد بتراكيز عالية نسبياً في محلول التربة سيئة التهوية.

٣- **الحديد الذائب في محلول التربة :** يحتوي المحلول المائي لمعظم الترب كمية غير كافية من الحديد (ppm ٠,٠١-٠,١) لا تسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. ويوجد الحديد الميسر (الذائب) في محلول التربة اما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{2+}، $(FeOH)^{2+}$, $\{Fe(OH)^2\}^+$, Fe^{3+} أو على صورة معقدات عضوية ميسرة (ذائبة) للنبات مثل Fe-organic complexes (معقدات الحديد العضوية).

<u>ويتوقف ظهور أعراض نقص الحديد على النبات على الكمية الميسرة التي تتحكم فيها عوامل عدة يمكن ايجازها بما يلي:</u>

١- **ال pH:** تيسر الحديد للنبات يقل بدرجة كبيرة مع ارتفاع الـ PH لها وعلى ذلك يكون نقص الحديد الميسر في الترب الكلسية في الغالب نتيجة ارتفاع رقم الـ PH حيث يصبح أيون الحديد الثلاثي هو السائد.

٢- **المادة العضوية:** يزداد الحديد الميسر للنبات بوجود المادة العضوية و إن الترب الفقيرة في محتواها من المادة العضوية قد تعاني من نقص الحديد الصالح للنبات.

٣- **قوام التربة:** الترب الرملية التي تحوي أصلا على كمية قليلة من الحديد الكلي يتوقع ان تكون كمية الحديد الميسرة بها قليلة. ومن ثم تعاني النباتات النامية فيها من نقص الحديد.

٤- **تأثير كربونات الكالسيوم:** تؤثر كربونات الكلسيوم في رفع pH التربة والذي يؤثر سلبا في تيسير الحديد كما تلعب كربونات الكلسيوم والمغنزيوم دورا مهما ومباشرا في الحد من ذوبان الحديد حيث تؤدي زيادة كمية كربونات الكلسيوم الى تحول الحديد المائي الثنائي الذائب الى صورة غير ذائبة كأكاسيد الحديد او هيدروكسيد الحديد ويتضح ذلك من المعادلات الآتية:

$$Fe^{2+} + CaCO_3 \longrightarrow FeCO_3 + Ca^{2+}$$

$$2FeCO_3 + Ca(HCO_3)_2 + O_2 \longrightarrow Fe_2(CO_3)_3 + Ca(OH)_2$$

$$Fe_2(CO_3)_3 + 3H_2O \longrightarrow Fe_2O_3 + 3H_2CO_3$$

✓ ان الاصفرار ليس ناتجا من نقص الحديد الميسر بالتربة بل نتيجة تأثير الكربونات وهو **ما يعرف Lime induced iron chlorosis .**

✓ **<u>ويمكن تقليل من ظاهرة الاصفرار Chlorosis الناتج عن نقص الحديد في الترب الكلسية بمراعاة ما يلي:</u>**

١- عدم زيادة الرطوبة الأرضية أكثر من اللازم تجنبا لحدوث عملية التحلل المائي للكربونات.

٢- يمكن الاقلال من تأثير أيون OH^- الناتج من التحلل المائي للكربونات بزيادة نسبة ثاني أوكسيد الكربون CO_2 في هواء التربة.

٣- يمكن إضافة بعض المركبات ذات التأثير الحامضي إلى مثل هذه الترب مثل الكبريت

٤- **محتوى التربة من الرطوبة:** مع ارتفاع رطوبة التربة الزراعية تقل التهوية، ومن ثم يتأثر نمو النبات حيث يصبح ضعيفاً ويكون أكثر قابلية للتعرض لنقص الحديد وخاصة في الترب الكلسية.

٥- **تأثير التضاد بين الأيونات :** من الأسباب التي تؤدي إلى ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد على النبات هو وجود أسمدة عناصر معينة أو اضافتها حيث وجد أن زيادة الفوسفور الذائب في التربة يقلل من امتصاص الحديد.

