# الفصل الأول

## مدخل إلى حياة الكائنات الحية (علم الأحياء) Introduction to Biology

### المفهوم العام للكائنات (الهياكل أو الأجسام)

الكائنات هي كتل مادية تشغل حيزاً ما في الكون، وتعد الذرات المعدنية ومن ثم الجزيئات (مركبات، مواد) الناتجة عنها هي الحجر الأساس (الوحدة الرئيسية الدقيقة) لبنيتها التكوينية.

تختلف وتتنوع الأجسام (الهياكل، الكائنات) بعدد من الخصائص من حيث التركيب والبنية والشكل والحجم والوظيفة وغيرها من المؤشرات لتقع في مجموعتين أساسيتين.

### التصنيف العام للمركبات (المواد)

**1- تقسيم حسب المستوى البنيوي:**

. مواد بسيطة: مركب جزيئي يتكون من اتحاد ذرات وحيدة النمط.

. مواد مركبة: مركب جزيئي يشكله اتحاد ذرات متنوعة.

**2- تقسيم حسب المستوى النوعي:**

. المركبات اللاعضوية: روابط جزيئية لاحيوية وغير محددة بعنصر معدني رئيسي (مشترك). تدخل هذه المواد في تكوين هياكل الأشياء (الجوامد، الجماد) التي يطلق عليها بالكائنات اللاحية.

. المركبات العضوية: جزيئات تشكلها روابط كيميائية تشترك بعنصر معدني رئيسي الـ(C) وغيره (H, O).

- تلعب العضويات دوراً كبيراً في تكوين مادة الحياة المسماة بـ Protoplasm (المادة الحية)، وبالتالي في بنية الوحدة الأساسية (الخلايا) للكائنات الحية.

**التصنيف العام للكتل المادية (الكائنات)**

**أولاً**– الكائنات اللاحية (الجوامد):

أشياء متمثلة بكتل مادية جامدة تشغل حيزاً في هذا الكون، وتمتاز بالصفات التالية:

1- تعد الذرات والجزيئات الوحدة الأساسية لبنية هياكلها.

2- مختلفة الأشكال والأحجام، ولا تتكاثر بل تتجزأ لكونها جامدة.

3- تستجيب للعمليات الفيزيائية والكيميائية (تتأثر بالعوامل البيئية).

**ثانياً**– الكائنات الحية (المتعضيات، الأحياء):

كتل مادية مختلفة الخصائص منتشرة في الفضاء واليابسة والمياه. تجتمع هذه الأجسام في منظومة حياتية تسمى بالتنوع الحيوي Biodiversity (أفراد حيوانية ونباتية دنيا وراقية ومجهرية بالإضافة إلى الجنس البشري)، وما هذا التنوع إلا تباين مورثي (أنماط مورثية)، موزع على افراد يطلق عليها بمتعضيات تتسم بصفات داخلية وخارجية (تحت إشراف جهاز وراثي Genetic system) تستحدث بألية بيولوجية وهي التكاثر الجنسي واللاجنسي.

**الممالك الرئيسية للتنوع الحيوي**

1– المملكة الحيوانية (Animal Kingdom)

أنواع حيوانية دنيا وراقية (بارامسيوم، أميبيا، ديدان، حشرات، طيور، أسماك، مجترات).

2– المملكة النباتية (Plant Kingdom)

طرز نباتية دنيا وراقية (أشنيات، عوالق، طحالب، أعشاب وحشائش، شجيرات، أشجار).

**تصنيف الكائنات الحية وفق اقتراح روبرت وايتكر Robert Whittaker**

– مملكة البدائيات: بسيطة التنظيم البيولوجي، أحادية البنية وتفتقر للمكتنفات المنفصلة (الجراثيم).

– مملكة الطلائعيات: تعد بداية حقيقيات النواة المتميزة بمكتنفات مفصولة. منها وحيدة الخلية (سوطيات، بوغيات، هدبيات) وعديدة الخلايا (طحالب واشنيات كالسبيروجيرا وغيرها).

– مملكة الفطريات: الخلية تضم مكتنفات خلوية واضحة (أهمها النواة الحقيقية والجدر الخلوية). قسم منها وحيد الخلية والآخر متعدد.

– المملكة النباتية: معقدة التنظيم البيولوجي ووحداتها ذات مكتنفات بروتوبلازمية معزولة بأغشية، لذلك يطلق عليها بمتعضيات حقيقيات النوى مثل الطحالب والنباتات الوعائية (مغطاة ومعراة البذور).

– المملكة الحيوانية: معقدة التنظيم الحيوي وذات مكتنفات مفصولة عن بعضها البعض ضمن السيتوبلاسم، لذا تدعى خلاياها بخلايا حقيقيات النواة. الديدان والرخويات والمجترات وغيرها.

**Biology علم الحياة (علم الأحياء)**

هو علم يهتم بالبحث في المواضيع العامة المتعلقة بالمظاهر الحياتية للتنوع الحيوي، كالنشوء والتشكل والبنية والتركيب والتنامي والتطور والوظائف والتصنيف واخيراً مدى تفاعلاتها مع عوامل البيئة.

يعتبر علم الحياة Biology أقدم المعارف الأساسية الواسعة التي عرفتها الانساتية. ومع تطور دراساته وعلاقاته الوثيقة بالعلوم الأخرى (الطبية والصيدلانية والهندسية ومجالات تقنية أخرى) أصبح يعد تجمعاً لعدة علوم حياتية Life Sciences وليس علماً واحداً.

**Biology مصطلح إنكليزي جذوره اغريقية، يتألف من شقين:**

**– Bio: اصلها Bios الحيوية– الحياة.**

**– Logy: اصلها Logos معرفة، بحث، علم.**

**– استخدم هذا المصطلح من قبل كارلوس لينيوس عام 1736**

لقد نشأ عن علم الأحياء علمان رئيسيان يهتمان بمواضيع عامة وفقاً لنوع وحدة التنوع الحيوي، **هما:**

- ❖ علم الحيوان Zoology
- ❖ علم النبات Botanic

**علم النبات العام Botanic**

هو أحد فروع علم الحياة، يهتم في الدراسات العامة حول مسائل ذات صلة بأفراد مجموعات العالم النباتي دون الدخول في تفاصيلها الدقيقة، فهو المدخل الرئيس لفهم العديد من الجوانب المتعلقة بالنباتات Plants.

**Botanic– كلمة مشتقة من اليونانية Botane تعني النبات.**

**Plant–كلمة إنكليزية تعني النبات مشتقة من اللاتيني Plantae**

**قديماً كان علم الحياة النباتية أحد فروع الطب، حيث استعمل الأطباء النباتات في الاحتياجات الطبية.**

**ومن المواضيع العامة (اللاتفصيلية) التي يهتم بدراستها علم Botanic، يذكر منها:**

- ✓ الوحدة البنيوية الأساسية للنبات (وحدات تكوين النبات).
- ✓ كيمياء النبات (المحتوى المادي الذي يتركب منه النبات).
- ✓ المجاميع الخلوية (النسج النباتية).
- ✓ الانقسام الخلوي النباتي (التكاثر الخلوي النباتي– أنواع الانقسام).
- ✓ البنية العامة لهيكلة النبات (الأعضاء النباتية– مورفولوجيا وتشريحياً).
- ✓ العمليات الفيزيولوجية (الناحية الوظيفية الخلوية والتجمع الخلوي والأعضاء والأجهزة).

**استناداً لهذه المواضيع اشتقت من علم النبات الفروع الأكثر تخصصية، وهي:**

- علم الخلية النباتية Plant Cytology
- علم الفيزيولوجيا النباتية Plant Physiology
- علم النسج النباتية Plant Histology
- علم البيئة النباتية Plant Ecology
- علم التشريح النباتي Plant Anatomic
- علم الوراثة النباتية Plant Genetic
- علم التشكل النباتي Plant Morphology
- علم كيمياء الحيوية النباتية Plant Biochemistric

**الأسس المنهجية البحثية لبيولوجيا النبات**

يرتكز علم الحياة النباتية كغيره من العلوم البيولوجية من حيث المنهجية البحثية على:

- الشواهد والملاحظات (سلوك المتعضي من ظواهر وعمليات).
- إجراء الأبحاث (التجارب المخبرية والميدانية).
- تدوين نتائج التجارب والأبحاث (القراءات والجداول والمخططات).
- تطبيق المبادئ الإحصائية.
- مناقشة النتائج وتفسيرها العلمي.
- وضع الاستنتاجات العلمية والتوصيات.

**الأهمية التطبيقية لأنواع المملكة النباتية**

- مصدر رئيس لمصادر الاستقرار (الغذاء– روابط غذائية عضوية ولاعضوية).
- منبع استخلاص المركبات الطبية والعطرية (الأدوية والعقاقير).
- أحد عناصر المواد الأولية للصناعات (خيوط، مطاط، أنسجة، ورق).
- أحد عوامل السياحة البيئية (حدائق، مشاتل).
- وسيلة من طرق مكافحة الآفات (الحشرات).

- قاعدة (أساس) لكل سلسلة غذائية Foodchain.

**الخصائص البيولوجية العامة للأحياء النباتية:**

إن دراسة الخصائص العامة للنباتات تقدم فكرة أولية عن منظومتها الحياتية التي تكمن في المادة الحيوية Protoplasm (المسماة بقوة الحياة) لوحداتها البنيوية، وتتلخص هذه الخصائص بالنقاط الأساسية التالية:

- الأساس البنيوي الخلوي الدقيق المنتظم.
- تركيبها الكيميائي العضوي (روابط الـ C).
- التعضي Organization والطيف الحيوي Biological Spectrum.
- الأفعال البيولوجية (البيوكيميائية والفيزيولوجية)، منها:

1- التفاعلات الاستقلابية البيوكيميائية (الهدم والبناء).

2- تصنيع مصادر الاستقرار (الاستقلاب التركيبي Anabolism للغذاء).

3- إنتاج الطاقة الحيوية Bioenerg(الاستقلاب التفككي Catabolism).

4- – التنامي Development (النمو والتمايز الخلوي) والتطور Evolution.

5- – ظاهرة الـ Homeostasis الحفاظ على الوسط الداخلي.

6- – خاصية التجدد الذاتي Regeneration (الإنتاج الفردي).

7- خاصية الاستجابة للمؤثرات (الحس والحركة).

8- التفاعل المتبادل مع الوسط البيئي (التكييف التطوري).

9- استنفاذ مصادر الاستقرار (الشيخوخة والموت).

**أولاً– الأساس البنيوي الخلوي الدقيق المنتظم:**

إن حجر أساس هيكلية النباتات مهما بلغ مستوى تنظيمها (بسيط، معقد) تشكله وحدات بنيوية تركيبية جزيئية وظيفية غاية في الدقة (لا ترى بالعين المجردة) تدعى بالخلايا Cells(تعد اللبنة الأساسية). وكل خلية تضم تحت وحدات متباينة تركيبياً وبنيوياً ووظيفياً يطلق عليها بالمكتنفات (العضيات– بنى تحت خلوية) تعتبر مراكز النشاطات البيولوجية (الفيزيوبيوكيميائية) للأعضاء النباتية.

**Cell– إنكليزية مشتقة لاتينياً من Cello أي حجيرة**
**Cells– حجيرات دقيقة على قدر كبير من الانتظام والتناسق تمتلك مظاهر الحياة وتعد الأساس البنائي والوظيفي للكائن الحي**

**ثانياً– تركيبها الكيميائي العضوي (روابط الـ C):**

تجري داخل خلايا المتعضيات جملة مستمرة من الفعاليات تدعى بالتفاعلات البيوكيميائية نتاجها جزيئات لروابط الـ(C) وهذه الأخيرة تدخل في تركيب هيكلية النباتات وبنسبة عالية، منها:

- الكربوهيدرات Carbohydrates (أحادية، ثنائية، معقدة).
- البروتينات Proteins (البنائية والوظيفية).
- ليبيدات Lipids (الزيوت والدهون).
- الحموض النووية Nucleic Acids (الريبي والريبي منقوص الأوكسجين).
- الحموض العضوية Organic Acids (أمينية، دسمة).
- مواد عضوية أخرى (هرمونات، فيتامينات، أصبغة، مركبات طيارة).

**ثالثاً- التعضي Organization:**

هو النشوء التراتبي الذاتي لهيكلية النباتات وفق مستويات حيوية Biological levels متدرجة (من البسيط إلى المعقد) يطلق على مجملها بالطيف البيولوجي Biological Spectrum، المستويات هي:

- الذري Atom: أصغر جسيم للكتل المادية تمثله ذرات العناصر المعدنية.
- الجزيئي Molecule: ارتباط ذري لتكوين بنى أكثر تعقيداً (جزيئات كيميائية عضوية ومعدنية).
- العضيي Organelle: مكونات بنيوية (مكونات، مكتنفات) متخصصة كيميائياً وشكلياً ووظيفياً.
- الخلوي Cell: نتاج التنسيق البنيوي الوظيفي للعضيات لتكوين أصغر وحدة حية مستقلة (الخلية).
- النسيجي Tissue: زمر خلوية متمايزة من نمط خلوي واحد أو أكثر (بنيوياً ووظيفياً) تدعى النسج.
- العضوي Organ: تجمع نسيجي (مختلف ومتنوع) في أعضاء وظيفية.
- الجهازي System: أعضاء مختلفة تشترك في تشكل وحدات بنائية ووظيفية.
- الفردي Organism: تنظيم جهازي (عدة أجهزة) متناسق يكون وحدة تكامل المتعضي.

**رابعاً- الأفعال البيولوجية (النشاطات البيوكيميائية والفيزيولوجية):**

**العضيات الخلوية مركزاً للتفاعلات الاستقلابية البيوكيميائية (الهدم والبناء)**

**الاستقلاب Metabolism:** سلسلة تفاعلات بيوكيميائية معقدة يترافق معها تداول في الطاقة (إنتاج واستهلاك قدرة) تتحفز بوسائط عضوية انزيمية Enzymes. تتلخص التفاعلات الاستقلابية في عمليتين أساسيتين هما:

- ✓ تفاعلات الاستقلاب البنائي Anabolism

1- تمثيل العضويات البسيطة:

تتركب هذه المواد بدءً من مواد أولية بتفاعلات تحتاج لصرف قدرة تتم في الصانعات الخضراء بعملية فوتوفيزيولوجية بتوافر (طاقة ضوئية، $CO_2$ و$H_2O$)، وأول الروابط المتشكلة هو السكريات البسيطة ومنها تتمثل العضويات البسيطة الأخرى (حموض أمينية ودسمة ونيوكليدات).

2- تمثيل العضويات المعقدة:

تخضع العضويات البسيطة (سكريات أحادية، حموض أمينية ودسمة، نيوكليدات) للتكاثف Condensation لتبنى الجزيئات العضوية المعقدة (كربوهيدرات، بروتينات، ليبيدات، حموض نووية).

- ✓ تفاعلات الاستقلاب الهدمي Catabolism

a) تفكك العضويات

تفاعلات كسر الروابط العضوية (البسيطة والمعقدة) ليتم تحويلها إلى موادها الأولية ($CO_2$، $H_2O$) بأكسدتها بالـ($O_2$) وخلال ذلك يتم انتاج الطاقة الحيوية ضمن الميتاكوندري.

b) التحلل المائي للعضويات المعقدة

تتحلل العضويات المعقدة (كربوهيدرات، بروتينات، ليبيدات، حموض النووية) بألية الحلمهة Hydrolysis إلى وحداتها الأساسية (سكريات بسيطة، حموض أمينية، حموض دسمة، نيوكليدات).

**المكتنفات الخلوية مقراً للعمليات الفيزيولوجية (الوظائف الحيوية).**

من أهم النشاطات البيوفيزيولوجية للمتعضيات النباتية:

- التصنيع الذاتي للمغذيات العضوية.
- إنتاج الطاقة الكيميائية الحيوية.
- ظاهرة التنامي Development (النمو والتمايز الخلوي) والتطور Evolution.
- ظاهرة الـ Homeostasis (الحفاظ على الوسط الداخلي).
- خاصية التجدد الذاتي Regeneration (تزايد عددي للأفراد).

1- تصنيع المغذيات بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis.

وهو الاستقلاب التركيبي Anabolism أو التمثيلي Assimilation الذي يتحدد بالمسار (الألية) الذي يستخدمه المتعضي في الحصول على احتياجاته الغذائية (المادة والطاقة) من وسطه المحيط.

تعد النباتات الخضراء المتعضيات الوحيدة ذات مقدرة على التأمين الذاتي لروابطها الغذائية العضوية الضرورية، لذا دعيت بأحياء ذاتية الاغتذاء Autotrophs، منها:

- ذاتية الاغتذاء التمثيلي الضوئي Photosynthetic Autotrophs

تصنع غذائها بنفسها في عضية تخصصية (الكلوروبلاست) مستخدمة عناصر بيئية ($CO_2$ و $H_2O$ والفوتون الشمسي) وبمساهمة صباغ اليخضور Chlorophyll بألية فيزيولوجية تسمى بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis وفق العلاقة العامة التالية:

**فوتون شمسي (كوانتوم الضوء E)**

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{Chlorophyll}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

تنتمي إلى مجموعة متعضيات ذاتية التغذية:

- ✓ نباتات اليابسة (طحالب، اشنيات، حشائش، أعشاب، شجيرات، أشجار).
- ✓ نباتات المائية (عوالق وطافيات نباتية، اشنيات خضراء وأنواع نباتية مائية).

- ذاتية الاغتذاء التركيبي الكيميائي Chemosynthetic Autotrophs

قسم من الأحياء المجهرية (بكتيريا، أزوتية، بيضاء، حديدية، هيدروجينية) لها قدرة تصنيعية ذاتية للمغذياتها بعملية يطلق عليها التركيب الكيميائي مستخدمة طاقة بعض المعادن.

2- إنتاج الطاقة الكيميائية الحيوية:

وهي عملية تمثيل الفوسفات بهدف استخلاص الطاقة البيولوجية Bioenergy (ATP) من العضويات وإعادة موادها الأولية ($CO_2$ و $H_2O$). ويتم استخلاص الطاقة بالتنفس Respiration الهوائي واللاهوائي بطريقة الفسفرة التأكسدي Oxidative phosphorylation للعضويات (كربوهيدرات، بروتينات، ليبيدات ومواد عضوية أخرى).

فتتحرر طاقتها الكامنة في صورة الـ(Adenosine Triphosphate(ATP الذي يعتبر حامل الطاقة البيولوجية.