٦- **درجة الحرارة:** مع انخفاض درجة الحرارة ينخفض معدل نمو النبات وأيضا يقل معدل معدنة المادة العضوية والتي تساهم بجزء أساسي في الحديد الميسر نتيجة لقلة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف ومن ثم يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الميسر.

مصادر فقد الحديد :

١- **الامتصاص من قبل النبات:** يعد امتصاص النبات للحديد أحد مصادر فقده من التربة.
٢- **الفقد بالغسل :** يتعرض الحديد للفقد بالغسل من الطبقة السطحية الى الطبقات تحت السطحية خاصة في الترب الرملية والترب ذات ال PH المنخفض وتلعب معدلات الامطار وكميات مياه الري دورا في غسل هذا العنصر.
٣- **الفقد بالانجراف :** يحدث فقد للحديد بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد غرويات التربة من الطبقة السطحية للتربة بوساطة عمليات الانجراف.
٤- **الفقد بالتثبيت :** يحدث تثبيت الحديد الذائب في ظروف الترب والكلسية والقلوية حيث يترسب الحديد على شكل $FeCO_3$ و $Fe(OH)_3$.

محتوى التربة من المنغنيز: تحتوي التربة على كمية من المنغنيز الكلي تتراوح بين ١٠٠ الى ٥٠٠ مغ\كغ. يوجد المنغينز في التربة على شكل أكاسيد وأكاسيد مائية وهيدروكسدات. ويكون محتوى التربة الرسوبية من هذا العنصر أعلى من محتوى الترب الكلسية والترب الرملية.

أشكال المنغنيز: في التربة :

١- **المنغنيز المعدني (الفلزي)** : يعود مصدر المنغنيز المعدني في الترب الزراعية الى معادن (فلزات) التربة البيرولوسيت , المنغنيت و البرونيت الخ. ويشكل الجزء الأكبر من محتوى التربة الكلي من المنغنيز
٢- **المنغنيز المتبادل (المدمص):** يكون هذا الشكل من المنغنيز مدمصاً على سطوح غرويات التربة سواء المعنية منها العضوية، يشكل جزءاً قليلا من المنغنيز الكلي في التربة. يزداد محتوى التربة من المنغنيز المتبادل مع انخفاض PH، وقد يصل إلى أكثر من (١٠٠٠) مغ\كغ في الترب شديدة الحموضة، بينما ينخفض هذا المحتوى مع ارتفاع PH حيث يتأكسد إلى Mn^{+4} ويترسب على شكل MnO_4. ويمكن أن ينخفض تركيز المنغنيز المتبادل في الترب القلوية ليصل الى (١-٠) مغ/كغ.
٣- **المنغنيز الذائب في محلول التربة :** يعد هذا الشكل الأكثر أهمية للنبات حين يكون Mn^{+2} ذائبا في محلول التربة. ويوجد هذا الشكل من المنغنيز في حالة توازن مع المنغنيز المتبادل من جهة، ومع البيروسيت MnO٢ والبرونيت Mn_2O_3 من جهة أخرى.

ويتوقف ظهور اعراض نقص المنغنيز على النباتات على الكمية الميسرة والتي تتحكم فيها عوامل عدة يمكن إيجازها فيما يلي:

١- **درجة ال pH:** يؤدي ارتفاع pH التربة إلى خفض الكمية الميسرة من المنغنيز إلى الدرجة التي لا تسمح بإمداد النباتات النامية في التربة من هذا العنصر حيث يتأكسد المزيد من المنغنيز الثنائي تحت هذه الظروف.