تحدث أكسدة العضويات في الميتاكوندري الخلوي وفقاً العلاقة العامة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow[\text{متقدرات(ميتاكوندري)}]{\text{بيئة هوائية}} 6CO_2 + 6H_2O + ATP$$

3- التنامي Development (نمو وتمايز) والتطور Evolution

i. **النمو النباتي Growth**

ظاهرة فيزيولوجية كمية حسابية، مفادها الزيادة اللاعكوسة في مقاييس (حجم وكتلة) الأعضاء النباتية الناتجة عن تضاعف عدد وحجم والكتلة البروتوبلازمية لوحداتها البنيوية (الخلايا).

إن نمو النباتات ناتج عن احتواء خلاياها على الـ Protoplasm، وتشذ الفيروسات (لا تعد وحدة حياة أساسية) عن الاحتواء البروتوبلازمي لذلك تمثل حالة وسطية بين الحي واللاحي.

**الفيروسات وحدات حية لأنها تقوم بالنشاطات الحيوية داخل جسم العائل. وليست متعضيات حية لعدم قدرتها على القيام بالنشاط التكاثري ذاتياً منفصلة عن العوائل، إلا أن قدرتها التطفلية تكسبها صفة الحيوية (نشطة في جسم العائل، وعاطلة خارجه)**

1- **التمايز النباتي Differentiation**

هي العملية التي تتحول فيها الخلايا النباتية غير المتخصصة إلى خلايا متخصصة، تختلف في شكلها وتركيبها ووظيفتها، لتؤدي وظائف محددة في النبات.

| |
|---|
| **تتضخم كتلة الـ Protoplasm، وفي الوقت نفسه تبدأ فيها عملية تكوين الزمر الخلوية المتخصصة (أنسجة) وانشاء أعضاء جديدة.** |

**2- التطور الفردي ontogeny(الانتقال المرحلي)**

تتابع جملة تغيرات كمية ونوعية تطرأ على النبات من بداية تشكله (اللاقحة) إلى استنفاذ مصادر استقراره (الشيخوخة والموت) في صورة انتقال مرحلي ترافقه تكوينات جديدة (أفرع وأوراق وجذور وأزهار وبالمحصلة تشكل المنظومة الإعاشية والزهرية) تعبر عن مراحله الفينولوجية.

| النمو | التمايز | التطور |
|---|---|---|
| **ظاهرة كمية قابلة للقياس في العدد والكتلة والحجم** | **ظاهرة تخصصية على مستوى الفيزيوبيوكيميائي** | **ظاهرة انتقالية مرحلية تجددية ناتجة عن النمو والتمايز** |
| **إن حصيلة النمو والتمايز والتطور هو الحلقة الحياتية النباتية Plant ontogenesis** | | |

4- ظاهرة الـ Homeostasis (الحفاظ على الوسط الداخلي)

إن إتمام دورة حياة النبات يحتاج إلى استقرار وسطه الخلوي والنسيجي (استقرار داخلي) للحفاظ على المعدل الطبيعي لنشاطاته البيولوجية تحت تأثير عوامل داخلية وخارجية **طبيعية أو منحرفة**. ومن بين طرق الاستقرار مبدأ الاستتباب Homeostasis الذي تحققه النباتات بالأليات التالية:

- إزالة الفعل التسممي المعدني: تشكل البلورات في بعض أعضاء النبات.
- ثبات الحركة المسامية: انفتاح وانغلاق الثغور الورقية لأجل التبادل الهوائي والمائي.
- سكون الـ Anabiosis: استعادة النشاط البيولوجي بعد إزالة العامل السلبي المؤثر.

**Homeostasis: إحدى خصائص الرئيسية للأحياء. وهي ظاهرة اتزان الوسط الداخلي (تنظيم البيئة الداخلية) للمتعضي بهدف الثبات والاستقرار كرد فعل على تأثير قوى داخلية أو خارجية**

5- خاصية التجدد الذاتي Regeneration

هي القدرة على الخلق الذاتي مجددا (إنتاج نسل جديدة) خلاله يجري نقل للمعلومات الوراثية من جيل إلى آخر بنشاط حيوي يدعى بالتكاثر Reproduction، منه:

- التكاثر الجنسي Sexual: يتم باندماج الأعراس الجنسية(n) لتكوين البيضة الملقحة(2n)، وفقاً للخطوات المتدرجة التالية:
  a) إنتاج العناصر الجنسية: الذكرية (حبوب اللقاح-n) والانثوية (بويضات- n).
  b) التلقيح أو التأبير: انتقال حبوب الطلع من المأبر إلى الميسم.
  c) الاخصاب المزدوج: تكوين اللاقحة Zygote(2n) والمخزن الغذائي (الاندوسبيرم- 3n)
  d) تكوين عناصر الإنتاج: بتنامي وتطور اللاقحة والسويداء تتشكل البذور وبالتالي المتعضي.
- التكاثر اللاجنسي Asexual: يحدث التكاثر اللاجنسي الانفصال الصناعي وفيه يتدخل النشاط العملي والعلمي للإنسان حيث يتم فصل جزء من الجهاز الإعاشي للنبات (ورقة، ساق، جذر، جنين البذرة، المحيطات الزهرية الجنسية) ثم تنميته:
  - ✓ مخبرياً: زراعة الخلايا والأنسجة النباتية في زجاجات.
  - ✓ حقلياً: التعقيل، الترقيد، التطعيم بالقلم والبرعم، الافتسال.

خامساً- خاصية الاستجابة للمؤثرات (الحس والحركة)

إن العناصر البيئية (فيزيائية، كيميائية، حيوية) تسبب تحسس تنبيهي للنبات (استفزازه وإثارته) مما يقوده إلى رد فعل (سلبي، ايجابي):

a) حركة المسامات الورقية:

يتحكم الضوء بالحركة المسامية (انغلاق، انفتاح) نتيجة تأثيره في تركيز الـ (K) بين خلايا الحارسة والبشرة، فبوجوده تفتح الثغور نتيجة تراكم الـ (K) في الخلايا الحارسة مما يرفع كل من ضغطها الاسموزي ثم الامتلائي، وعلى العكس في ظروف الإضاءة الضعيفة.

b) حركة Photonastic:

يؤثر الضوء في حركة أزهار بعض النباتات (انفتاح وانغلاق الأزهار) وأن فعل هذا العامل في الظاهرة الحركية يعتمد على تغير الكثافة الضوئية التي تتسلط على العضو النباتي وليس على اتجاه الضوء.

c) حركة البلاستيدات

تتجمع الكلوروبلاست موازية لمستوى الورقة بالضوء المنخفض ونحو جوانب الخلايا (تجنب الإضاءة المرتفعة) في الضوء المرتفع.

d) الانتحاء أو الانجذاب Tropism

تنتشر عند النباتات وتدعى بحركات النمو أيضاً: عبارة عن استجابة العضو النباتي كرد فعل على العامل البيئي المؤثر، لذا يبدي العضو:

- استجابة إيجابية: نمو العضو في اتجاه معين احادي باتجاه العامل المؤثر.
- استجابة سلبية: نمو العضو في اتجاه يعاكس اتجاه المؤثر.
- استجابة مائلة: انجذاب أرضي بين الموجب والسالب (أوراق وأفرع الجانبية).

**الانتحاء الشمسي– متابعة مسير الأشعة الشمسية على مدار اليوم من قبل أجزاء النبات (متابعة حركة سوق وأزهار عباد الشمس تبعاً لتغير الاتجاه الشمسي) ويعتقد السبب هو الكثافة الضوئية والارتفاع الحراري**

سادساً– التفاعل المتبادل مع الوسط البيئي (التكييف التطوري).

ليس بمقدور النباتات العيش مستقلة عن العناصر البيئية بل تجري أفعالها البيولوجية وفقاً لمكونات البيئة (نوعه وشدته ومدته)، وإن جملة صفاته (داخلية ومظهرية) ما هي إلا تعبيرا واضحا عن حالة التوافق (التأقلم) أو عدم التوافق (عدم التأقلم) بين عوامله الوراثية وعناصر البيئة السائدة.

**التأقلم (Adaptation):** قدرة النبات على التنامي والتطور الواضح تحت تأثير الظروف البيئية السائدة في (سيطرته على عناصر الوسط البيئي)، ويتحقق بالآليات التالية:

- الآلية الفيزيولوجية: تجري على المستوى الفردي ويسمى بالتأقلم الفيزيولوجي.
- الآلية الوراثية: تخص النوع النباتي والمستوى الوراثي لذا تدعى بالتأقلم الوراثي.

سابعاً– استنفاذ مصادر الاستقرار (الشيخوخة والموت).

أخر مرحلة من مراحل دورة حياة النبات مهما بلغ تنظيمه البيولوجي، فهو حصيلة استدراج برنامجه الوراثي بسبب التثبيط اللارجعي للفعاليات الفيزيوبيوكيميائية لوحداته البنيوية، التي تفقد كل مؤشراتها التركيبية والبنيوية الوظيفية وبالتالي فقد النبات كل ما يتميز به من خصائص فيصبح عديم النشاط والحياة (تثبيط الحيوية أي استنفاذ مصادر الاستقرار).

**تصنيف الأحياء النباتية (المتعضيات– الكائنات الحية)**

تقسم الكائنات الحية وفقاً لعدة **معايير**:

❖ وفقاً لعدد الوحدات الخلوية البنائية (عدد الخلايا)

1– الأحياء الدنيا (بسيطة البنية):

متعضيات بسيطة التنظيم الحيوي (تركيبياً وبنيوياً)، جسمها يتألف من:

- وحيدة العدد الخلوي (فيروس، أشنة كلاميدوموناس، فطور زقية، خميرة الخبز، بكتيريا).
- بسيطة العدد الخلوي (سبيروجيرا، فطريات، طحالب).

إن كل وحدة خلوية من خلايا هذه الأحياء تنجز كل الوظائف البيولوجية اللازمة لحياتها لأنها بحد ذاتها تمثل كائن حي مستقل كونها ارتقت إلى مستوى الفرد الكامل (وفق الطيف البيولوجي).

2- الأحياء الراقية (معقدة البنية):

متعضيات معقدة التنظيم البيولوجي (أنواع نباتية وحيوانية أكثر ارتقاءً من الأحياء الدنيا). بنيتها تتكون من مجاميع خلوية (عدد كبير من الخلايا المختلفة المتنوعة). وكل مجموعة خلوية تتمايز مورفولوجياً ووظيفياً لتشكل بنية متخصصة أكثر تعقيداً يطلق عليها النسيج Tissue وكل نسيج ينجز وظائف محددة.

- ❖ وفقاً لبنية الجهاز النووي للخلية (النواة، أي الذخيرة الوراثية DNA)
  - o متعضيات طلائعيات النوى Procaryotic organism

أحياء خلاياها لا نووية أي غير محددة النواة (جراثيم، طحالب زرقاء وبعض طحالب خضراء). ويعتقد أن هذه المتعضيات هي أول الأحياء التي ظهرت على الكوكب الأرضي.

  - o متعضيات حقيقيات النوى Eucaryotic organism

أحياء أكثر تنظيماً وتطوراً من سابقتها، خلاياها تمتلك نواة محددة حقيقية (الذخيرة الوراثية، DNA محاطة بغلاف). تدخل في هذه المجموعة كل النباتات والحيوانات الراقية.

**Prokaryo كلمة يونانية تتألف من:**

**- Pro تعني بدائي و Karyo معناها نواة**

**- يقف الطيف البيولوجي لهذه المتعضيات عند المستوى الخلوي**

**Eukaryo كلمة يونانية تتألف من قسمين:**

**- Eu تعني حقيقي و Karyo معناها نواة**

**- تتميز بتتابع في مستويات التنظيم الحيوي إلى المستوى الفردي (الطيف البيولوجي).**

# الفصل الثاني

**مدخل إلى علم الخلية Introduction to cytology**

**علم بيولوجيا الخلية Cell Biology**

**تاريخ اكتشاف وتطور الدراسات الخلوية**

- اكتشفت الخلية بعد اختراع الهولندي (1590) Jansen المجهر الضوئي المركب من عدستين.
- استطاع (1650) Lecuwenhok مشاهدة متعضيات أحياء أحادية الخلية.
- لوحظت ووصفت الخلية لأول مرة عند مشاهدة الباحث الإنكليزي (1664) Robert Hook ودراسته لمقاطع رقيقة من النسيج الفليني للنباتات. وقد بينت ملاحظاته باستخدام المجهر أن الجزء النباتي المدروس يتألف من حجيرات تأخذ أشكالاً هندسية تشبه التجاويف الفارغة التي تشكلها النحل وقد أطلق على هذه الفراغات بالخلية Cell (Cello كلمة لاتينية تعني حجرة أو غرفة). ولقد نشر في كتابه Micrography صوراً عن النسيج الفليني للنبات.
- قام الباحث جرو عام 1682 بدراسة تشريح بعض النسج النباتية.
- لاحظ العالم الإنكليزي (1831) Robert Brown خلال اهتمامه بدراسة الخلية النباتية أنها تحوي جسيم كروي سماه النواة.
- وخلال 1838–1839 ظهرت جهود علمية على بساط أبحاث علم الأحياء لعدد من الباحثين الألمان كالعالم M. Schleiden المهتم بالنباتات و T. Schwann المختص بالعالم الحيواني.

وحسب رأي الباحث الألماني Schleiden M. تتألف البنية النباتية من وحدات دقيقة جداً وهي الخلية التي تكونها العناصر التالية:

1- نواة 2- مادة تحيط بالنواة. 3- جدار سميك.

وأكد العالم الألماني Schwann T أن بنية الحيوانات تركبها خلايا أيضاً تتألف كل خلية من المكونات التالية:

1- نواة 2- مادة تحيط بالنواة. 3- غلاف رقيق.

**النظرية الخلوية Cell Theory**

قدما T. Schwann و M. Schleiden في عام 1838-1839 نظرية في علم البيولوجيا سميت بالنظرية الخلوية Cell Theory التي تعد إحدى الركائز والنظريات الأساسية في تاريخ البيولوجيا.

**جوهر النظرية الخلوية**

يؤكد جوهر هذه النظرية إن الخلية هي الوحدة الأساسية الصغرى لهيكلية الكائن الحي والقائمة بذاتها من الناحية البنيوية والتركيبية والوظيفية، والتي يمكنها أن تنجز كل المظاهر في أجسام الكائنات الحية ما عدا الفيروسات الضرورية لبقاء واستمرارية المتعضيات على قيد الحياة. تعتبر النظرية الخلوية نظرية عامة تنطبق على كل الأحياء البسيطة والمعقدة (نباتية، حيوانية).

**يتكون المتعضي الراقي من ملايين الخلايا لا تدركها حواسنا ولولا اختراع المجهر لتعقد الكشف عن أسرارها المبهرة نظراً لدقة بنيتها.**

**أسس النظرية الخلوية**

a) الخلية أصغر وحدة بنائية يتألف منها جسم كل كائن حي سواء كان بسيط (خلية واحدة، اميبيا، بكتيريا) أو معقد (عديد الخلايا،انسان، حيوان، نبات).

b) تعد الخلية وحدة النشاط البيولوجي الوظيفي، حيث حياة الأحياء مرتبطة بها كونها:

- ✓ تنشأ الخلايا من خلايا سابقة وتتزايد (تتكاثر) بالانقسامات لتعطي مجموع خلوي لاحق، وبعض الكائنات الحية تكون خلايا جنسية متخصصة (بويضات، منويات) لها القدرة على الاندماج لتكوين كائن حي جديد. الخلايا لا تتولد تلقائياً.
- ✓ تحدث داخلها تفاعلات كيميائية

تتمثل بعملية الاستقلاب (استقلاب بنائي،إنتاج مركبات عضوية متنوعة، واستقلاب هدمي يهدف إلى تأمين طاقة ضرورية للنشاطات الأخرى).

- ✓ تقوم بظواهر فيزيائية

وهي ظواهر تتمثل بالامتصاص والتشرب واقتناص الأشعة الضوئية.

- ✓ تنجز عمليات بيوفيزيولوجية

نتيجة للنشاطات الفيزياكيميائية تحدث مكوناتها عمليات حيوية (تنفس، هضم، اطراح، تركيب ضوئي، انقسام).

- ✓ احتواءها على المادة الوراثية (الأحماض النووية DNA, RNA) يقود إلى انتقال الصفات الابوية إلى البنوية ويضمن استمرار النوع من جيل إلى آخر.

c) تتشابه الخلايا بشكل عام في تركيبها ومكوناتها الأساسية، ومن ناحية أخرى تتباين وفقاً لمكان توضعها والوظيفة الموكلة إليها.

**من أهم العناصر الأساسية المشتركة بين الخلايا هو احتوائها على حموض نووية من خلالها تحدث عملية نقل المعلومات لجميع الخلايا المستحدثة.**

d) تشكل الخلية وحدة متكاملة مع الوسط البيئي وتتنظم ذاتياً وتتأقلم معه. إن الخلية من حيث المبدأ هي منظومة كيميائية ذاتية الديمومة مفصولة فيزيائياً عن وسطها المحيط، إلا أنها قادرة على التبادل معه وذلك للحصول على متطلباتها وطرح الفضلات وذلك للحفاظ على استمراريتها وثباتها.

**وفقاً للعدد والبناء الخلوي تقسم المتعضيات إلى:**

**1- كائنات بسيطة التنظيم البنائي:**

كائنات أولية وحيدة الخلية وعديدة الخلايا يقتصر تركيبها على عدد خلوي محدود (مستعمرة طحلب باندورينا من الطحالب الخضراء، ويتكون من 16 خلية فقط). يتوقف طيفها البيولوجي عند مستوى التنظيم الحيوي الخلوي (بدأً من الذري–الجزيئي حتى المستوى الخلوي) الذي يمنح للكائن الحي صفة الاستقلالية في نموه وتطوره، يعد متعضي لأنه متكامل الخصائص.

**2- كائنات معقدة التنظيم البنائي:**

بنيتها تتألف من عدد خلوي لدرجة يصعب تحديده بدقة (النباتات والحيوانات الراقية)، فلكي تبلغ هذه المتعضيات المستوى الفرد الذاتي (الكامل المستقل) والقادر على استمرارية النمو Growth والتطور Development والتوالد الشكلي (المظهري) Morphogenesis والتي من خلالها (الفعاليات الثلاث) تحدث تخصصات وظيفية، فلا بد لهذه الكائنات الحية عبور جميع مستويات التنظيم البيولوجي بدأً من الذري–الجزيئي حتى مستوى الفردي الذاتي.

**أي كائن حي مهما كبر حجمه قد نشأ في وقت ما من خلية واحدة هي اللاقحة Zygote التي تتطور إلى جنين وبانقسامات هذا الأخير وتناميه وتطوره يتشكل المتعضي الفردي الذاتي الكامل المستقل.**

- اثبت الباحث Verchow في عام 1855 التوالد الخلوي الذاتي (خلية تنشأ من خلية) بالانقسام الخلوي.
- في عام 1840 أطلق Purkinje على الكتلة الداخلية للخلية بالبروتوبلازم Protoplasm.