٢- **المادة العضوية:** تعمل المادة العضوية (المضافة بكميات مناسبة وبصورة متكررة لعدة أعوام).على خفض pH التربة التي تضاف إليها ومن ثم يكون من المتوقع ان يكون الوسط الحامضي هذا ملائما لحدوث عملية الإرجاع ومن ثم تيسر المنغنيز للنبات، من جهة اخرى، ومع تحلل المادة العضوية تتحرر بعض الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض التي تعمل كمركب مخلبي يرتبط مع المنغنيز ويجعله في شكل قابل لإفادة النبات.

٣- **قوام التربة:** يكون محتوى الترب الرملية من المنغنيز الكلي قليلاً على نحو عام، وعلى ذلك يكون من المتوقع أن يكون المنغنيز الميسر بهذه الترب أيضا قليلا.

٤- **محتوى التربة من الرطوبة:** نظرا لأن المنغنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد ان ظروف التهوية تلعب دورا أساسياً في تحديد الكمية الميسرة من هذا العنصر (Mn^{2+}) وعلى ذلك يتبين أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الأكسجين تزداد كمية Mn^{2+} نتيجة حدوث عملية الارجاع للأشكال عالية التكافؤ من المنغنيز

٥- **تأثير الأيونات المغذية الأخرى:** وجد أن هناك بعض الأيونات التي تؤثر سلبا في المنغنيز الممتص بوساطة النبات أي هناك ما يعرف باسم ظاهرة اتضاد Antagonist بين المنغنيز وهذه الأيونات.

٦- **العوامل المناخية:** تظهر أعرض نقص المنغنيز على النباتات النامية ذات المناخ البارد وأيضا في المناخ الجاف قد تعاني نقصا في امتصاص المنغنيز.

٢- **مصادر كسب المنغنيز** : تعد الصخور ومعادن التربة الأولية والثانوية من اهم مصادر كسب المنغنينز إضافة للأسمدة والمخلفات العضوية المضافة.

مصادر الفقد:

١- **الامتصاص من قبل النبات** : يعد امتصاص النبات للمنغنيز أحد مصادر فقده من التربة.

٢- **الفقد بالغسل** : يتعرض المنغنيز القابل للإفادة للفقد بالغسل خاصة في الترب الرملية والترب ذات ال PH المنخفض وتلعب معدلات الأمطار وكميات مياه الري دوراً في غسل هذا العنصر.

٣- **الفقد بالانجراف** : يحدث فقد للمنغنيز بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد غرويات التربة من الطبقة السطحية للتربة بواسطة عمليات الانجراف.

٤- **الفقد بالتثبيت** : يحدث تثبيت المنغنيز الذائب في ظروف الترب الكلسية والقلوية حيث يترسب المنغنيز على شكل أكاسيد المنغنيز الثلاثية والرباعية.

امتصاص النبات للمنغنيز : يمتص النبات المنغنيز في معظمه بصورة معدنية على شكل أيون منغنيز ثنائي Mn^{2+} وقسماً قليلا منه على شكل شيلات. ويبلغ تركيز المنغنيز الكلى (Total-Mn) في النبات بين (٢٠ و٥٠٠) مغ/كغ مادة جافة. تظهر أعراض نقص المنغنيز عند انخفاض التركيز عن (٢٠) مغ/كغ. بينما تظهر أعراض السمية على النبات إذا زاد التركيز عن (٥٠٠) مغ/كغ، ويشذ عن ذلك نبات الأرز، حيث وجد أن هذا النبات شديد التحمل لزيادة المنغنيز في وسط النمو حتى إذا وصل التركيز إلى (٢٥٠٠) مغ/كغ.

محتوى التربة من الزنك : تحتوي التربة على كمية من الزنك تتراوح بين ١٠ إلى ٣٠٠ مغاكغ وبمتوسط عام ٦٠ مغاكغ وبشكل عام لا تعبر الكمية الكلية للعنصر في التربة عن مدى حاجة النبات الى التسميد من هذا العنصر من عدمه حيث يتوقف ذلك على الكمية الميسرة والصالحة للامتصاص من قبل النبات.