- في عام 1846 سمى Mohl المحتوى الخلوي بالبروتوبلازم Protoplasm، والـ Cytoplasm على محتوى الخلية دون النواة.
- بين 1850–1870 استخدمت الملونات في الدراسات الخلوية والنسيجية، مثل ملون أحمر الكارمن.
- اكتشفت الصبغيات على يد الألماني Walter Fleming (1879)
- تتالت اكتشاف مكونات الخلية (المكتنفات الخلوية) بين عام 1880–1890 وسميت بالكروماتين، وبعد ذلك بفترة اكتشف الانقسام الميتوزي غير المباشر.
- في عام 1885 عرف الانقسام الاختزالي Meiosis من قبل Eduooard Von Benden.
- خلال 1887–1900 بدء تحسين المجاهر وتطوير الدراسات والبحث في الخلية بالمثبتات والملونات والمقاطع.
- في عام 1930 اكتشف المجهر الالكتروني وشاع استخدامه في دراسات علم الحياة في عام 1946 كشف النقاب عن بنى خلوية أكثر تفصيلاً.

منذ تطور صناعة المجاهر قفزت الدراسات عن الخلية قفزة كبيرة، وخاصة بعد استخدام مجاهر الأشعة فوق البنفسجية والالكترونية، ولم تقتصر دراسة الخلية على المشاهدة المجهرية فقط، بل تعدت إلى طرق فصل مكتنفاتها والبحث فيها من خلال الطرق الكيميائية والفيزيائية والفيزيولوجية.

**علم الخلية Cytology**

هو أحد فروع علم الأحياء. بشكل عام يهتم علم الخلية بالبحث في دراسة المورفولوجيا الخارجية والمورفولوجيا الداخلية لخلايا التنوع الحيوي البسيط والراقي.

من خلال التقنيات المستخدمة في دراسة الخلية أدى التعمق في هذه الأبحاث على المستوى الفيزيائي والكيميائي للمادة الحية، وقد تعدى ذلك إلى دراسة بيوكيميائية وفيزيولوجية لمكوناتها (العضيات الخلوية Organelles)، الأمر الذي أدى إلى نشوء فرع مشتق من علم حياة الأحياء أطلق عليه بيولوجيا الخلية Cell Biology الذي يعد احد

الفروع الفتية لعلم البيولوجيا العامة، حيث يتناول دراسة بنية وتركيب وموضع ووظيفة المكونات الخلوية Organelles ودورها في وحدة الخلية وبالتالي الحصول على فهم وادراك أفضل للمتعضيات على المستوى الخلوي.

**طرق عزل الخلايا**

منذ عام 1812 أمكن العلماء عزل الخلايا النباتية من أنسجتها بالطرق التالية:

- بالماء (تم العزل من قبل مولد نهاور).
- بالطبخ (تم عزلها من قبل لينك).
- بحمض الأزوت (طريقة ديتروشيه).

**حجم الخلايا النباتية وشكلها**

تختلف الخلايا من حيث الشكل والحجم والوظيفة. تقاس أبعادها بوحدة النانومتر والميكرومتر. تبدو الخلايا في ساحة المجهر صغيرة جداً وتأخذ شكل نقطي مثل خلايا البكتيريا (أقل من الميكرون)، وهناك بعض الخلايا تصل أبعادها أكثر من 10 وتصل إلى 100 ميكرون (ألياف بعض الأنواع) وحتى عدة ميليمترات (خلايا الساق الدرنية للبطاطا، أوبار القطن، ألياف القنب والكتان، ثمار البندورة والليمون).

تعد خلايا نبات الرامي المستخدم في صناعة الاقمشة والمنسوجات والحبال وبعض المنتجات الصناعية (نباتات الألياف الاستوائية) من أكبر الخلايا النباتية حجماً، بينما خلايا طلائعيات النوى (الجراثيم) أصغرها حجماً.

تتميز الخلايا النباتية بشكل عام بالشكل المضلع الرباعي والسداسي والثماني، إلا أنه تمتلك خلايا أجزاء النباتات بعض الأشكال الهندسية الأخرى، منها:

- كلوية الشكل: كخلايا الحارسة لأوراق النباتات.
- كروية أو بيضوية: عند كائنات وحيدة الخلية وخلايا النسيج اللحمي لثمرة البندورة.
- مضلعة منتظمة وغير منتظمة: كخلايا النسيج البارنشيمي والكولانشيمي والسيكلرنشيمي.
- مستطيلة المظهر: خلايا البشرة الداخلية لحرشفة البصل وبشرة الأوراق والخلايا البارنشيمية.

- مغزلية الشكل: مثل خلايا الألياف.
- نجمية الشكل: كخلايا البارنشيم النخاعي.

# الفصل الثالث

**كيمياء الخلية النباتية**

**التركيب الكيميائي للمادة الحية النباتية**

**مفهوم المادة الحية النباتية Protoplasm**

هي نظام معقد من حيث البنية والتركيب، تمثله البروتوبلازم Protoplasm عند جميع خلايا المتعضيات النباتية (بدائيات النواة وحقيقيات النواة). يبدو البروتوبلازم كسائل شبه هلامي لزج يملأ جوف الخلية ويوفر الظروف الملائمة للنشاطات الكيميائية (درجة حموضة، شوارد معدنية) والفيزيائية (مرونة، لزوجة) والفيزيولوجية (وظائف حيوية) وتغيراتها.

**صفات المادة الحية**

- **تركيبها الكيميائي الذري–الجزيئي**

الوحدة الأساسية لبناء المادة الحية عند جميع الأحياء (Prokaryote وEukaryote) هي الذرات التي تترتب في روابط كيميائية منظمة تدعى الجزيئات، منها:

1- مركبات معدنية (منخفضة النسبة): الجزيئات اللاعضوية (الماء، الأملاح، الحموض، الأسس).

2- مركبات عضوية (عالية النسبة): عبارة عن مركبات الكربون البسيطة والمعقدة:

– روابط عضوية بسيطة: وهي ذات أوزان جزيئية صغيرة (سكريات أحادية وثنائية، أحماض أمينية، أحماض دهنية)، تترتب هذه الجزيئات لتشكل وحدات عضوية معقدة.

– مركبات عضوية معقدة: أوزانها الجزيئية ضخمة (الأحماض النووية، السكريات العديدة، البروتينات).

- **المنظومة البنيوية المعقدة**

يتألف أساسها البنيوي من جسيمات تسمى العضيات (مكتنفات، بنى خلوية تعد مركز الوظائف البيولوجية)، تتمتع ببنية غاية في الدقة وبتناسق داخلي دقيق ومنتظم فيما بينها بحيث تعمل كوحدة متكاملة خلال الدورة الحياتية للخلية.

- **التجدد الذاتي Regeneration**

من أهم مميزات المادة الحية خاصية التجدد التي تتم بفضل التكاثر الجنسي واللاجنسي.

- **التفاعل المتبادل مع الوسط البيئي**

تتفاعل الـ Protoplasm بقدرة عالية مع عوامل الوسط المحيط وبهذا التفاعل تحصل على موادها الأولية والطاقة (استخلاص الطاقة) لتساهم في إنجاز نشاطاتها الحيوية (الفيزيوبيوكيميائية) وبنتيجة هذا التفاعل يتم بينها وبين الوسط البيئي تبادل للمادة والطاقة.

**أقسام المحتوى الفيزياكيميائي للخلايا النباتية**

تتركب الخلايا النباتية فيزيا كيميائياً من مكونين أساسين، وهما:

1– المكون السائل: ويمثلها الماء الذي تبلغ نسبته بين 15–90 %.

2– المكون الصلب: تصل نسبتها ما بين 5-90 %، وهي عبارة عن مكونات لا مائية عضوية ومعدنية.

**تختلف نسبة هذين المكونين في الخلايا والنسج النباتية تبعاً لعدة عوامل:**

a– نوع النبات وأصنافه وخصائصه. b– مرحلة نمو النبات (عمر النبات).

c– العضو النباتي (نوع النسيج).  d– الحالة الفيزيولوجية للنبات.

أظهرت دراسات المزارع المائية التي أجراها كل من Knop وSachs والتحليل الكيميائي للنبات أن الخلايا والنسج النباتية تتركب من مواد كيميائية متعددة منها البسيط والبعض الآخر معقد، تنشأ من اتحاد عناصر معدنية بنسب مختلفة، عدد العناصر الكيميائية في الطبيعة 103 عنصراً، وبنتيجة التحليل الكيميائي أثبت أن عدد هذه العناصر التي تم اكتشافها في الخلايا والنسج النباتية يتراوح بين (22–27) عنصراً، (16) تحتويها جميع النباتات و(11) عند البعض منها.

**الكشف عن المكونيين الأساسيين (السائل والجاف) للنسج النباتية:**

**1– عملية التجفيف**

إن الهدف من هذه العملية هو الحصول على المادة الجافة النباتية (المركبات اللامائية)، وذلك بعملية تجفيف النسج النباتية على (105 مْ) درجة مئوية ضمن مجفف ولعدة مرات حتى ثبات الوزن. وخلال عملية التجفيف يتم التخلص من إحدى صور الماء (الماء الحر).

**2– عملية الترميد**

الترميد عبارة عن عملية الحصول على الرماد، ويتم ذلك بحرق المادة النباتية في فرن (مرمدة) على درجة حرارة عالية تصل إلى (600 مْ) درجة مئوية.

بعملية الحرق تتخلص المجاميع الخلوية (النسيج) من الصور الأخرى للماء (الماء المرتبط أو المقيد)، وفي الوقت نفسه تتأكسد الروابط العضوية وفي نهاية الأمر يبقى الرماد (مجموعة عناصر معدنية).

**خلال عملية الترميد تجري الظواهر التالية:**

- تطاير عناصر كيميائية

العناصر المتطايرة هي الـ C, H, O التي تتطاير على شكل غازات نتيجة أكسدة الروابط العضوية البسيطة والمعقدة بعملية الحرق، ويضاف إلى ذلك تطاير عنصر (N– المشارك في تكوين المركبات العضوية الأزوتية).

ولقد بينت التحاليل أن نسبة الـ C, H, O معاً في كتلة المادة الجافة النباتية (90 % من الوزن الجاف) ومع عنصر الأزوت تصل إلى (95 %).

إن مصدر هذه الغازات في النسج النباتية هو:

- ✓ $H_2O$ التربة الزراعية الممتص بواسطة الجذور بالنسبة لـ H.
- ✓ الماء الممتص من التربة والهواء الجوي يعدان مصدر لـ O.
- ✓ يتأمن لـ C من أحد مكونات الهواء (غاز $CO_2$).
- ✓ بالنسبة لـ N مصدره الرئيس هو الهواء الجوي (بالنسبة للبقوليات التي تقوم بعملية تثبيت الأزوت الجوي)، بينما أزوت التربة فيستمد من المركبات العضوية بعد ان تتحلل من قبل الأحياء الدقيقة.
  - o تراكم عناصر كيميائية

بعد عملية تطاير الـ C, H, O, N (نواتج التأكسد بعملية الحرق) تتراكم عناصر كيميائية معدنية وشبه معدنية التي تكون رماد النسيج النباتي (المجاميع الخلوية).

**المركبات الكيميائية في الخلايا والنسج النباتية**

**تقسم المركبات الكيميائية في الخلايا النباتية إلى:**

أولاً– مركبات لا عضوية (الماء، الغازات، الاملاح، الحموض، الأسس).

ثانياً– مركبات عضوية (كربوهيدرات، بروتينات، ليبيدات، احماض نووية، مواد عضوية أخرى).

**أولاً– المركبات اللاعضوية (المواد المعدنية)**

عبارة عن مواد كيميائية في صورة جزيئات لا عضوية، تدخل في تركيب بنية الخلية والنسج النباتية وتلعب دوراً مهماً في نموها وتطورها.

تدخل ضمن مجموعة المواد اللاعضوية المركبات التالية:

- الماء. - الأملاح المعدنية.
- الغازات. - الحموض والأسس.

**☒ الماء ($H_2O$)**

الماء من أهم المواد التي تدخل في تركيب الخلايا النباتية وأكثر المكونات اللاعضوية وجوداً فيها، حيث يعد العنصر الرئيس الذي لا تقوم بدونه المنظومة الحيوية (من ضمنها المتعضيات النباتية).

تتراوح نسبته في الخلايا والنسج النباتية بين (15–90 % من كتلتها)، حسب عدة عوامل من أهمها **العضو النباتي:**

- أنسجة الأوراق والثمار العصيرية (70–90 % من كتلتها).
- خلايا الجذور (70–75 % من كتلتها).
- الحبوب والبذور الجافة والأشواك تقع بين (5-12 % من كتلتها).
- في الخلايا البرانشيمية تقارب (90–95 % من كتلتها) وأقل من ذلك في النسج المتصمغة والمتخشبة.

**الكتلة البيولوجية للخلايا والأنسجة النباتية**

تتسم الخلايا والنسج النباتية بالعلاقة مع الرطوبة بنوعين من الوزن الحيوي:

1- الوزن البيولوجي الرطب: Fresh Weight (FW)

وهو الكتلة النباتية الغضة التي تحتوي على نسبة عالية من الماء. تتضمن هذه الكتلة كل صور الماء (الحر والمرتبط) والمركبات العضوية واللاعضوية.

2- الوزن البيولوجي الجاف: Dry Weight(DW)

وهو وزن المادة النباتية (الخلايا والنسج) بعد إزالة الماء الحر مع الاحتفاظ على الماء المرتبط مع الروابط العضوية والمعدنية.

**يتم الحصول على الوزن:**
**- الجاف بعد تجفيفه المجاميع الخلوية على درجة حرارة(105مْ).**
**- الرماد بعد حرق المادة النباتية على درجة حرارة تصل(600م).**

**صور الماء في الخلايا والنسج النباتية**

a- **الماء الحر (السائب) نسبته 90 %:** وهو ماء العصارة الخلوية المتحرك بين العضيات الخلوية. يتسم بالخصائص التالية:

1- تحل فيه بعض المركبات العضوية واللاعضوية.

2- يتوسط تفاعلات الاستقلاب (الهدم والبناء).

3- يظهر الخصائص الفيزيائية الطبيعية (التبخر والتجمد والانتشار).

4- يمكن استخلاصه بالتجفيف (غير مرتبط).

b- **الماء المقيد (المرتبط) نسبته 5 %:** وهو الماء التركيبي للمادة الحية المرتبط بجزيئات الروابط العضوية (كالبروتين). يتمتع الماء المرتبط بالصفات التالية:

1- لا يعد محل للمركبات العضوية واللاعضوية.

2- لا يتوسط تفاعلات الاستقلاب، بل يرتبط بالمركبات العضوية مع الزمرة الكحولية والأمينية والكربوكسيلية بروابط هيدروجينية.

3- لا تبدو هذه الصورة المائية الخصائص الفيزيائية الطبيعية (التبخر والتجمد والانتشار).

4- ولا يمكن استخلاصه بالتجفيف كونه مرتبط بقوة بالجزيئات.

**صور الماء في النبات:**

1- ماء التكوين: وهو الماء الذي يدخل في تكوين الخلايا والنسج التي تكون الأعضاء النباتية.

2- ماء النمو: الماء المار بالخلايا المكونة للنسج الناقلة ويتجدد باستمرار حاملاً المركبات الغذائية.

**الأهمية البيولوجية للماء بالنسبة للخلايا والأنسجة النباتية**

تعود الأهمية البيولوجية للماء في حياة الخلايا والنسج النباتية لأدواره الفيزيائية والكيميائية والوظيفية **التالية:**

1- مكون بناء رئيسي يدخل في تركيب جميع المكتنفات الخلوية (مكونات المادة الحية).

2- مساهم في احتفاظ الأنسجة بقوامها (يتركز الماء في الفجوة المركزية).

3- مذيب لبعض المركبات المعدنية والعضوية.

4- وسط ملائم للتفاعلات الاستقلابية البروتوبلازمية (تفاعلات بيوكيميائية، الهدم والبناء).

5- عنصر أساسي للعمليات الفيزيولوجية (الوظيفية):

- نمو الخلايا بالاستطالة (يرفع ضغط امتلاء الخلوي).
- جريان عملية التمثيل الضوئي والتنفس.
- انفتاح وانغلاق المسامات الورقية (حركة الخلايا الحارسة).
- نقل الغذاء (محاليل النسغ الناقص والكامل) وطرح الفضلات من وإلى الخلايا.
- العنصر البيئي الرئيس في نقل الأعضاء النباتية من الحياة البطيئة إلى النشطة.

**القوى المسببة لدخول الماء إلى الخلايا**

- قوة التشرب: جدار الخلايا من نوع الغرويات ذات القدرة العالية على تشرب بالماء (أليفة للماء).
- القوة الاسموزية: ينتقل الماء إلى الخلايا طبقاً للقوة الاسموزية الأعلى.

☒ **العناصر المعدنية والأملاح**

**نسبة المحتوى الرمادي في الخلايا والنسج النباتية:**

تشكل نسبة الرماد في أنسجة الأجزاء النباتية المختلف بالنسبة لكتلتها الجافة ما يلي:

1- تشكل نسبة الرماد في السوق والجذور (4–5 %).

2- محتوى البذور من الرماد (3 %).

3- في النسج الخشبية تبلغ كمية الرماد (1 %).

**المحتوى المعدني للرماد في الخلايا والنسج النباتية**

يتركب رماد النبات (خلاياه نسجه) من عناصر معدنية تستمدها جذوره من محلول التربة الزراعية (النسغ الناقص)، وتتحدد ضرورة هذه المعادن تبعاً للكمية التي يحتاجها النبات من أجل نمو وتطور خلاياه.

**تقسيم عناصر التغذية المعدنية**

تقسم العناصر المعدنية التي تحتاجها خلايا وأنسجة النبات إلى عناصر أساسية ولا أساسية:

**اولاً– عناصر معدنية أساسية Essential Elements**

- **المغذيات الكبرى Macroelements**

مجموعة عناصر تحتاجها الخلايا بكميات كبيرة (منغيزيوم، كالسيوم، كبريت، فسفور، بوتاسيوم، أزوت، أوكسجين، هيدروجين، كربون، حديد)، ولهذا السبب تدعى بالعناصر الكبرى التي لا غنى عنها (لا تعوض) كونها ضرورية جداً لتنامي الخلايا والنسج النباتية.

- **المغذيات الصغرى Microelements**

تسمى العناصر الصغرى (منغنيز، نحاس، زنك، بورون، موليبديوم)، وهي عناصر معدنية ضرورية لا غنى عنها ولكن تحتاجها الخلايا النباتية بكميات صغيرة، وفي حال وجودها في النسج النباتية بتراكيز عالية تعد عوامل سامة.