أشكال الزنك في التربة :

١- **الزنك المعدني(الفلزي):** يعود مصدر الزنك المعدني في الترب الزراعية الى بعض المعادن مثل: الأوجيت الهورنبلند والبيوتيت ويوجد أيضاً على شكل أملاح مثل: سفاليريت الزنكيت (ZnO) Zincite وسميثونيت ($ZnCO_3$) وايلميت $ZnSiO_3$ كما يمكن أن يدخل الزنك في تركيب معان الطين عن طريق احلاله محل المغنزيوم او الحديد الثنائي في ثمانيات الوجوه.

٢- **الزنك المتبادل (الممتص)** : يكون هذا الشكل من الزنك مدمصا على سطوح غرويات التربة سواء المعدنية منها ام العضوية بالأشكال التالية: $(ZnCl)^+$, $(ZnOH)^+$, Zn^{2+} كما يمكن أن تدمص على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم بالأشكال التالية: $(ZnCl)^-$, $(ZnCl_3)^-$, $(ZnCl_4)^{2-}$ تقدر كمية هذا الشكل من الزنك بـ () مغاكغ.

٣- **الزنك على شكل معقدات** : يعد هذا الشكل الأكثر أهمية للنبات حيث يكون Zn^{2+} ذائبا في محلول التربة. وهذا الشكل من الزنك في حالة توازن مع الشكل المتبادل حيث يشكلان الزنك الميسر للنبات وان كان هناك جزء قليل من الزنك غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعدن قد لا يفي بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطيء أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن. بصفة عامة وفي معظم الترب فان الكمية الذائبة في محلول التربة لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون (٠,٠٠٢-٠,٢)

وهناك عوامل عديدة تؤثر في سلوك ودرجة تيسر الزنك الذائب في التربة منها:

١- **الـ PH:** تعتمد درجة تيسر الزنك بدرجة كبيرة على pH التربة حيث يزداد تيسره بانخفاض pH .

٢- **المادة العضوية:** ويلاحظ ان إضافة المادة العضوية للترب القلوية والكلسية يزيد من تيسر الزنك بها سواء بطريقة مباشرة أم غير مباشرة عن طريق خفض PH التربة.

٣- **كربونات الكلسيوم:** هناك تأثيرا سلبيا لكربونات الكلسيوم على تيسر الزنك في التربة الزراعية. وهناك عديد من التفسيرات التي توضح هذا التاثير ومنها: أولا: تأثير غير مباشر وذلك لتأثير كربونات الكلسيوم على رفع PH التربة. ثانيا: قد لا يحدث تفاعل بين الكربونات والزنك وخاصة في حالة وجود كربونات المغنزيوم (المغنيزيت $MgCO_3$ والدولوميت $MgCa(CO_3)_2$) وذلك بإحلال الزنك محل المغنزيوم الموجود بهذه المركبات.

٤- **تأثير قوام التربة:** تعد الترب الخفيفة خشنة القوام ذات قدرة قليلة على الاحتفاظ بالزنك، وعلى ذلك فإن الترب الرملية يعاني النبات النامي فيها من نقص الزنك، بينما العكس في الترب الطينية ناعمة القوام. ولقد وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على ادمصاص الزنك على سطوحه.

٥- **تأثر مستوى الفوسفات في التربة:** يؤدي التركيز المرتفع من الفوسفات الذائبة، سواء الموجودة اصلا بالتربة Native phosphorus ام الناتجة عن التسميد الزائد بالفوسفات يؤدى إلى تأثير عكسي على الزنك كعنصر مغذى لعديد من المحاصيل. ويكون التضاد Antagonistic واضحا في الترب الكلسية. وهناك **تفسيرات** عدة لذلك:

اولا: قد يحدث ترسيب للزنك في صورة فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$ وهي مركبات قليلة للذوبان وقد عد هذا المركب المسؤول عن نقص الزنك الميسر في كثير من الترب.

ثانيا: ان قدرة الفوسفور على زيادة النمو النباتي تفوق كثيراً قدرة الزنك.

ثالثا: حدوث اضطراب جوي داخل النبات لعدم حدوث التوازن المطلوب بين العنصرين داخل النبات.

رابعا: يرجع إلى تكوين معقدات بين الزنك والبروتين داخل المجموع الجذري وأن الفوسفور يشجع على تكوين هذه المعقدات.

خامسا: حدوث إعاقة لامتصاص الزنك نتيجة لزيادة تركيز الكلسيوم في محلول التربة مع إضافة الأسمدة الفوسفاتية.

٦- **تأثير الأسمدة الأزوتية:** إن إضافة الأسمدة الآزوتية تؤدى إلى نقص الزنك الميسر ومن ثم تظهر أعرض نقص هذا العنصر على النبات، وهناك تفسيرات عدة منها: ان الزنك يتحد مع النترات ويتكون نترات الزنك. أما التفسير الأخر هو قابلية النبات لتثبيت الزنك في المجموع الجذري وذلك عن طريق تكوين معقدات في

البروتينات غير متحركة. وتجدر الإشارة ان الاسمدة الازوتية ذات التأثير الحامضي تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض pH والعكس مع الأسمدة قاعدية التأثير.

مصادر الكسب : تعد الصخور ومعادن التربة الأولية والثانوية من أهم مصادر كسب الزنك اضافة للأسمدة والمخلفات العضوية المضافة ٠

مصادر الفقد للزنك :

١- **الفقد بالغسل** : يتعرض الزنك القابل للإفادة للفقد بالفعل خاصة في الترب الرملية، والترب ذات ال pH المنخفض وتلعب معدلات الأمطار وكميات مياه الري دوراً في غسل هذا العنصر.

٢- **الفقد بالانجراف** : يحدث فقد الزنك بالانجراف الريحي او المائي نتيجة لفقد غرويات التربة من الطبقة السطحية للتربة بواسطة عمليات الانجراف.

أشكال النحاس في التربة :

١- **النحاس المعدني (الفلزي)** : يعود مصدر النحاس المعدني في الترب الزراعية إلى معادن (فلزاب) التربة ومنها معادن كبريتيدية Sulphides وأهم هذه المعادن هو كالكوبيريت Cu Fe S٢ حيث يعد المصدر الاساسى للنحاس. وكذلك إلى معادن الأكاسيد والكربونات النحاسية ومنها كوبريت ($Cu_٢O$), وملاكيت ($CuCO_٣$).

٢- **النحاس المتبادل (المدمص)** : يوجد النحاس متبادلا (مدمصا) على سطوح الغرويات المعدنية (معادن الطين)، على شكل $Cu^{٢+}$ أو $CuOH^{+}$ ويعد هذا الشكل ميسرا للنبات نسبياً.

٣- **النحاس على شكل معقدات عضوية** : يرتبط النحاس مع المادة العضوية من خلال المجموعات الوظيفية الأكسجينية، الكربوكسيل والهدروكسيل الفينولى أو الكحولي مكوناً معقدات ثابتة ان ارتباط النحاس مع الاحماض العضوية يكون مركبات غير ذائبة في حالة الاحماض الهيومية ولكنها قد تكون ذائبة في حالة الاحماض الفولفية. وعلى ذلك فمن المتوقع بأن النباتات النامية في الترب العضوية سوف تعاني من نقص النحاس.

٤- **النحاس الذائب في محلول التربة** : يحتوي المحلول المائي لمعظم الترب كمية غير كافية من النحاس (٠,٠٠١ ppm) لا تسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. لأن معظم النحاس الذائب في محلول التربة يرتبط مع المادة العضوية ويكون مركبات ثابتة. ويعد الشكل الأيوني $Cu^{٢+}$ هو الأكثر سيادة عند pH الأقل من٧، بينما تكون السيادة للصورة $Cu\ (OH)\}^{+}$ في محلول التربة القلوية.