**ثانياً- عناصر معدنية لا أساسية Non -essential Elements**

تدخل هذه العناصر في تركيب المادة الجافة لأنسجة وخلايا بعض الأنواع النباتية (ألمنيوم، كوبالت، صوديوم، كروم، بروم، يود، فلور).

تمتص العناصر المعدنية من قبل جذور النباتات في صورة شوارد لأملاح معدنية متأينة حرة (ذات قدرة تشردية)، وتتواجد في الخلايا والنسج النباتية على نفس الصورة بالإضافة إلى بعض العناصر التي كانت مرتبطة مع المركبات العضوية.

وقد توجد الأملاح داخل الخلايا على شكل شاردي أو لا شاردي، والشوارد قد توجد بصورة حرة أو مرتبطة مع جزيئات عضوية.

إن أغلب الأملاح في الخلايا النباتية تكون منحلة في الماء، والبعض منها في حال تراكمها لها فعل سلبي على الخلايا والنسج النباتية، لذلك تعمد هذه الأخيرة على ترسبها في شكل بلورات لتفقد سميتها.

تأخذ أشكال مختلفة وتتركب كيميائياً من أملاح لاحماض معدنية (بلورات من ملح فحمات الكالسيوم) والبعض الآخر من أملاح لحموض عضوية (بلورات من ملح أوكزلات الكالسيوم).

يعد تكوين البلورات صفة تتميز بها كيمياء الخلايا النباتية عن الحيوانية من حيث حالة الأملاح التي تكون فيه الأملاح بشكل منحل. **ومن أهم هذه الأشكال البلورية ما يلي:**

a) **البلورات العنقودية:**

كما في ورقة نبات تين المطاط، التي تتميز بتركيب كيميائي مؤلف من ملح $CaCO_3$.

b) **البلورات الإبرية والمعينية:**

تظهر هذه الأشكال في خلايا ورقة وساق نبات المكحلة وتتركب من ملح أوكزالات الكالسيوم.

**c) البلورات العصوية:**

تصادف في خلايا الورقة الحرشفية لنبات البصل وتتركب كيميائياً من ملح أوكزالات الكالسيوم.

**البلورات عبارة عن مركبات كيميائية ثانوية ناتجة عن الاستقلاب الغذائي (تفاعل المركبات مع بعضها). تتجمع البلورات في خلايا خاصة بهدف إزالة التأثير غير الملائم للأملاح المتراكمة التي لا تدخل في التمثيل الغذائي.**

**أهمية العناصر المعدنية للخلايا والنسج النباتية:**

1- تعد أحد مكونات الخلايا والأنسجة، حيث يدخل:

- (P): تكوين البروتينات والحموض النووية.
- (Fe): في السيتوكروم.
- (Cu) و (Zn): في الانزيمات.
- (Mg): في الكلوروفيل.
- (C) و (H) و (O): في العضويات (سكر، بروتين، دهن).

2- تنظم التراكيز الاسموزية داخل الخلايا، حيث تعد أحد العوامل المسببة في رفع وخفض الجهد الاسموزي للعصير الخلوي.

3- تعتبر عوامل مساعدة للتفاعلات البيوكيميائية.

4- تنشط بعض الظواهر الفيزيولوجية.

**☒ الغازات**

لا تعد الغازات من مكونات الخلية (لا تدخل في تركيب المادة الحية بشكل مباشر)، ولكنها تلعب دوراً فيزيولوجياً حيوياً مهماً في نشاطات الخلايا والأنسجة النباتية. يصادف تواجدها عادة بين الخلايا وأحياناً داخلها، ومن أهم الغازات مايلي:

- **غاز ثاني أوكسيد الكربون ($CO_2$)**

ضرورته تكمن في المشاركة بتصنيع الروابط الكيميائية العضوية الخاصة بعملية التركيب الضوئي التي يتم من خلالها إرجاع هذا الغاز بالهيدروجين المنشطر من الماء ($H_2O$- Photolysis التحلل الضوئي للماء).

- **غاز الأوكسجين (O)**

مهم جداً في حياة الخلايا وذلك من أجل تامين الطاقة الكيميائية الحيوية (ATP- المخزنة في الروابط العضوية)، التي تحتاجها الخلايا بغية إنجاز نشاطاتها البيولوجية. ويتم تامين الـ ATP خلال أكسدة الأوكسجين للمركبات العضوية المختلفة بعملية الاستقلاب التنفسي. بالإضافة إلى ذلك يتحد غاز الـ O بالكربون لتكوين غاز الـ $CO_2$ المستخدم في عملية التركيب الضوئي.

- **غاز النتروجين (N)**

يعد هذا الغاز من أهم العناصر الكيميائية المغذية للخلايا والنسج النباتية، إلا أن الغاز الجوي لا يستخدم بشكل مباشر من قبل الأحياء النباتية باستثناء بعض أنواع الطحالب والفطريات. تحصل الخلايا النباتية على غاز الأزوت من أحد المصادر **التالية:**

- من الجو وذلك بتثبيته بالبكتيريا الأزوتية النامية في العقد الجذرية لبعض النباتات (الأنواع البقولية).
- من خلال تحلل المركبات العضوية في التربة الزراعية بواسطة الأحياء الدقيقة.

☒ **الحموض والأسس**

تحتوي الخلايا النباتية على شوارد معدنية ضرورية لتركيب الحموض والأسس، **مثل:**

- الكلوريك HCl، النتريك $HNO_3$، الكربونيك $H_2CO_3$، الكبريتيك $H_2SO_4$، الفوسفوريك $H_3PO_4$.
- ماءات ( $Ca(OH)_2$، KOH، NaOH ا، $NH_4OH$ ا، $Mg(OH)_2$ ).

تقدر الحموضة والقلوية باستخدام مقياس الحموضة (pH –metre، يعطي العدد النسبي لشوارد H غ / ل في حال حموضة، وشوارد OH في حال قلوية. وتظهر النتيجة على شكل رقم يدل على درجة الحموضة والقلوية.

تتراوح درجات الحموضة والقلوية بين (0–14)، وهنا يمثل الصفر أشد حالات المحاليل حموضةً والرقم أربع عشر أشد قلوية.

**ثانياً– المركبات العضوية (روابط الـ C)Organic Molecules الجزيئات العضوية**

تعد المواد العضوية أكثر تعقيداً من اللاعضوية التي تتشكل منها الجزيئات العضوية وخاصة (C, H, O بالإضافة إلى N وP وs وغيرها، والعنصر الرئيس في الجزيئات العضوية هو الـ C حيث ترتبط ذرات الكربون مع بعضها مشكلة الهيكل الكربوني Carbon Skeleton).

**المركبات العضوية:** روابط بيولوجية كيميائية أكثر تعقيداً من الناحية التركيبية والبنائية مقارنة بالجزيئات المعدنية، تمثلها سلاسل كربونية (روابط عضوية)، التي تؤلف قسماً كبيراً من المادة الجافة (الكتلة الحيوية، حصيلة عملية التمثيل الضوئي)، وتختلف هذه المركبات من حيث الوزن الجزيئي فمنها:

- أوزانها الجزيئية صغيرة Micromolecules تدعى بالمونومير Monomeres أحادية الوحدة كالسكريات البسيطة والحموض الأمينية والدسمة وغيرها.
- أوزانها الجزيئية كبيرة Macromolecules تسمى بالبوليمير Polymeres وهي الجزيئات العملاقة كالبروتينات والليبيدات والحموض النووية التي يكونها تكرار من المونوميرات (متعددة الوحدات)، أي هي جزيئات بيولوجية ذات وزن جزيئي كبير تبنى من عدد كبير من الوحدات البنائية.

**أنواع الروابط العضوية للمادة الحية النباتية**

بشكل عام هناك عدد من المركبات العضوية المختلفة والمتنوعة والبسيطة والمعقدة تدخل في تركيب الخلية النباتية، إلا أن الرئيسية منها هي أربعة مواد:

1- المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates (ماء الفحم أو الكربون).

2- المركبات البروتينية Proteins.

3- الروابط الليبيدية Lipids.

4- الأحماض النووية Nucleic Acid.

5- عضويات متنوعة (إنزيمات، حموض عضوية، هرمونات، أصبغة، فيتامينات).

**خصائص روابط عنصر الكربون (العضويات)**

☒ عناصر تتركب كيمائياً من ارتباط العناصر المعدنية التالية:

- ✓ العناصر الأساسية: هي ذرات الـ (C, H, O) لكل العضويات.
- ✓ العناصر اللاأساسية: هي (P, S, N) تحتويها البعض الآخر.

☒ ميكانيكة بناء العضويات

تتشكل الجزيئات الكبيرة ويتم بناءها بألية التكثيف Condensation، ويتم ذلك بارتباط عدد من وحداتها البنائية مع بعضها البعض بعملية إزالة جزيئات الـ $H_2O$ منها وتحت اشراف مركبات عضوية نوعية (وسائط تخصصية) تسمى الإنزيمات Enzymes- محفزات انزيمية نوعية.

☒ ميكانيكية تحلل العضويات

تتحول الروابط المعقدة إلى وحداتها البنائية الأساسية (حجر الأساس) في وسط مائي بمساهمة إنزيمية نوعية، تسمى هذه العملية التحلل المائي (الحلمهة Hydrolysis).

**التصنيع البيولوجي للمركبات العضوية داخل الخلايا**

- عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis

أثناء هذه العملية يتم تركيب مركب عضوي أولي (سكر العنب– غلوكوز) في الخلية النباتية من ($H_2O$, $CO_2$)، ومن ثم بسلسلة من تفاعلات بيوكيميائية انزيمية تتكون روابط عضوية متنوعة (سكريات ثنائية ومعقدة، ليبيدات، بروتينات، روابط عضوية أخرى).

- العمليات الاستقلابية Metabolism:

– عملية الهدم Catabolism (إنتاج وحدات بنائية من الروابط العضوية المعقدة).

– عملية البناء Anabolism (ارتباط الوحدات بعملية التكثيف).

**الأهمية البيولوجية للعضويات في الخلايا النباتية**

1– الأهمية البنائية: مكونات تركيبية بنائية للمكتنفات الخلوية وخاصة الأغشية البيولوجية.

2– الأهمية الفيزيولوجية وذلك عن طريق:

– جريان وتنشيط التفاعلات البيوكيميائية بوسائط تحفيزية (الإنزيمات البروتينية).

– تعد البروتينات والليبيدات حواجز اصطفائية لنفاذية الأغشية البيولوجية.

– الـ DNA و RNA عناصر نسخ المعلومات الوراثية، (الاحماض النووية).

– مخزنة للطاقة البيولوجية ATP (تفيد في انجاز الأفعال الحيوية).

– رفع القيمة الاسموزية الخلوية بوحداتها البنائية (بالحلمهة يزداد تركيزها).

**أولاً– المركبات العضوية الكربوهيدراتية Carbohydrates**

عبارة عن روابط كيميائية من مركبات الكربون، ذات أوزان جزيئية مختلفة. يدخل في تركيب هذه العضويات كل من عنصر الكربون والهيدروجين والأوكسجين وبنسب مختلفة طبقاً للصيغة العامة $C_m(H_2O)_n$ لذا تسمى بمائيات الفحم Carbohydrates (ماء الكربون، ماء الفحم $CH_2O$)، وكما يطلق عليها أيضاً بالسكريات Saccharides أو غلوسيدات Glucides.

تعتبر المركبات السكرية الوحيدة في الطبيعة التي تصنع اعتباراً من مواد لاعضوية (معدنية) بسيطة ($H_2O$ و$CO_2$) بعملية فيزيولوجية (البناء الضوئي) التي تحدث في خلايا النباتات الخضراء (الدنيا والراقية).

- **Carbohydrate: Carbo كربون و Hydrate ماء**
- وقد **تؤلف مائيات الفحم أكثر من نصف كتلة المادة الجافة النباتية**
- **إذا كانت المادة الكربوهيدراتية وحداتها بنائية سكرية فقط فيأخذ أسم السكر المتجانس، وفي حال ارتباطها بمركب لاسكري تدعى بالسكر المقترن (لامتجانس).**

**تصنيف مركبات مائيات الفحم**

تقسم الكربوهيدرات تبعاً لعدة معايير، منها الوظيفية والبنية الجزيئية (وحدات البناء):

**تقسيم السكريات تبعاً للوظيفة**

- كربوهيدرات غذائية: يستخدم هذا النوع السكري من أجل التغذية الضرورية للتنامي الخلوي والحصول على مركبات وسطية لازمة لعمليات الاستقلاب بهدف الامداد الطاقي اللازم للنشاطات الحيوية (الأحادية والثنائية).

- كربوهيدرات تركيبية: يتم تكوينها في الخلايا من السكريات الغذائية وتستخدم من أجل بنية الجدار الخلوي (السيللوز، الهيميسللوز، البكتينات).

**تقسيم السكريات تبعاً للبنية الجزيئية**

يعتمد هذا التقسيم على عدد الجزيئات التي تدخل في تكوينها البنائي، وتقسم إلى:

**أولاً- السكريات البسيطة (الأحادية) Monosaccharides**

وهي الناتج الأولي لعملية البناء اليخضوري وتنتج أيضاً بفعل الاستقلاب الهدمي. تتميز بأن وحدتها البنائية واحدة (وحيدة البنية) وتأخذ الصيغ الكيميائية العامة $C_n(H_2O)_n$.

تعد السكريات البسيطة الوحدات الأولية لكل من السكريات المضاعفة والمعقدة، وبالإضافة إلى ذلك تتحول وفق مجموعة تفاعلات إلى مركبات كربونية أخرى كالبروتينات والدهون وغيرها من المواد العضوية التي تتراكم في الخلايا.

**خصائص السكريات البسيطة:**

- تنحل في الماء.
- تتميز بطعم حلو.
- قابلة للتبلور (شكل كريستالي).

**تصنيف السكريات البسيطة**

تقسم السكريات الأحادية تبعاً لعدد ذرات الكربون التي يتألف منها الجزيء السكري، **فمنها:**

a- السكريات الثلاثية (Trioses(3C: تؤلفها ثلاث ذرات C. تعتبر مركبات وسطية تشارك في التفاعلات الخلوية الهامة (تفاعلات الاستقلاب) مثل ثاني هيدروكسيد الاسيتون وغليسرألدهيد.

b- السكريات الرباعية (Tetroses(4C: يتكون الجزيء من أربع ذرات كربون، وتعتبر مركبات وسطية هامة في تفاعلات التحويل الغذائي. ومثال على سكريات هذه المجموعة سكر إرثروز.

c- السكريات الخماسية (Pentoses(5C: كل جزيء سكري من هذه المجموعة يحتوي على خمس ذرات كربون، ومن أهمها:

- ريبوز Ribose الذي يدخل في تركيب الحمض النووي الريبي (RNA).
- ريبوز منقوص الأوكسجين Deoxyribose الداخل في تركيب الحمض النووي منقوص الأوكسجين (DNA).
- سكر الكسيلوز Xylose وأرابينوز Arabinose اللذان يكونان السكريات العديدة (الصموغ، البكتين، الهيميسيللوز) ويدخلان في تكوين الجدار الخلوي.

d- السكريات السداسية Hexoses(6C): يدخل في تركيبها الجزيئي (6 ذرات كربون). ومن أهم السكريات السداسية الشائعة في المملكة النباتية سكر العنب Glucose (يشكل تقريباً 8 % من ثمرة العنب و32 % من وزن ثمرة التمر) وسكر الفواكه Fructose (يشكل 8 % من وزن العسل وثمرة العنب) وسكر Galactose (يدخل في تركيب اللاكتوز). ويعد كل من سكر الـ Glucose والـ Fructose الركيزة الأساسية للاستقلاب التنفسي.

**السكريات البسيطة (وخاصة الغلوكوز) هي الحصيلة الأولية لعملية التمثيل الضوئي وتنتج أيضاً بالاستقلاب الهدمي (الحلمهة) للكربوهيدرات الثنائية والمعقدة (لأنها وحدات أولية لهذه السكريات)، ووفقاً لسلسلة من التفاعلات الكيميائية الخلوية المعقدة تتحول هذه السكريات إلى مواد كربونية أخرى (بروتينات وليبيدات وغيرها من العضويات).**

**ثانياً- السكريات المضاعفة (الثنائية) Disaccharides**

وهي عبارة عن مركبات تكاثفية تتكون من اتحاد الجزيئات السكرية الاحادية إما من نوع واحد أو أكثر، مرتبطة مع بعضها البعض بروابط غليكوسيدية Glycoside Bonds (إزالة جزيء الـ $H_2O$)، منها:

1- سكر القصب Sucrose: ناتج عن اتحاد نوعين من السكاكر البسيطة وهي جزيئة غلوكوز مع جزيئة فركتوز. يعد السكروز المادة الأساسية العصيرية في سوق بعض النباتات (15-20 % في الشوندر السكري و20 % في القصب السكري).

2- سكر الشعير Maltose: ينشأ عن اتحاد جزيئتين من السكاكر البسيطة من نوع واحد (الغلوكوز). كميته كبيرة في البذور المنتشة. يعتبر المالتوز الوحدة المتكررة في تكون الأميلوز الذي يتكون منه النشا.

3- سكر السيلوبيوز Cellubiose: متجانس الوحدات (2 جزيئة غلوكوز).

**خصائص السكريات المضاعفة**

– قابلة للذوبان في الماء. – تتميز بمذاق حلو.

– سكريات متبلورة (كريستالي). – تتحلمه Hydrolysis الى وحدات سكرية بسيطة.

**ثالثاً– السكريات المعقدة (العديدة) Polysaccharides**

تسمى أيضاً بالبوليميرات. يتشكل هذا النوع من سلاسل طويلة من تكاثف وحدات سكرية أحادية يزيد عددها عن (10)، بعضها متفرع والبعض الأخر غير متفرع. من أهم هذه السكريات **ما يلي:**

**a– النشا Starch**

**البنية الجزيئية للنشا:**

عبارة عن سلاسل طويلة من سكريات معقدة (متفرعة: أميلوبكتين– غير متفرعة: أميلوز)، والتي بدورها تتكون من تكاثف جزيئات الغلوكوز المرتبطة ببعضها البعض بروابط غليكوسيدية بين ذرتي الكربون رقم (1) في إحدى الجزيئتين رقم (4) في الجزيء الآخر.

**البنية التركيبية للنشا:** يظهر النشا في صورة حبيبات مختلفة الأشكال في الصانعات على شكل طبقات حول نقطة تدعى السرة على شكل تناوب طبقي مكوناً مناطق نيرة ومناطق عتمة، حيث تمتلئ الصانعات بجزيئات النشا ثم تتحول إلى حبيبة نشوية تدخل في تركيبها سكاكر معقدة، وهي:

- الأميلوز Amylose: سلسلة غير متفرعة من الغلوكوز نسبة وجوده في النشا تقارب (20 %)، ويبدو الأميلوز في حبيبة النشا على شكل هالة نيرة يتجمع ضمنها (المناطق النيرة).