تؤثر عوامل عدة على تيسر النحاس أهمها:

١- **المخزون الكلي:** هناك ارتباط بين محتوى التربة من النحاس الكلي والكمية الميسرة للنبات. أي أنه من المتوقع زيادة هذه الكمية مع زيادة محتوى التربة من النحاس الكلي.

٢- **ال PH** بشكل عام، تقل كمية النحاس الميسرة للنبات بارتفاع ال pH عن ٧، بينما يزداد تيسره مع انخفاض pH عن ٦,٠، وفى الترب شديدة الحموضة (pH أقل من ٤,٥) .١

نجد أن الكمية الميسرة للنبات تقل مرة أخرى ويرجع ذلك إلى:

- ✓ يمكن أن يتحد النحاس الذائب مع سيليكات الألمونيوم، الفوسفات أو أيونات أخرى ذائبة ليتحول إلى مركبات ضعيفة او عديمة الذوبان.
- ✓ زيادة الكمية الممتصة من الأيونات الأخرى في الترب الحامضية يقلل او يعوق امتصاص النحاس

٣- **المادة العضوية:** فيما يتعلق بكاتيونات العناصر الصغرى Fe، Mn، Zn،Cu يعد النحاس أكثرها تطورا مع المادة العضوية ويفسر سبب زيادة ظهور أعراض نقص النحاس على النباتات النامية في الترب العضوية.

٤- **قوام التربة:** تعاني النباتات النامية في الترب الرملية من نقص النحاس وذلك لقلة الكمية الميسرة حيث تدمص الكمية الذائبة من هذا العنصر على سطوح التربة ذات القوام الناعم والتي تتميز بسعة تبادلية كاتيونية مرتفعة حيث يزداد النحاس الميسر فيها لاحتوائها على كمية أكبر من النحاس الكلي.

٤- **التضاد الأيوني** : وجد أن المستويات المرتفعة من الآزوت أو الفوسفور تؤثر عكساً على التغذية بعنصر النحاس.

٥- **كربونات الكلسيوم:** كما هو معروف أن زيادة كربونات الكلسيوم في التربة ترفع من قيمة pH التربة ومن ثم يكون تأثيرها غير المباشر على نقص الكمية الميسرة من النحاس. يكون ال pH في حدود ٨وعند هذا ال pH يحدث تفاعل كيميائي بين النحاس وكربونات. الكلسيوم وتتكون كربونات النحاس القلوية ١٢ CaC٠٣.Cu(٠H غير الذائبة ومن ثم تقلل من تيسر هذا العنصر.

مصادر الكسب: تعد الصخور ومعادن التربة الأولية والثانوية من اهم مصادر كسب النحاس إضافة للأسمدة والمخلفات العضوية المضافة.

مصادر الفقد:

١- **الامتصاص من قبل النبات :** يعد امتصاص النبات للنحاس أحد مصادر فقده من التربة.

٢- **الفقد بالغسل :** يتعرض النحاس للفقد للغسل من الطبقة السطحية الى الطبقات تحت السطحية خاصة في الترب الرملية، والترب ذات ال PH المنخفض وتلعب معدلات الامطار وكميات مياه الري دورا في غسل هذا العنصر.

٣- **الفقد بالانجراف :** يحدث فقد للنحاس بالانجراف الريحي أو المائي نتيجة لفقد غرويات التربة من الطبقة السطحية للتربة بوساطة عمليات الانجراف.

٤- **الفقد بالتثبيت :** يحدث تثبيت للنحاس الذائب في ظروف الترب الكلسية و القاعدية والقلوية والعضوية حيث يترسب النحام على شكل CuO و،CuCO٣ وكذلك يرتبط بالأحماض الهيومية.

البورون

محتوى التربة من البورون : تحتوي التربة على ٢-١٠ ملغاكغ وتعد الترب الطينية والكلسية وترب المناطق الجافة ذات محتوى مرتفع بالبورون .