- الأميلوبكتين Amylopectin: تتراوح نسبته في النشا (80 %) وهو عبارة عن سلسلة متفرعة من تكاثف جزيئات الغلوكوز، يظهر الأميلوبكتين على شكل هالات مظلمة متراكم فيها (المناطق العتمة).

**أنواع النشا وميكانيكية تمثيله:**

1- النشا الأولي: يتم تركيبه وتراكمه في الصانعات الخضراء بعملية التمثيل الضوئي من مواد لا عضوية بمشاركة كل من الأشعة الضوئية (من الوسط البيئي) وصباغ الكلوروفيل ضمن الكلورويلاست.

2- النشا التراكمي (الثانوي، التخزيني): يتركب في صانعات عديمة اللون (مختزنات النشا، الصانعات النشوية). يتحلل النشا الأولي في الظلام إلى وحداته الأولية البنائية (جزيئات الغلوكوز) التي ستنتقل إلى صانعات عديمة اللون، وفي هذه الأخيرة تحت تأثير إنزيمات تصنيع النشا تتكاثف جزيئات سكر العنب بروابط غلوسيدية ليعاد تمثيله مجدداً بعد مروره بسكر الاميلوز وسكر الاميلوبكتين.

**يتواجد النشا في البذور والأجزاء الادخارية (بذور الأنواع النشوية، ساق درنة البطاطا، ثمرة الموز، بذور البقوليات).**

من أهم خصائص النشا **ما يلي:**

- يمتص الماء الساخن ليشكل النشا المطبوخ.
- يتلون بلون بنفسجي بفعل اليود.
- جزيئاته لا تخضع للتبلور (لاكريستالية).
- غير قابل للذوابان بالماء.

**b- السيللوز Cellulose**

يتكون من ارتباط وحدات الغلوكوز بروابط غلوسيدية التي تشكل سلاسل طويلة مستقيمة (غير متفرعة). على الاغلب يتواجد سكر السيللوز في الجدار الخلوي مختلطاً بمركبات أخرى عدا ألياف القطن (يكون نقياً). يعد السيللوز أكثر متانة من النشا وأصعب تحلل مائي لاصطفاف سلاسله بشكل موازي.

- **يتحلمه النشا بإنزيم الـ Amylase ويعطي وحدات سكرية أساسية (الغلوكوز).**
- **يتحلمه السيللوز بإنزيم الـ Cellulase ويعطي وحدات سكرية أساسية (الغلوكوز).**

**c- الهيميسيللوز Hemicellulose**

يتكون من تكاثف سكريات خماسية (كسيلوز وأرابينوز) وسداسية (غلوكوز وغالاكتوز وغيرها). يتواجد في الجدار الخلوي ويتخزن في البذور ويلعب دور غذائي، حيث يمد البادرات بالغذاء.

**d- المركبات البكتينية Pectic Compounds**

سكاكر معقدة تدخل في مكونات الجدار الخلوي. ومن أمثلتها حمض البكتين Pectic والبكتين Pectin والبروتوبكتين Protopectin التي تتكون أساساً من حمض الـ Galacturonic Acid.

هناك سكريات معقدة أخرى مثل الليفان Levan متكاثفة من سكر الفركتوز، الإينولين Inulin تكونه سلسلة من جزيئات الفركتوز، الصموغ والهلاميات تتكون من ارتباط سكريات خماسية وسداسية.

**ميكانيكية بناء مائيات الفحم (السكريات)**

- السكريات البسيطة (الغلوكوز):

تبنى هذه الكربوهيدرات بعملية البناء الضوئي من مواد لا عضوية ($H_2O$ و$CO_2$) بجملة من التفاعلات الانزيمية في المرحلة العتمة.

- الكربوهيدرات الثنائية والمعقدة (اللابسيطة):

تبنى بعملية التكاثف (ارتباط غليكوسيدي Glycoside Bonds لسكريات بسيطة من نمط واحد أو أكثر – إزالة الـ $H_2O$) ولهذا يطلق على السكريات المركبة بالغلوسيدات Glucides.

**خصائص السكريات المعقدة**

– غير قابلة للذوبان في الماء (عدا الإينولين). – سكريات غير المتبلورة (شكل كريستالي).

– تتحلمه إلى وحدات سكرية بسيطة (Hydrolysis). – لا تتميز بمذاق حلو.

**الدور البيولوجي للمركبات الكربوهيدراتية**

تعود أهمية هذه السكريات في الخلايا النباتية إلى أنها:

- مركبات غذائية (الأحادية والثنائية) وادخارية (النشا).
- تعد وحدات أساسية بنائية (السكريات البسيطة) للسكريات الثنائية والمعقدة.
- مكونات بنائية للجدر الخلوية النباتية (السيللوز والبكتين).
- مركبات غنية بالطاقة تستخدم كركائز للاستقلاب التنفسي (الأحادية والثنائية).
- تلعب دوراً كبيراً في رفع الجهد الاسموزي للخلايا (السكريات البسيط والثنائية).
- منها يساهم في تكوين روابط أخرى (حموض نووية، ليبيدات، بروتينات، سكريات ثنائية ومعقدة).

**ثانياً– المركبات العضوية البروتينية Proteines**

عبارة عن روابط كيميائية عضوية معقدة (مركبات الكربون) ذات أوزان جزيئية مختلفة. يدخل في تركيبها الكيميائي بشكل أساسي كل من عنصر الكربون والهيدروجين والأوكسجين والأزوت، والبعض منها يحتوي على عنصر الكبريت بنسبة لا تتجاوز (2 %) وأيضاً عنصر الفوسفور.

**ميكانيكية التمثيل والبناء الكيميائي للبروتينات**

تبنى من ارتباط وحدات متكررة من الأحماض الأمينية مع بعضها البعض (بالتكثيف– إزالة جزيئة الـ $H_2O$ اثناء ارتباط حمضين) بروابط تدعى الروابط الببتيدية، حيث ترتبط الزمرة الكربوكسيلية (COOH) للحمض الأميني الأول مع زمرة أمينو ($NH_2$) للحمض الأميني الثاني، والمجموعة الكربوكسيلية للحمض الأميني الثاني مع زمرة أمين

للحمض الأميني الثالث وهكذا. وبهذه الألية تتكون الروابط الببتيدية لتتشكل البروتينات ولهذا يطلق عليها بمركبات عديدة الببتيدات.

**البنية العامة للحمض الأميني**

تتألف البنية العامة للحمض الأميني من المكونات التالية:

- ✓ ($NH_2$) زمرة امينو: قاعدية الخواص.
- ✓ (COOH) مجموعة كربوكسيلية: تتماز بخاصية حمضية.
- ✓ (R) جذر الحمض: جزء مميز للحمض الأميني (S، COOH، OH، C، H، N)

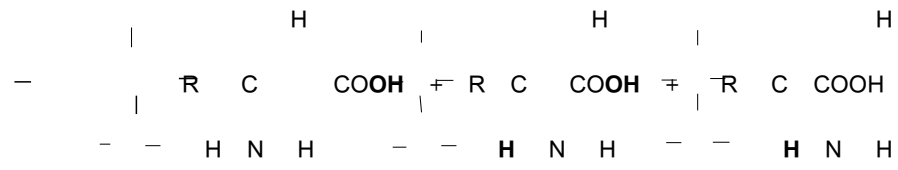
ويعتبر عامل التباين بين الأحماض الأمينية المتنوعة.



**التركيب البنائي للحمض الأميني**

وقد يحتوي الحمض الأميني على:

- ذرة كبريت (الحمض الأميني المثيونين).
- أكثر من زمرة $NH_2$ (الحمض الأميني الهيستيدين والأرغينين).
- مجموعتين COOH (حمض الاسبارتيك وغلوتاميك).



**ارتباط COOH للحمض الأميني الأول مع $NH_2$ للحمض الثاني يدعى بالرابطة الببتيدية:**

**$NH_2$ --- COOH**

**ألية التحلل المائي Hydrolysis للمركبات البروتينية**

تخضع البروتينات إلى التحلل المائي، فعند حلمهتها بتأثير إنزيم Protease وإنزيم Piptidase ينتج عنها وفق سلسلة مرحلية وحداتها الأساسية (الوحدات الأولية للبروتينات هي الأحماض الأمينية).

إن عدد الأحماض الأمينية في النبات يقارب الـ (20):

أرغينين، ليسين، غلسين، ألانين، فينيل ألانين، فالين، ليوسين، إيزوليوسين، سيرين، تريونين، تريوزين، تربتوفان، سيستين، مثيونين، برولين، هيدروكسي برولين، حمض أسبارتيك، حمض غلوتاميك، هستيدين.

**الببتيدات القصيرة (عدد حموضها يبلغ 20)، بينما الطويلة (50–300 لذا يطلق عليها متعددة الببتيد Polypeptide).**

**تقسيم الروابط البروتينية**

تحتوي الخلايا النباتية على أنواع مختلفة من المركبات البروتينية، ويعود الاختلاف في هذه الأنواع إلى:

- عدد الأحماض الأمينية التي تؤلف المادة البروتينية.
- الاختلاف في تتابع الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية.

- تقسيم من حيث الدور الذي تقوم به البروتينات

– بروتينات بنائية: تساهم في بناء المكتنفات الخلوية (أغشية بيولوجية، جدر خلوية).

– بروتينات وظيفية: النشاط الكيميائي (بروتينات إنزيمية، هرمونات، اصبغة، مستقبلات).

- تقسيم من الناحية التركيبية البنيوية

✓ بروتينات متجانسة Homoproteines (بروتينات بسيطة)

وهي تلك البروتينات التي بنيتها تتألف من ارتباط أحماض أمينية فقط، فعند حلمهتها ينتج عنها أحماض أمينية فقط. وهذه المجموعة (ألبومينات، غلوبولينات، غلوتيلينات، برولامينات، هستونات، بروتامينات).

✓ بروتينات لا متجانسة Heteroproteines (بروتينات مركبة أو مقترنة)

عبارة عن بروتينات مرتبطة مع مكونات طبيعتها غير بروتينية، لذلك بعملية التحلل المائي (الحلمهة) تعطي أحماض أمينية ومركب آخر. تدخل في هذه المجموعة البروتينات السكرية والبروتينات الدهنية والبروتينات النووية والبروتينات المعدنية والبروتينات الملونة.

**أهمية البيولوجية للمركبات البروتينية**

تعد البروتينات من أكثر المركبات البيولوجية (العضويات) أهمية في حياة المنظومة الحيوية (من ضمنها المتعضيات النباتية) وذلك لدورها الكمي والنوعي، لأنها تشكل النسبة الكبرى (تزيد 50 %) من الكتلة الجافة للخلايا بالمقارنة مع Polymeres الأخرى (مواد عضوية أخرى ذات الجزيئات الكبيرة).

يمكن إيجاز الأهمية الحيوية للروابط البروتينية في النقاط **التالية**:

a- تعتبر المكون الأساسي من مكونات الخلية ومكتنفاتها والأغشية البيولوجية.

b- تدخل في بناء مركبات بيولوجية كعوامل وظيفية نشطة مثل هرمونات، أصبغة، إنزيمات، مضادات:

- إنزيمات الاستقلاب الهدمي والبنائي.
- مستقبلات الإشارات البيئية (الضوء).
- مستقبلات الالكترونات في عملية التنفس والتركيب الضوئي.
- هرمونات تنشيط وتثبيط حوادث بيولوجية (نمو الأعضاء).

c- تعد نواقل غشائية متخصصة (نفوذية الأغشية) تنقل الجزيئات الكيميائية المختلفة إلى الخلية.

d- إحدى ركائز الأكسدة التنفسية (مخزون احتياطي لإنتاج لـ ATP).

**ثالثاً- المركبات العضوية الليبيدية Lipides (الدسم- الدهون)**

الليبيدات هي إحدى المركبات الأساسية العضوية والغذائية للبروتوبلازم الخلوي. يتركب الجزيء الليبيدي كيميائياً من الـ(C. H. O) بالإضافة إلى عناصر أخرى بنسبة ضئيلة جداً كالـ(P).

**ألية بناء الليبيدات (وحدات البناء)**

بشكل عام يتشكل الليبيد من ارتباط حموض دسمة (وحداتها البنائية) بروابط استيرية (ليبيدات بسيطة) والبعض منها يتكون من اتحاد حموض دسمة مع مكونات أخرى (ليبيدات مركبة).

R---COOH

**التركيب البنائي للحمض الدهني**

- **جذر الحمض R: جذر الحمض الدهني.**
- **الزمرة الكربوكسيلية COOH: مجموعة كربوكسيلية.**

**التحلل المائي (حلمهة) لليبيدات**

يتحلل الليبيد (تفاعلات كسر الليبيدات) بخضوعه لعملية الإماهة في وسط مائي وتحت نشاط إنزيم الـ Lipase فينتج عن ذلك أحماض دسمة (الليبيدات البسيطة) وعناصر أخرى بنسب بسيطة (الليبيدات المركبة).

تتراكم جزيئات المركبات الليبيدية في أجزاء مختلفة من البذرة كالجنين (الخروع، القطن، الصويا) والجزء اللحمي للثمرة (الزيتون) والغلاف اللحمي للثمرة (النخيل) والفلقات (عباد الشمس، الفستق) والبذور (جوز الهند، الكاكاو).

تتواجد المواد الليبيدية في صورة زيوت طيارة، كما في ثمار اليانسون وريزومات الزنجبيل وخشب الكافور وبتلات زهرة الورد وأوراق النعناع وقلف ساق القرفة.

**تصنيف المواد الليبيدية**

**a- الحموض الدسمة**

بشكل عام تتواجد في الخلايا النباتية الادخارية. وهي عبارة عن سلاسل كربونية مفتوحة تحوي مجموعة كربوكسيلية واحدة. تقسم هذه المجموعة إلى:

- الدهون (حموض دسمة مشبعة الروابط): ليبيدات في حالة صلبة على درجة الحرارة العادية (الزبدة، الشحم)، وتتميز بروابط فردية بين ذرات الكربون.
- الزيوت (حموض دسمة غير مشبعة الروابط): ليبيدات في حالة سائلة على درجة الحرارة العادية. وقد تحتوي على رابطة زوجية واحدة (حمض الزيت) أو رابطتين (حمض اللينوليك).

**b- الغليسيريدات Glycerides**

عبارة عن استرات الأحماض الدسمة مع الغليسيرول (تنتج الرابطة الاسترية من تفاعل كربوكسيل COOH الحمض الدسم مع مجموعة هيدروكسيل OH الغليسيرول- عملية التكثيف- نزع الـ $H_2O$).

**تقسم الغليسيريدات**

تقسم الغليسيريدات إلى ثلاثة أنواع تبعاً لعدد الحموض الدهنية المرتبطة مع الغليسيرول:

a) غليسيريد أحادي (حمض دسم + غليسيرول).

b) غليسيريد ثنائي (حمضين دسمين + غليسيرول).

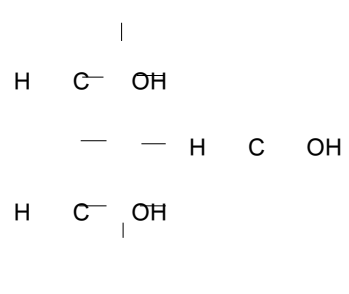
c) غليسيريد ثلاثي (ثلاثة حموض دسم + غليسيرول).

ويمكن أن تكون الغليسريدات:

- **بسيطة:** في حال ارتباط الغليسيرول مع نوع واحد من الحموض الدسمة.

- **مختلطة:** في حال تنوع الحموض الدسمة المرتبطة مع الغليسرول.

يحتوي الغليسرول على ثلاث زمر (OH) قادرة على الارتباط مع ثلاثة حموض دسمة، لذلك تقسم إلى:



**الصيغة الغليسيرولية**

تنتشر الغليسيريدات في النسج النباتية ونسج الادخار (الإندوسبيرم والفلقات) لبذور الخروع وعباد الشمس والقطن والزيتون وفول الصويا والذرة وغيرها من البذور النباتية.

**c- الفوسفوليبيدات Phosolipides**

مركبات دسمة تحتوي على مجموعة فوسفاتية، تشتق من ارتباط مجموعة فوسفات بالغليسيرول برابطة استيرية في الغليسيريد ثنائي (استبدال حمض دسم مع حمض الفسفور).

هناك ليبيدات أخرى ناتجة عن استيرات الحموض الدسمة (شموع– من مكونات الجدر الخلوية، الفلين– من مكونات البشرة الداخلية، القشرين– من مكونات الطبقة الخارجية للأجزاء النباتية– تفيد هذه المواد الليبيدية في عدم فقد الماء وخفض شدة النتح).

**أهمية الروابط الليبيدية**

1– مكونات بنائية للعضيات الخلوية (الأغشية البيولوجية، الجدر الخلوية).

2– مركز لتخزين الطاقة (أكثر مخزنات لـ ATP مقارنة بالعضويات الأخرى).

3– إحدى عناصر النقل الاختياري للأغشية الحيوية (نفوذية الأغشية البيولوجية).

من المواد الليبيدية أيضاً الشمع النباتي (يغطي سطوح الثمار والسوق والأوراق) والسوبرين في شريط كاسبار (شبه ليبيدية مانعة لنفاذية الماء) والكوتين (تغطي الأوراق وتنفذ عبرها المركبات المرشوشة).

**رابعاً– الأحماض النووية Nucleic Acids**

وهي أكثر المركبات الكيميائية العضوية تعقيداً نظراً لوزنها الجزيئي الكبير، وقد دعت بالحموض النووية لكثرة تواجدها في النواة. ومن الناحية البنيوية تعد النوكليوتيدات الوحدات الأساسية للحموض النووية.

**النوكليوتيدات:** عبارة عن ارتباط ثلاث مكونات وهي (السكر + قاعدة نتروجينية +حمض الفسفور) ولهذا السبب تسمى الحموض النووية مركبات عديدة النوكليوتيدات (نتيجة اتحاد عدد كبير من النوكليوتيدات)، بينما يطلق على اتحاد السكر مع القاعدة الأزوتية مصطلح النوكليوزيد.

**أنواع الأحماض النووية**

**1– الحمض الريبي النووي (RNA):**

وجوده الرئيس في السيتوبلاسم. بنيته بسيطة تتألف من شريط واحد من عدد محدود من وحدات النوكليوتيدية، حيث يدخل في بنية نوكليوتيداته سكر خماسي Ribose وأربع قواعد أزوتية، وهي:

– الأدينين (A) والغوانين (G) مشتقان من حلقة البيورين.

– اليوراسيل (U) السيتوزين (C) مشتقان من حلقة البيريميدين.

يمكن تمييز ثلاثة أنواع من الحمض النووي الريبي ولكل نوع دوراً مهماً في نسخ ونقل المعلومات الوراثية وتركيب البروتينات الخلوية، **من أنماط هذا الحمض:**

- ✓ الريبوزومي ($RNA_r$): نسبته تشكل (80 %). يرتبط مع البروتينات الريبية لتكوين الجسيم الريبي (الوحدة الكبيرة والصغيرة).
- ✓ الناقل ($RNA_t$): ينقل الحموض الأمينية الموجودة في السيتوبلاسم إلى سطح الجسيمات الريبية. وتشكل نسبته ما يقارب (15 %).
- ✓ المرسال ($RNA_m$): نسبته (5 %).) وظيفته تكمن في نقل الشيفرة الوراثية من النواة إلى الجسيمات الريبية السيتوبلاسمية.

**2– الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين (DNA)**

يتواجد بشكل رئيس في النواة بالإضافة إلى وجوده في السيتوبلاسم (الميتاكوندري والصانعات). يتميز هذه الحمض النووي ببنية مضاعفة حلزونية يكون فيها عدد وحدات النوكليوتيدات كبير جداً. يدخل في تركيب وحداته الهيكلية سكر خماس منقوص الأوكسجين Deoxyribose وحمض الفوسفور وأربعة قواعد أزوتية وهي:

- الأدينين (A) والغوانين (G) المشتقة من حلقة البيورين.
- التيمين (T) السيتوزين (C) المشتقة من حلقة البيريميدين.

تعود بنية الـ (DNA) المضاعفة إلى تجاذب القواعد المتقابلة على الشريطين بواسطة روابط هيدروجينية والتي عددها (2) بين(A–T) و (3) بين(C–G)، وهذا يستوجب أن يكون عدد جزيئات الأدينين يساوي عدد جزيئات التيمين وكذلك عدد جزيئات الغوانين يساوي عدد جزيئات السيتوزين.

**أوجه الاختلاف بين الـ DNA و RNA**

1- يتواجد الـ DNA بشكل رئيس في النواة، بينما الـ RNA في السيتوبلازم.

2- بنية الـ DNA مضاعفة حلزونية (شريطان)، في حين بنية الـ RNA وحيدة (شريط واحد).

3- عدد وحدات النوكليوتيد في الـ DNA كثيرة جداً، بينما تكون محدودة في الـ RNA.

4- لـ DNA نوع واحد، بينما لـ RNA ثلاثة أنواع.

5- تتميز نوكليوتيدات الـ DNA بقاعدة التيمين، بينما الـ RNA تحتوي نوكليوتيداته على اليوراسيل.

6- السكر في الـ DNA خماسي يدعى الريبوز، في حين عند الـ RNA سكر خماسي دي أوكسي ريبوز.

**أهمية الحموض النووية في الخلايا**

a- التحكم في تصنيع الروابط البروتينية (البنائية والوظيفية).

b- مسؤولة عن نقل الكود المورثي للصفات الوراثية.

**خامساً- الإنزيمات Enzymes**

هي روابط عضوية طبيعتها غروية بروتينية متخصصة وظيفياً (تخصص وظيفي نوعي- تفاعل معين) تفرزها بروتوبلازم الخلايا، ويطلق عليها الوسيط الكيميائي للتفاعلات.

**الأهمية البيولوجية للانزيمات**

تمتلك هذه الروابط العضوية أهمية حيوية بالغة:

1- تنظيم أنماط التفاعلات البيوكيميائية ضمن حدود حرارية (5-40 مْ) مناسبة لخلايا الأحياء.

2- تتحكم في سرعة توجيه التفاعلات وتقودها إلى نواتج نهائية.

3- تسيطر على جريان العمليات الفيزيولوجية في الخلايا (تفاعلات التركيب الضوئي والأكسدة التنفسية).

**ألية تكوين الإنزيم**

يعتقد البحاثة بوجود مادة طليعية (أولية) في السيتوبلازم ذات تكرار ذاتي يطلق عليها البلاسماجين (تقع تحت إشراف مورثي) تعد المسؤولة عن تكوين الإنزيم (إذاً المسؤول عن تكوين الإنزيم هو المورثات).

**بنية وتركيب الإنزيم**

a- جزء بروتيني: يسمى الصميم Apoenzyme تكونه روابط ببتيدية (اتحاد أحماض أمينية) فقط.

b- جزء لا بروتيني: يدعى التميم أو المرافق الإنزيمي Coenzyme أو العوامل المساعدة Cofactors. وقد تكون المرافقات الإنزيمية:

- مواد عضوية لا بروتينية.
- أيونات معدنية (Fe, Cu, Na, K, Ca, Zn, Mg).

**تسمى الإنزيمات تبعاً لركيزة التفاعل بإضافة المقطع (as) إلى نهاية اسم مادة التفاعل.**

**تقسيم الوسائط الإنزيمية**

- تبعاً لدرجة تركيبها:
  - الإنزيمات البسيطة: تتكون من جزء واحد ذو طبيعة بروتينية فقط، مثل إنزيمات الحلمهة (أميلاز، مالتاز، يورياز وغيرها من إنزيمات التحلل المائي).
  - الإنزيمات المركبة: كإنزيمات الأكسدة والارجاع التي تتألف من جزئين (الصميم والتميم).

- تبعاً لأنماط التفاعلات التي تتوسطها:

a- إنزيمات الحلمهة:

وهي إنزيمات التحلل المائي Hydrolases التي تسبب انشطار أو تحلل الركيزة الكيميائية إلى وحداتها الأساسية بوجود الماء، مثل إنزيمات حلمهة الكربوهيدرات والليبيدات والبروتينات.

b- إنزيمات الفك والربط:

هذه الإنزيمات تحطم الروابط بين ذرات الكربون وإضافة أو إزاحة الزمر من الجزيئات ونقلها إلى مكان آخر (إنزيمات التنفس والتخمر).

- تبعاً لنوع التفاعل وأسم المادة المتفاعلة:

تم تقسيم الإنزيمات من قبل اللجنة الدولية للبيوكيمياء تبعاً لنوع التفاعل إلى ستة مجاميع، هي:

- إنزيمات الأكسدة والارجاع Oxidoreductases

أكسدة واختزال المركبات بطريقة نقل (H، O، إلكترون) من جزيء إلى آخر. كإنزيمات ديهيدروجيناز وأوكسيداز وغيرها من الإنزيمات.

- إنزيمات الناقلة Transferases

تنقل زمر (مثيلية، أمينية، فوسفاتية، كربوكسيلية) من مركب إلى آخر. كالفوسفوريلاز.

- إنزيمات الحلمهة Hydrolases

تحطم الروابط بوجود الماء (التفكك بالماء) مثل الأميلاز، تربسين، ليباز، ببتيداز، بروتياز.

- إنزيمات التفكك اللامائي (المحللة) Lyases

تحطم المركبات بغياب الماء (إضافة أو إزالة $CO_2$) مثل إنزيم الكربوكسيلاز، ديكربوكسيلاز، إنزيم الدولاز الذي يفكك سكر الفواكه.

- إنزيمات التماكب Isomerases

تغيير بناء الجزيء (إعادة تنظيم داخلي للجزيء)، مثل إنزيم فوسفوغلوكوميوناز.

- إنزيمات الصانعة Ligases

إنزيمات تسرع تفاعلات البناء وتكوين مركبات جديدة (مثل إنزيم السينتياز).

**سادساً- الهرمونات Hormones**

كي تتطور الخلايا والأنسجة كوحدة متكاملة لا بد من وجود قوى (عوامل) تعمل على التحكم في ظواهرها الفيزيولوجية لأجل النمو والتمايز والتطور. ولقد ثبت أن هذه القوى ما هي إلا روابط متباينة كيميائياً وطبيعية التشكل وذات فعاليات حيوية مختلفة تسمى بالهرمونات.

**الهرمونات:** هي روابط كيميائية عضوية طبيعتها بروتينية تتواجد في نسج أعضاء المتعضيات النباتية يفرزها بروتوبلازم الخلوي وبنسب بسيطة جداً من خلايا متخصصة لتنجز فعلاً في خلايا وأنسجة مستهدفة (المنطقة المتأثرة).

تعد المواد الهرمونية قوى كيميائية تتحكم في تنظيم العمليات الفيزيولوجية (ظواهر التنامي والتطور النباتي) لذى يطلق عليها بمنظمات النمو Growth Regulators، وقد تكون:

- مركبات طبيعية: تنتجها خلايا المتعضيات.
- مواد صناعية: تصنع في المخابر الكيميائية.

**الهرمونات النباتية Phytohormones(Plant Hormones)**- مركبات عضوية بروتينية (غير مغذية) لا نوعية (عكس الهرمونات الحيوانية) تصنع في مناطق معينة (مركز التركيب) لتؤثر وفق تراكيزها في مناطق نسيجية أخرى (المنطقة المتأثرة- فيها تتنشط أو تتثبط أو تتحور عمليات فيزيولوجية بغية النمو والتمايز والتطور).

**خصائص منظمات النمو (الهرمونات النباتية)**

- مركبات عضوية يتم إنتاجها في مناطق معينة من النبات.
- تنتقل إلى أماكن أخرى (أماكن الهدف) لتمارس تأثيرها (الاستجابة الفيزيولوجية).

**Phytohormones- كلمة لاتينية مركبة من Phyto النبات و Hormone محرض**

**تصنيف الهرمونات النباتية**

أولاً– المجموعة الهرمونية المنشطة (المنشطات)

- **الأوكسينات Auxins**

تدعى بهرمونات النمو. تنتج فى المناطق الميرستيمية (الخلايا الأنشائية، قمم النمو، البراعم، الأوراق الفتية) وتقع مسؤليتها الفيزيولوجية بتراكيزه الطفيفة في نمو المحور الطولي لأعضاء النبات بألية الاستطالة الخلوية، وكل أنواع الانتحاءات (الضوئي Phototropisme، الارضي Geotropisme، المائي Hydrotropisme، الكيميائي Chimiotropisme، الميكانيكي Thigmotropisme) تثار بفعل الاوكسينات.

**السيادة القمية Apical Dominance– سيادة البرعم القمي على نمو البراعم الجانبية (النمو السريع للبرعم الطرفي وتثبيط البراعم الجانبية). ينتقل الاوكسين من البرعم الطرفي (منبع تمثيل الاوكسين) خلال الساق ويتراكم في البراعم الجانبية (مصب الهرمون) الأمر الذي يسبب توقف نموها نتيجة الزيادة النسبية في تركيزه**

**نباتات تكون فيها السيادة القمية قوية فينمو الساق دون تفرع (عباد الشمس) ونباتات تكون فيها السيادة القمية ضعيفة (البندورة) ونباتات يتفرع ساقها من العقدة الساقية السفلية (النجيليات)**

في حال تسلط الضوء على القمة الساقية النامية (البرعم)، تتنشط المستقبلات الضوئية مما يقود هذا الأمر إلى حركة هرمونية (الـ Auxin) وتوزعه بصورة لا متماثلة على جانبي القمة النامية (المضيء، المظلم)، حيث يتجمع على الجانب المظلم ليعمل على النمو الخلوي للأقسام البعيدة عن الضوء بهدف وصولها للضوء.

- **السيتوكينينات Cytokinins**

تنتجه النسج المرستيمية ذات استعادة النمو النشاط وينتقل للأعلى بالأوعية الخشبية. تؤثر في تكوين الكتلة الخلوية بالانقسام الخلوي في التكاثر الخضري الدقيق.

**السيتوكينينات تكسر سبات البذور المحبة للضوء التي تنبت تحت الأشعة الحمراء (تماثل في التأثير) دون الحمراء البعيدة. كما أن التركيز الضعيف منها يحفز نمو البراعم الجانبية وتأخير الشبخوخة**

- **الجبريلينات Gibberelins**

تنتج فى المناطق الميرستيمية (قمم الجذور، البذور، البرعم الطرفي، الأوراق الحديثة) لها فعل في تحلل الغذاء المدخر في البذور من خلال تنشيط وخلق انزيمات طبقة الأليرون (α−amylase، β−amylase، Protease، Ribonuclease، β−gluconase ).

**معالجة القصر الموروث− الاستطالة الخلوية للساق وخاصة النباتات التي بها خلل وراثيا في إنتاج الجيريلين فإضافته تزيد من الطول السوق، ويتم ذلك بألية تنشيط الخلايا تحت القمية وتأثيره في العقد الساقية(زيادة طول السلاميات).**

**ثانياً− المجموعة الهرمونية المثبطة (المثبطات Inhibitors)**

- ✓ الإثيلين Ethylene: يتشكل في جميع النسج النباتية. ويكمن دوره الفيزيولوجي في تحفيزه على تحلل جدر الخلايا في منطقة الانفصال لذلك تتساقط الأوراق.

- ✓ حمض الأبسيسيك Abscisic Acid(ABA): يؤثر في الاستطالة ما بين الخلايا(مثبط النمو النباتات)، يسبب سكون البذور والبراعم، الحث على الشيخوخة، التكيف مع الضغوطات البيئية، غلق الثغور وقت الجفاف، سقوط الأوراق والثمار.

**سابعاً– المركبات العضوية الأخرى**

- الأحماض العضوية النباتية: حمض الليمون وحمض التفاح وحمض الأوكزاليك وحمض البيروفيك
- الأصبغة: الكلوروفيل والليكوبين والكابساتين والكاروتين وأكسانتوفيل
- الزيوت الطيارة: النيكوتين والأتروبين والمورفين

**دور العضويات في حياة الكائنات الحية**

- دورها البنائي: منها تتشكل تراكيب جزيئية نتاجها بنى بيولوجية ذات مستويات متدرجة (مكتنفات، خلايا، أنسجة، أعضاء، أجهزة، متعضي).
- دورها الغذائي والطاقي: مصدر للتنامي وإنتاج الطاقة الحيوية (ATP).
- دورها التخزيني: المواد الكيميائية العضوية المختلفة البنائية والوظيفية (للغذاء والطاقة).
- دورها الوظيفي: إنجاز الوظائف الحيوية المختلفة والمتنوعة باستخدام وصرف طاقة.

# الفصل الرابع

## الخلية النباتية Plant Cell

## المكونات الخلوية Cell Organelles (المكتنفات)

## مقدمة

بهدف دراسة الكائن النباتي يستوجب البحث في مكوناته الأساسية وأماكن وجودها ودورها الفيزيائي والكيميائي، ليتسنى لنا معرفة ألية نشاطاتها البيولوجية التي ترتبط بها حياة هذا المتعضي. وبالطبع نتيجة تطور الأجهزة الدقيقة وغزارة الأبحاث بالوسائل الفيزيائية والكيميائية للمواضيع المتعلقة بالوحدات الأساسية الخلوية للنبات، توسعت المعرفة التفصيلية للكثير من المواضيع المرتبطة بالخلية، واستناداً لأسس النظرية الخلوية أن الخلايا هي المنظومة المركزية الرئيسية للنشاط البيولوجي النباتي، تمكن العلماء من اعطاء صورة واضحة عن الوحدة البنائية (الخلايا) للنبات ومكتنفاتها ووظائفها، **ومن أهم هذه التقنيات:**

- ✓ المجاهر بأنواعها (العادية، الفوتونية، الالكترونية).
- ✓ الأجهزة الكيميائية التحليلية (أجهزة تحليل المركبات المعدنية والعضوية).
- ✓ جهاز مقياس الكثافة الضوئية (في دراسة المركبات العضوية).
- ✓ جهاز الطرد المركزي (فصل المكونات ودراستها بصورة مستقلة).
- ✓ وغيرها من الأجهزة.

## أنواع (أنماط) الخلايا النباتية

تصنف خلايا المتعضي النباتي وفقاً لمستويات التنظيم الحيوي (الطيف البيولوجي) في زمرتين رئيسيتين:

### a) خلايا بدائيات النواة Procaryotic Cells

وحدات خلوية بنائية غاية في الدقة والتنظيم. عضياتها غير مغلفة بغشاء بيولوجي، حيث تأخذ ذخيرتها الوراثية (DNA) الشكل الحلقي سابحة مع باقي مكتنفات السيتوبلازم (لا مفصولة بسبب عدم إحاطتها بغشاء حيوي)، ولهذا

السبب يطلق على هذا النموذج الخلوي بالنوع الخلوي لامحدود النواة (شبه نواة، عديمة النواة)، بالإضافة إلى ذلك من المحتمل أن يخلو حمضها النووي من البروتين المرافق، لذلك يطلق على مادتها الوراثية بالجسيم النووي (DNA− عند هذا النوع الخلوي يسمى Plasmide). يمثل هذا النوع الخلوي الجراثيم والفطريات المخاطية. يدعى هذا النمط الخلوي بخلايا طلائعيات النواة أيضاً.

**b) خلايا حقيقيات النوى Euocaryotic Cells**

تحاط مكتنفاتها بغلاف بيولوجي (يتألف من غشاء حيوي وحيد أو أكثر لذلك تظهر عضياتها مغلقة)، تمثل هذه الزمرة كل من الخلايا النباتية والحيوانية الراقية التي تتميز بحجوم كبيرة وذات تنظيم بنيوي وفيزيولوجي أكثر تعقيداً. وإن إحاطة مادتها الوراثية بغلاف (غشاء نووي) تحدد عضية حقيقية تسمى النواة منعزلة عن العضيات الأخرى. ووفقاً للطيف البيولوجي يتعضى منها فرد يطلق عليه كائن نباتي يدعى متعضي حقيقي النواة Eucaryotic Organism.

**تتماثل حقيقيات وبدائيات النواة في المؤشرات البيولوجية التالية:**

- البنية الثنائية للأغشية البيولوجية بتركيب ليبوبروتيني.
- تصنيع العضويات (بعملية التركيب الضوئي).
- إنتاج الـ ATP (الأكسدة التنفسية).
- ألية عمل الذخيرة الوراثية (الكود الوراثي من DNA).

**الاختلاف الخصائصي بين خلايا بدائيات وحقيقيات النواة**

| المؤشرات | Euocaryotic Cells | Procaryotic Cells |
|---|---|---|
| حجم الخلية | كبير | صغير |
| العضيات | كاملة المكتنفات | معدومة |

| | | |
|---|---|---|
| **الأغلفة** | **اغلبها مغلفة بغشاء** | **غشاء سيتوبلاسمي فقط** |
| **الجدار الخلوي** | **سللوزي** | **لا سللوزي** |
| **شكل DNA** | **مستقيم (نووي)** | **حلقي (لانووي)** |
| **توضع DNA** | **في النواة وثنائي النسخة** | **في السيتوبلاسم ووحيد النسخة** |
| **التكاثر** | **انقسام ميتوزي** | **انقسام مباشر** |
| **التمثيل الضوئي** | **في الكلوروبلاست** | **على حوامل الأصبغة** |

**تخلو خلايا بدائيات النواة من الفجوات والميتاكونريات ومعقد غولجي والليزوزومات والمريكز والبلاستيدات والشبكة الاندوبلازمية**

**الفروقات بين الخلية النباتية والحيوانية:**

1 – تحتوي الخلية النباتية بلاستيدات خضراء تقوم بصنع الغذاء من خلال عملية التركيب الضوئي.