اشكال البورون في التربة :

١- البورون المعدني (الفلزي)
٢- البورون المتبادل (المدمص) .
٣- البورون على شكل معقدات عضوية .
٤- البورون الذائب في محلول التربة .

العوامل المؤثرة على سلوك ودرجة تيسر البورون الذائب بالتربة :

١- **درجة PH:** ان البورون الذائب يزداد بارتفاع PH من ٤,٧ الى ٦,٧ بينما تقل الكمية الميسرة بارتفاع الرقم عن ذلك .

٢- **المادة العضوية :** يرتبط البورون مع المادة العضوية عن طريق المجاميع الفعالة الهيدروكسيلية والكربوكسيلية مكونا معقدات عضوية مختلفة في درجة ذوبانها ويزداد تأثير المادة العضوية في تيسر البورون في الترب الحامضية .

٣- **تأثير قوام التربة :** تقل كمية البورون الميسر للنبات في الترب خشنة القوام سريعة النفاذية كما وجد ان معدن الاابابيت ذو قدرة مرتفعة على ادمصاص البورون يليه معدن المونتموريلليتواقل المعادن هو الكاوولينيت .

٤- **رطوبة التربة :** يزداد تثبيت البورون بازدياد جفاف التربة .

٥- **تـأثير العناصـر الاخـرى** : يؤدي ارتفاع محتوى محلول التربة من الكالسيوم والبوتاسيوم في الترب الكلسية والقلوية وفي الترب الحامضية المستصلحة وتؤثر نسبة الكالسيوم الى البورون في النبات اساسا في نقص البورون حيث تظهر اعراض نقص البورون بشكل عام عندما تزداد النسبة عن ٨٠٠١١ .

المولبيدنيوم

اشكال المولبيدنيوم في التربة :

١- المولبيدنيوم المعدني .
٢- المولبيدنم المتبادل .
٣- المولبيدنم على شكل معقدات عضوية .
٤- المولبيدنيم الذائب في محلول التربة .

العوامل المؤثرة على سلوك ودرجة تيسر المولبيدنم :

١- **درجـة PH** : يـزداد تيسـر المولبيـدنم مـع زيـادة PH ويـزداد تيسـره فـي التـرب القلويـة عنـه فـي التـرب الحامضية حيث يحدث تبادلل ايوني في الترب القلوية بين ايون المولبيدات المدمص وانيون الهيدروكسيل الذائب في محلول التربة .
٢- **المادة العضوية** : المادة العضوية تشكل معقدات مع المولبيدنم تساهم في الحد من تثبيت المولبيدنم .
٣- **قـوام التربـة** : التربة الرملية تعاني من نقص المولبيدنم لسهولة فقده من محلول التربة نظرا لعدم وجود سطوح ادمصاص لهذه التربة والعكس صحيح في الترب الطينية .
٤- **كربونـات الكالسـيوم** : تقوم كربونات الكالسيوم برفع PH التربة مما يزيد من تحرر المولبيدنم المدمص على سطوح الغرويات الى المحلول .
٥- **التداخل بين الايونـات المغذيـة الاخرى** : ان وجود الفوسفات الذائبة في محلول التربة يعد عامل مشجع علـى ذوبـان المولبيـدنم وفـي حـال زيـادة الكبريتـات الذائبـة فـي محلـول التربـة يحـدث اعاقـة الادمصـاص للمولبيدات .

-وكذلك علاقة تضاد بين النحاس والمولبيدنيوم.

-وعلاقة تضاد بين الحديد والمولبيدنيوم.

مصادر الكسب : المعادن الاولية والثانوية والاسمدة و المخلفات العضوية .

مصادر الفقد :

١- الامتصاص من قبل النبات .

٢- الفقد بالغسل .

٣- الفقد بالانجراف .

٤- الفقد بالتثبيت .