2 – تحتوي الخلية النباتية على فجوة كبيرة أو عدة فجوات صغيرة تسبب انتفاخ الخلية.

3 – تمتاز الخلية النباتية بقدرتها على التجدد وتكوين نبات جديد عند توفر الظروف المائلة للنمو والتكاثر وتسمى هذه الظاهرة Totipotency.

4 – الخلية النباتية لا تحتوي على الجسم المركزي.

5 – الخلية النباتية أكبر حجماً من الخلية الحيوانية.

تشترك الخلايا المختلفة للنباتات الراقية في كثير من المؤشرات البيولوجية العامة كعملية النمو Growth والتطور Development والتوالد الظاهري Morphogenesis من خلال تفاعلاتها البيوكيميائية وتخصصاتها الوظيفية.

**بنية ومكونات الخلية النباتية Cell components**

قد ساعدت التقنيات الحديثة في الفحص باستخدام الأجيال المتعاقبة من الميكروسكوب الالكتروني على كسب كماً هائلاً من المعلومات في مجال دراسة الخلية النباتية، بشكل عام تتألف بنية الخلية النباتية من **الأجزاء التالية:**

**أولاً**– الجزء الخارجي للخلية (القسم المحيطي) يشكله:

- الجدار الخلوي Cell Wall.

**ثانياً**– الجزء الداخلي للخلية (القسم الوسطي)، تشكله:

- المادة الحية Protoplasm، تتألف من ثلاثة أقسام، **هي:**

**1– الغشاء السيتوبلاسمي Plasmic Membrane**

**2– السيتوبلاسم Cytoplasm:** وهذه بدورها تحتوي على المكونات التالية:

☒ العضيات اللاحيوية (المكتنفات العاطلة):

- ✓ الجهاز الفجوي Vacuoles وعصارته.
- ✓ حصيلة الهدم والبناء (الاستقلاب الخلوي).

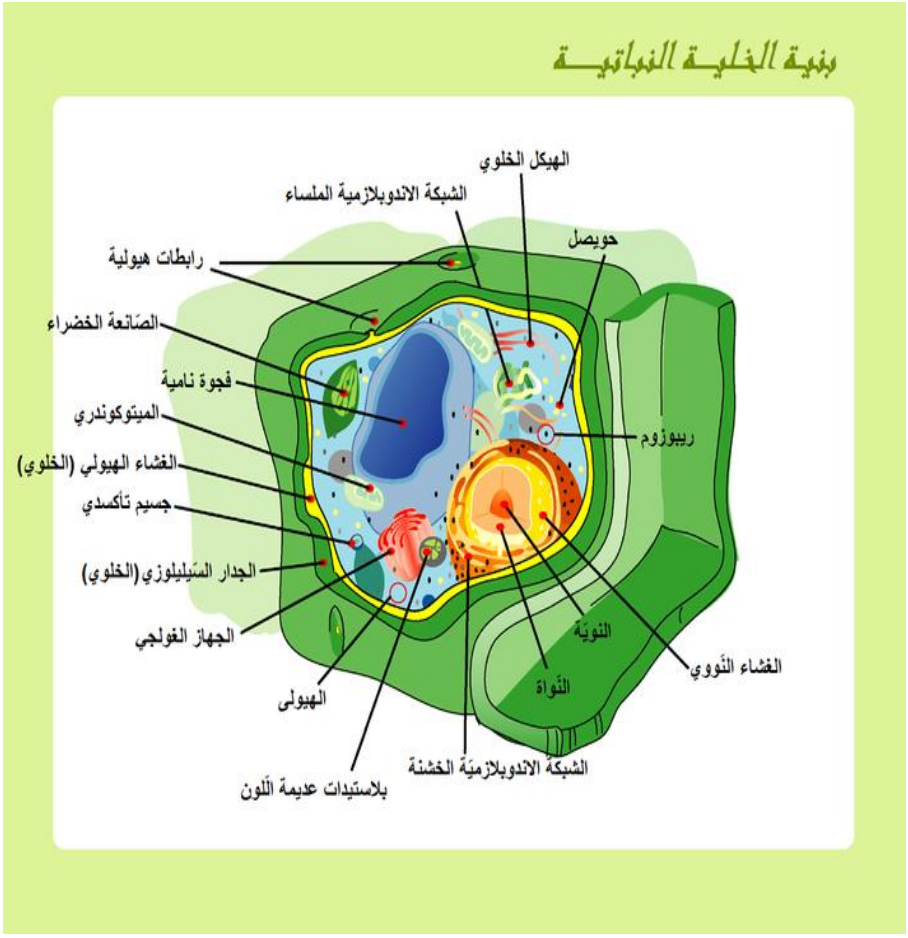
☒ العضيات الحيوية:

- ✓ الجسيمات الصانعة Plastids.
- ✓ الميتاكوندريا Mitochondria.
- ✓ الجسيمات الريبية Ribosomes.
- ✓ الشبكة الإندوبلاسمية Endoplasmic Reticulum.
- ✓ جهاز غولجي Golgy Apparatus.
- ✓ الجسيمات الدقيقة Microbodies.

**3– النواة Nucleus (البنى النووية)**

- ✓ الغشاء النووي Nuclear Membrane.
- ✓ البلاسما النووية Nucle (العصارة النووية Nuclear Sap).

- ✓ الصبغيات Chromosomes.
- ✓ النويات Nucleolus.




**شكل (1):** رسم تمثيلي للخلية النباتية ومكوناتها.

**أولاً– الجزء الخارجي للخلية (القسم المحيطي الخلوي)**

❖ **الجدار الخلوي Cell Wall**

هو أحد المكونات (العضيات) الخلوية اللاحية تفرزه الـ Protoplasm ليتشكل منه عنصر حاجزي متين يحيط بالخلية من الخارج لكنه غير مستمر (متقطع)، نتيجة تكون ووجود فتحات صغيرة محيطية تدعى بالنقر الجدارية pits Wall (الثغور الجدارية)، المبطنة بغشاء بلاسمي والناتجة عن الشبكة الإندوبلازمية، حيث تمر من خلالها الوصلات السيتوبلاسمية Plasmodesmata (خيوط بلاسمية) التي تعد الواصل بين بروتوبلازم الخلايا المتجاورة، لا يموت الجدار الخلوي بموت الخلية وموت الخلية لا يؤثر على وجوده إلا أن تخربه يجعل من محتوى الخلية كتلة كروية بروتوبلازمية.

**التركيب الكيميائي للجدار الخلوي**

يتباين التركيب الكيميائي للجدار الخلوي تبعاً للمجموعات النباتية، فهو كيتيني عند الأحياء الدنيا (فطور، بكتيريا) وسللوزي في معظم خلايا النباتات الراقية.

يتركب الجدار الخلوي النباتي من مركبات كربوهيدراتية معقدة تعد القاعدة الكيميائية لتركيبه لتشكل بمجملها جملة عمل واحدة (سيللوز، هيميسيللوز، مواد بكتينية)، ويضاف إلى هذه المجاميع البروتينات السكرية، إلا أن المركب الكيميائي الرئيسي والسائد للجدار الخلوي والذي يعد معظم إطارها هو السيللوز Cellulose (يشكل الهيكل الأساسي للجدار الخلوي)، محاطاً بمواد بكتينية وهيميسيللوزية ويعتبر كل من الخشبين Lignin (مادة كحولية مبلمرة مشتقة من مركبات فينيل بروبان)، والفلين Suberin والبروتينات وغيرها من المركبات مواد ترسيب ثانوية تساهم في تكوين الغلاف الثانوي وتزيد من متانة وصلابة الجدار الخلوي، وعلى جدر أنواع خلوية خاصة (خلايا بعض النباتات) تترسب مواد مخاطية وشموع وصموغ تمتلك وظيفة هامة لبعض الخلايا والأنسجة.

**1- السيللوز Cellulose**

معقد عضوي كربوهيدراتي رئيس يساهم في بناء إطار الخلية النباتية، يظهر السيللوز على صورة ألياف Fibriles تشبه الحبل، تتوضع وتترتب بشكل منتظم لتكتسب قوة ومتانة ميكانيكية تضفيها للجدار الخلوي.

**ألية تشكل الحبل السيللوزي (الليف السيللوزي)**

ترتبط سلاسل غلوكوزية تبلغ الـ 100 سلسلة لتنتج فتيتيات دقيقة Macrofibriles وفي الوقت نفسه ترتبط هذه الفتيتيات فيما بينها وتتوضع بشكل متوازي (روابط هيدروجينية ثنائية بين كل سلسلتين جزيئات الغلوكوز)، ليتتشكل الليفيات Macrofibriles التي ترتبط لينتج الحبل السيللوزي (الليف السيللوزي Fibrile).

**2- المركبات البكتينية**

تتوضع المركبات البكتينية بكمية كبيرة على الصفيحة الوسطى للجدار الخلوي، وهي:

a) حمض البكتين Pectic Acid: وهو على صورة أملاح بكتينات الـ Ca و Mg.

b) طليعة البكتين Protopectin: يلعب دور المادة اللاصقة لربط الخلايا المجاورة، وعند نضج الثمار يتفكك بروتوبكتين الصفيحة الوسطى، لذا تبدو الثمار رخوة.

c) البكتين Pectin: يتحول إلى محلول غروي وحالة هلامية تفيد في الصناعات الغذائية.

**3- الهيميسيللوز Hemicellulose**

يشكل مع ألياف السيللوز بنية شبكية معقدة ترتبط جزيئاته متعامدة على سطح الألياف السيللوزية، وحدات تكوينه سكاكر خماسية وسداسية، ولا يمكنه تشكيل ألياف بلورية كالسيللوز.

**كيميائياً تتمايز الخلايا النباتية عن الحيوانية من حيث الجدار الخلوي (عند الحيوانات تحاط بغشاء خلوي رخو)**

تختلف سماكة الجدار الخلوي بالعلاقة مع التركيب الكيميائي وفقاً للعوامل **التالية:**

1- العمر الخلوي النباتي:

- الخلايا الفتية: خالية من الترسبات الثانوية (خلايا ميرستيمة، خلايا ماصة ...).

- الخلايا البالغة: سميكة نتيجة ترسبات العضويات الثانوية.

2- الأنواع النباتية: في خلايا الكائنات الدنيا (فطور، بكتيريا) يتسم جدارها الخلوي بطبيعة كيتينية، بينما في الخلايا النباتية الراقية على الأغلب يمتاز جدارها الخلوي بطبيعة سيللوزية.

3- النشاط الفيزيولوجي للخلايا والنسج: تعد جدر الخلايا البارنشيمية أقل ثخانة بالكولانشيمية والسيكلارنشيمية نتيجة ترسبات كيميائية ثانوية.

**مراحل التكوين البنيوي للجدار الخلوي**

يبدأ نشوء الجدار الخلوي تدريجياً بدءً من اكمال الطور النهائي Telophase للانقسام الخيطي Mitosis بعد أن تكون نواة خلية الأم قد انقسمت إلى نواتين، لتهاجر وتستقر كل منهما في قطب من اقطاب الخلية.

إن التدرج في تكوين الجدار الخلوي يلازم المراحل التطورية للخلية (الانقسام، الاستطالة، التمايز) وخلال هذا التطور يكتمل تكوينه المرحلي المؤلف من ثلاثة مستويات طبقية (وحدات)، وهي:

- الطبقة الوسطى: تشكل الصفيحة الوسطى.
- الطبقة الداخلية: تشكل الجدار الأولي.
- الطبقة الخارجية: تشكل الجدار الثانوي.

**الطبقات المكونة للجدار الخلوي (الانقسام السيتوبلازمي)**

**1- تشكل الصفيحة الوسطى Middele Lamilla**

في بداية الانقسام السيتوبلازمي (بعد الانقسام النووي) تنتقل من جوف سيتوبلازم الأم بعض بنى غشائية أنبوبية للشبكة الاندوبلازمية، وتهاجر باتجاه اللوحة الاستوائية للخلية الأم مكونة تجمعاً ليفياً سيللوزياً. تترتب هذه العناصر جنباً إلى جنب ثم تلتحم مع حويصلات ينتجها جهاز غولجي، ثم يمتد هذا التجمع باتجاه الجدارين الجانبين مكوناً حاجزاً يفصل بين نواتي البنات يطلق عليه الـ Fragmoplast.

يعد الـ Fragmoplast أصل الجدار الخلوي، وعلى امتداده تتكون فتحات دقيقة لكي تمر عبرها أنابيب الشبكة الإندوبلاسمية ليتم الاتصال بين خلايا البنات المتشكلة.

حويصلات جهاز غولجي مخزنة للمركبات الكيميائية التي تعمل على التصاق مكونات الصفيحة الوسطى وبالتالي التحام جدر الخلايا الناتجة عن الانقسام.

**مكونات الصفيحة الوسطى (العناصر المهاجرة إلى اللوحة الاستوائية)**

a) خيوط مغزل الانقسام (نبيبات دقيقة Microtubules).

b) بقاية الكييسات والأنابيب الغشائية للشبكة السيتوبلازمية الداخلية.

c) حويصلات غولجي (مركز تجمع العضويات الكيميائية اللازمة لتكوين الصفيحة الوسطى).

**أغشية هذه المكونات ستشكل بعد ذلك الغشاء السيتوبلاسمي لخلايا البنات التي نتجت عن الانقسام الخلوي لخلايا الأم.**

على ما يبدو في بداية تكوين الجدار الخلوي أن المواد الكيميائية التي تفرزها حويصلات جهاز غولجي على الصفيحة الوسطى تتمثل في مركبات بكتينية شبه هلامية تعمل كمادة لاصقة بين الخلايا المتجاورة، بينما متانتها في المراحل المتأخرة للجدار الخلوي تكمن في تراكم كل من أملاح حمض البكتيك (ملح بكتات الـ Calcium Ca pectate بشكل خاص، والـ Mg، مركبات لا منحلة) والسيللوز وأحياناً الخشبين Lignin.

**المركبات الكيميائية الرئيسية للصفيحة الوسطى:**

**– حمض البكتيك: طبيعته هلامية، تؤلفه وحدات حمض جلاكتورونيك**

**– مركبات بكتينية: أملاح بكتات الكالسيوم والمنغيزيوم (عامل الصلابة)**

**– طليعة البكتين: بروتوبكتين (بنسبة بسيطة جداً).**

**– سكريات معقدة: السيللوز.**

تجد الإشارة هنا إلى أنه من الصعب تمييز الحد الفاصل بين الغلاف الابتدائي لخلايا النبات والصفيحة الوسطى، لكون هذه الأخيرة متوضعة بصورة متلاصقة جداً بين الجدر الأولية للخلايا المتجاورة (خلايا النبات)، ولهذا السبب تعتبر الصفيحة الوسطى عنصر تشاركي بين كل الخلايا المتجاورة، ولا تعد في الحقيقة جداراً متميزاً بل تشكلها هو ناتج تجمع من المركبات البكتينية.

**الوظائف العامة للصفيحة الوسطى**

- التصاق الخلايا المجاورة بفعل المركبات البكتينية الهلامية (تكوين النسج).
- فصل الخلايا المجاورة بألية تحلل المواد البكتينية (ظاهرة التهلم).
- تتراكم فيها نواتج الحلمهة لتستخدم بعد ذلك في إعادة بناء وتنظيم الجدار الخلوي.

**دور مكونات الصفيحة الوسطى هو لصق جدر الخلايا المجاورة لتعمل على تماسك كل العدد الهائل من خلايا الأنسجة المكونة للنبات ككل.**

### 2- تكوين الغلاف الابتدائي (الجدار الأولي) Primary Wall

يعد الغلاف الابتدائي أول ما ينتج من البروتوبلازم Protoplasm في تكوين جدار الخلية، ومباشرة عقب تشكل الصفيحة الوسطى، تتنشط الخلية وتزداد في التمدد والحجم وبالتالي في النمو (طور الاستطالة وبدء التوجه نحو البلوغ) ويرافق ذلك بدء تكوين الجدار الابتدائي.

بمجرد تكوين الصفيحة الوسطى تزداد الخلية في الحجم وتستطيل ويصحب هذه الإستطالة تشرب الصفيحة الوسطى، ويطلق على هذه الطبقة بالغشاء البلازمي للجدار الأولي. تتميز الجدر الأولية (كربوهيدرات، بروتين) بمطاطيتها نتيجة لمرونة تركيبها ولكن عندما يرسب عليها مكونات جديدة للجدر تفقد جزءاً من مطاطيتها، تزامناً مع نمو حجم

الخلية (استطالة مقايسها) وتمايزها، تتشرب الصفيحة الوسطى تجمع كربوهيدراتي وبروتيني، حيث تقوم جسيمات غولجي المنتشرة في سيتوبلاسم خلايا البنات بإنتاج جديد من المركبات (تتباين نسبة وجودها باختلاف الخلايا– سيللوز هيكل أساسي، وهيميسيللوز وجليكوبروتينات ومواد بكتينية مواد مكملة، بعض البروتينات الغنية بالحموض الأمينية كالبرولين Proline والهيدروكس برولين Hydroxyproline)، وعن طريق حويصلاتها الإفرازية تنتقل وتترسب على وجهي الصفيحة الوسطى (تتكون من مواد جلاتينية تشبه في الفعل الصمغ اللاصق)، لتتشكل وحدة طبقية جديدة بسماكة (3–1 ميكرون) تسمى طبقة الجدار الابتدائي (وهو ناتج ترسيبي أولي للبروتوبلازم)، التي تظهر على وجهي الصفيحة الوسطى الخاص بكل خلية من خلايا البنات، عندئذ تصبح الصفيحة الوسطى محصورة بين جدارين ابتدائيين لخليتين متجاورتين. تتميز الجدر الإبتدائية خلال زيادة حجم الخلية بمطاطيتها Elastic نتيجة مرونة تركيبها، إلا أنها تتغلظ وتصبح صلبة في نهاية زيادة حجم الخلية، نتيجة ترسب مكونات جديدة لذلك تفقد جزءا من مطاطيتها.

يستمر تكوين وترسب مواد الجدار الابتدائي طول مرحلة الاستطالة وذلك **بعمليتين:**

- الاغماد الداخلي Intrassusception: وهي دخول المواد الجدارية الناتجة من السيتوبلاسم مباشرة في فراغات الجدار.
- التراكم Apposition: ترسيب المواد الجدارية في صورة طبقات جديدة فوق طبقات الجدار السابق تكوينها.

تتشكل مناطق رقيقة على امتداد هذه الطبقة تتراكم عليها أجزاء من الشبكة الإندوبلازمية والنبيبات الدقيقة لتكوين الـ Plasmodesmata (واصلات بلاسمية) الواصل بين الخلايا المجاورة.

**يتميز الجدار الأولي بالخصائص التالية:**

1- مرونته الكبيرة وغناه بالماء وبتكوين كيميائي بكتوسيللوزي وهيميسيللوز وبكتين (نتيجة مرونة هذه المركبات)، وهذا ما يسمح باستطالة الخلية بسبب المواد البكتينية وتبعثر الألياف السيللوزية.

2- المطاطية العالية القابلة للتمدد (الاستطالة)، لاحتوائه على كم من السيللوز الغير متبلور والمسام الدقيقة التي تمتلئ بالمركبات البكتينية المحبة للماء.

تدريجياً وتزامناً مع نمو حجم الخلية وترسيب مكونات الجدار الابتدائي ترتفع صلابته ويفقد مطاطيته نتيجة انخفاض نسبة السيللوز الغير متبلور وارتفاع نسبة المتبلور، وحينها تتوقف الخلية عن النمو.

**تتم عملية نمو الخلية نتيجة امتصاص كميات من الماء وضغط فجواتها المنتبجة على السيتوبلازم فيتمدد الجدار الأولي نتيجة مرونته (تتم الاستطالة).**

**3- تكوين الغلاف الثانوي (الجدار الثانوي) Secondary Wall**

عند بلوغ الخلايا الحجم النهائي (نهاية تكوين الغلاف الابتدائي)، يتوقف كل من تمددها وترسيب العضويات الكيميائية على جدرها، لذا تمتاز هذه الخلايا بالجدار الابتدائي فقط كالخلايا (الجنينية، البارنشيمية، التمثيل الغذائي، الخلايا المرافقة، ماصة، بشرة، الأنابيب الغربالية).

في بعض الأنماط الخلوية الأخرى (الألياف، القصبات، الأوعية الناقلة، الخلايا الحجرية)، تتغلظ جدرها أكثر نتيجة استمرار ترسيب متتابع لطبقات ثانوية مكملة من مركبات عضوية تختلف وفقاً لنمط الخلية كالسيللوزية (80 %- ألياف اللحاء في الكتان) والخشبين Lignin (القصبات، الخلايا الحجرية) والسوبرين (الخلايا الفلينية) والكوتين (خلايا بشرة الأوراق والسوق العشبية) على الجدار الأولي وباتجاهات مختلفة فيتشكل غلاف آخر يطلق عليه بالجدار الثانوي، الذي تكوينه يلي الجدار الابتدائي ويحدد شكل الخلايا، بمجرد تكوين الجدار الثانوي يتوقف تمدد الغلاف الأولي (توقف استطالة الخلية ونموها) نتيجة فقد مرونته (يصبح غير مطاطي).

بعد الانتهاء من الترسيب الثانوي للمركبات العضوية (تكوين الجدار الثانوي) تصبح جدر الخلايا غير مرنة وغير مطاطية، عند ذلك تفقد الخلايا خاصية الاستطالة والنمو في الحجم.

قد يتعاظم تغلظ الجدار الثانوي بالترسيب العضوي الزائد إلى حد يشغل جوف الخلايا، مما يقود الأمر إلى موت البروتوبلازم تاركاً في وسط الخلية تجويفاً ضيقاً مكانه، فتصبح الخلية ذات بنية جدارية فقط (الخلايا الحجرية، القصبات).

إن سماكة وصلابة الجدار الثانوي تعودان إلى أن بنيته تكونها عدة طبقات وفقاً لتباين في اتجاهات توضع الياف السيللوز الدقيقة. وعلى الأغلب تتألف بنية الجدار الثانوي من ثلاث طبقات، **وهي كالتالي:**

- الطبقة الأولى ($S_1$): توضعها خارجي، وهي عبارة عن طبقة انتقالية تتوزع وتترتب الألياف السيللوزية فيها بشكل متوازي.
- الطبقة الثانية ($S_2$): توضعها وسطي، وهي طبقة سميكة مركبة من عدة طبقات تتوزع الألياف السيللوزية عليها بشكل عشوائي ومبعثر ولذلك تشغل 75 % من الجدار الخلوي.
- الطبقة الثالثة ($S_3$): توضعها داخلي، وهي طبقة حبيبية رقيقة جداً لاسيللوزية، ويعتقد أنها تجمع لبقايا عضيات متخربة (عاطلة عن العمل) لها دور في مقاومة الكائنات الدقيقة (الجراثيم الممرضة).

**- في خلايا بعض النباتات يتألف الجدار الثانوي من أكثر من ثلاث طبقات (ألياف الكتان والقطن، قصبات الموز)**
**- إن الاختلاف في توزع ألياف السيللوز تبعاً لطبقات الجدار الثانوي تمنحه قوة وصلابة ومتانة كبيرة.**
**- جدران الخلايا النباتية هي هياكل ديناميكية وليست حواجز صلبة وثابتة.**

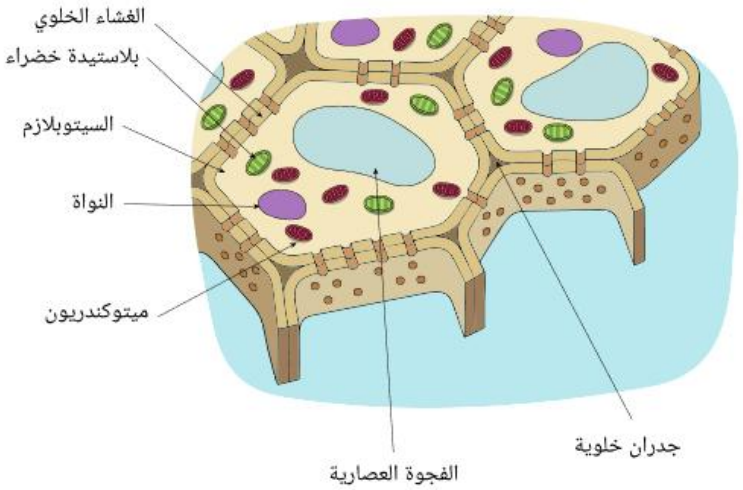
**الـ Lignin (الخشبين):** مركب كحولي من مشتقات الفينيل بروبان، يحتل المركز الثاني من حيث السيادة بعد السيللوز بين مركبات النبات. أهميته تعود إلى أنه يضيف ويزيد من صلابة التراكيب التي يكونها. تصادف هذه المادة في الجدار مع الهيميسيللوز ومركبات أخرى ترتبط بالسيللوز.

**مصادر المكونات العضوية للجدار الخلوي**

يتم تركيب المواد العضوية المترسبة والمشكلة للجدار الخلوي في السيتوبلاسم (المنبع)، ومن ثم تهاجر عبر الـ Plasmalemma إلى موضع انشاء الجدار الخلوي (المصب):

a) بروتينات الجدار الخلوي تنتجها الشبكة الإندوبلازمية الخشنة (المرتبطة بالريبوزومات)، ثم تنتقل إلى جهاز غولجي.

b) السكريات المعقدة (السيللوز والهيميسيللوز والمركبات البكتينية) تنتجها أجسام غولجي، ثم تتجمع هذه المركبات في حويصلات تتبرعم من أجسام غولجي وتتحرك نحو الغشاء البلازمى حتى تصل إليه فتندمج معه بطريقة عكس طريقة البلعمة، بحيث تنتشر محتوياتها على السطح الخارجي للغشاء البلازمى في منطقة تكوين الجدار.




**شكل (2): الشكل يوضح عدة خلايا نباتية متصلة فيما بينها من خلال جدرانها الخلوية.**

**تغيرات بعض خواص الجدار الخلوي**

نتيجة التغيرات التي تحدث أثناء التمايز الخلوي تتعدل الطبيعة الكيميائية الأساسية السيللوزية، فتتغير الخواص الفيزيائية والكيميائية والفيزيولوجية للجدار الخلوي:

أولاً- نفاذية الجدار الخلوي Bermeability

1- التقشرن Cutinization

تتشرب الجدر الخارجية لخلايا بشرة الأوراق مادة القشرين Cutin مشكلة طبقة تدعى القشيرة، تفيد في تقليل فقد الماء (انخفاض النتح).

2- التشمع Cerification

تفرز بشرة بعض الأجزاء النباتية (الملفوف، ثمار القرع والاجاص والموز) مادة شمعية على قشيرة الجدر الخلوية مما يزيد من قدرتها على مقاومة الجفاف (منع فقد الماء).

3- التفلن Suberization

توضع مادة الفلين يكون بشكل صفائح متتالية ومتراصة على السطح الداخلي للجدار الخلوي:

- تفلن ناقص: يسمى تفلن لا كتيم نتيجة عدم ترسيب الفلين على كامل الجدار الخلوي (تفلن غير تام)، لذلك لا تسبب هذه الحالة موت البروتوبلازم (تحافظ على حيويتها).
- تفلن كامل: يتوضع الفلين بشكل تام على الجدار الخلوي مما يقود إلى موت الخلايا- نتيجة موت البروتوبلازم- بسبب عدم نفاذية الجدار للماء والغازات. تفلن تام.

4- التهلم Gelification

نتيجة لنشاط إنزيمات البكتيناز (محلل للبكتينات Pectolytic Enzymes)، تتحول المواد البكتينية إلى حالة قابلة للانحلال لذلك تتحلل الصفيحة الوسطى، الأمر الذي يؤدي إلى ظهور الحالات التالية:

1- انفصال خلايا نسج بعض الأجزاء النباتية:

- رباعيات حبات الطلع. - خلايا النسيج اللحمي للفواكه.

– تساقط الأوراق والقطع التويجية. – تشكل النسيج الفراغي البارانشيمي.

2– ليونة الثمار الناضجة:

بسبب النشاط الإنزيمي الناتج عن تراكم المواد البكتينية تفقد الصفيحة الوسطى ترابطها وتصبح هلامية، وهذا ما يؤدي إلى ليونة الثمار الناضجة.

3– تشكل المخاط النباتي Mucillage

تتحول المواد البكتينية إلى إفرازات مخاطية لزجة نتيجة شدة التهلم، وقد يكون:

– الإفراز داخلي: يفرز المخاط على الجدار الخلوي بدل التوضعات الثانوية.

– الإفراز خارجي: يتم الإفراز بين الخلايا وعلى سطح العضو النباتي.

4– إفراز الصموغ Gommes

إن الإفراز الشديد للسيتوبلازم للمركبات السكرية البكتينية القابلة للتهلم يؤدي إلى موت الخلية وتحللها مشكلة في النسج جيوب صمغية تفرز مادة الصمغ (كما في المشمش والكرز).

ثانياً– صلابة الجدار الخلوي

❖ التمعدن Mineralization

تترسب أملاح كريستالية ولا كريستالية لأملاح بعض المعادن على سطح الجدار الخلوي فتكسبه صلابة إضافية، وهذا يفيد في قلة التهام الحيوانات والطفيليات للأعضاء النباتية. وتتم عملية التمعدن بـ:

- التكلس: ناتج عن ملح ($CaCO_3$)، حيث تتجمع جزيئاته تحت البشرة (ورقة تين المطاط) على شكل بلورة عنقودية. وقد يظهر الكلس عند الطحالب الحمراء فتصبح جدرها كالحجارة.
- التسلس: تراكم ($SiO_2$) ثنائي أوكسيد السيليكون أو السيليكيا على سطح الخلايا (سبب قساوة أفراد الفصيلة النجيلية هو التسلس).

❖ التخشب Lignification

توضع مادة الخشبين على الجدار الخلوي تعطيه صلابة ومتانة ميكانيكية فتنعدم مرونته ويصبح غير قابل للتمدد. ويصادف التوضع في صورتين:

1- توضع جزئي: يأخذ التخشب تزين (شبكي، حلقي، حلزوني، سلمي)، كما في الأوعية الخشبية الناقلة.

2- توضع تام: يترسب الخشبين بين الليفات السيللوزية للجدار الأولي والثانوي (الأنسجة السكليرنشيمية).

**ظاهرة صلابة الثمار**

أثناء النضج تجري تبدلات كيميائية للجدار الخلوي تؤثر في صلابة وليونة الثمار، وتتحدد هذه الحالات بإفرازات حويصلات غولجي أثناء تكوين طبقات الجدار (الصفيحة الوسطى، الجدار الأولي، الجدار الثانوي) التي تختلف بالإفرازات الكيميائية كماً ونوعاً. تمتاز كيمياء الصفيحة الوسطى والجدار الأولي بالتالي:

1- حمض البكتيك: أربع وحدات جلاكتورونيك وسكر الارابينوز (5C) والجالاكتوز (6C) واتحاد الميثيل بـ COOH لتكوين ميثيل استر.

2- البكتينات: وحدات حمض البكتين مرتبطة بالـ (Ca وMg)، أو السكريات أو روابط هيدروجينية ليتشكل مركب وزنه الجزيئي عالي الذي يسبب صلابة أغلفة الثمار، والـ (Ca) أهمية كبيرة في صلابة الثمار لأنها تعود إلى اتحاد الكالسيوم مع البكتين وحمض البكتين.

**ظاهرة ليونة الثمار**

ترجع ليونة الثمار عند النضج إلى ذوبان المواد البكتينية للصفيحة الوسطى وتفكك ترابطها، ويتم ذلك بألية انزيمية التي تعمل على تحلل المركبات البكتينية. وخلال عملية التحلل الانزيمي يفصل الـ (Ca) من البكتينات وحمض البكتين، الأمر الذي يؤدي إلى فقد الثمار صلابتها. مع تقدم الثمار بالنضج تتعاظم عملية التحلل ويساعد في ذلك الإنزيمات التالية:

- البروتوبكتيناز: يحلل البروتوبكتين إلى حمض البكتين.
- بكتين ميثيل أستر: يحطم رابطة ميثيل أستر في حمض البكتينيك والبروتوبكتين،

- بولي غلاكتوريناز: يفكك الرابطة الغليكوزيدية لتقصير السلسلة.

**المركبات البكتينية**

**– 5 % ثمرة البندورة و17 % ثمرة التفاح و35 % ثمرة الليمون**

**– كلما ارتفعت الميثلة (ميثيل استر) ازدادت صلابة الثمار.**

**– إن سبب عدم تماسك خلايا نسج ثمار الفاكهة أثناء النضج هو انحلال الروابط البكتينية للطبقة الوسطى، حيث تنقد هذه المواد خاصتها اللاصقة بالانزيمات البكتولية Pectolytic enzymes التي يزيد نشاطها بنضج الثمار.**

**– تتفكك خلايا النسج الثمرية في حال حفظ الثمار في محلول الـ NaCl المركز نتيجة حلول الـ Na محل Ca و Mg.**

**الوظائف (الأدوار) التي يقوم بها الجدار الخلوي:**

- إعطاء هيكل هندسي معين للخلية وحاجز للمحتوى الداخلي للخلايا المجاورة:

يشكل كل من الصفيحة الوسطى والجدار الأولي غلاف يفصل بين خلايا النسج (الخلايا المجاورة).

- يمنح الخلايا قوة ميكانيكية متماسكة تفيد في صلابة واستقامة النبات:

تتوضع الخلايا المتصمغة (الكولنشيمية) والمتخشبية (السكلرنشيمية) بشكل أساسي في الطبقات الخارجية للأعضاء لتكسب النبات المتانة والقوة (الدعم الميكانيكي)، وذلك بتصمغ جزئي للجدار الأولي (الكولنشيم)، أو بتخشب الجدار الثانوي (السكلرنشيم)، الأمر الذي يكسب الجدار مقاومة فيزيائية يعاكس انتباج الخلية.

- يعد عامل رئيسي ودفاعي ضد العوامل البيئية:

حماية مكونات البروتوبلازم (المحتوى الداخلي) من العوامل الفيزيائية والكيميائية البيئية ومن مقاومة بعض الأمراض البكتيرية والفيروسية والفطرية (وفق اعتقاد علماء الأمراض يعيق اختراق الطفيليات لاحتوائه على مضادات اختراق).

- يساهم في نمو وتمايز الخلايا بسبب مرونة جداره الابتدائي.

**أصبغة الثمار**

**a) صبغات تذوب في الماء:**

- الفلافونول (أصفر، أصفر مبيض).
- الفلافونات (أصفر، كريمي فاتح).
- الانتوسيانين (الأحمر إلى الأزرق) وفي حال أتحاد هذه الصبغات مع المركبات الفينولية في الثمار يظهر اللون البني.

**b) صبغات تذوب في الدهون:**

- الكلوروفيلات (a و b) اللون الأخضر.
- الكاروتينات (الأصفر والبرتقالي مثل الفا وغاما كاروتين، الاكزانتوفيلات، الليكوبين).

**إن اللون الأحمر في كل من ثمرة (التفاح، الدراق، المشمش، الخوخ، العنب، الرمان) يرجع إلى الانتوسيانين.**

يأخذ الكلوروفيل في التأكسد والاضمحلال كلما تقدمت الثمار بالنضج، ومع اختفائه تبدأ الصبغات الأخرى في الظهور ويفقد الكلوروفيل فيتحول إلى مركب Pheophytin الذي يتحول إلى Chlorins وهي مواد عديمة اللون. تمر الكاروتينات في عدة تحولات لتتشكل (تنتج من أتحاد مركب الاسيتيل مع حمض الليوسين لينتج مركب حمض الميغالونيك الذي تتكشف منه ثمان وحدات ليكون Phytoene ثم Phytofluene ثم Neurosporne (هذه المواد عديمة اللون)، عند هذا الحد تكون الثمار وصلت إلى مرحلة اكتمال النمو، وفي بداية النضج يتحول مركب

Neurosporne إلى كاروتين أو ليكوبين ثم اكزانتوفيل، وذلك بمساعدة الضوء الذي يساعد على تغيير لون الانتوسيانين تبعاً لدرجة حموضة المحلول الذائب في العصير الخلوي (أحمر في الوسط الحامضي، بنفسجي في الوسط المعتدل، أزرق في وسط القلوي).

المركبات الفينولية تشمل عدد من الاحماض العطرية المنتشرة في الثمار، حيث تلعب دوراً كبيراً في تحديد طعم الثمار ومدى صلاحيتها.

التانينات عبارة عن مواد فينولية عديدة (ناتجة عن استرات سكرية لحمض الجاليك واللاجيك) مسؤولة عن الطعم القابض قبل اكتمال نمو الثمار.

**إن توفر الضوء داخل قلب الشجرة ضروري لتكوين الألوان وجودة الثمار (تقليم الأشجار ضروري للسماح للضوء بالتغلغل في قلب الشجرة لتشكيل الألوان).**

**النقر الجداري Wall pit**

ثقوب دقيقة جداً تتشكل على الجدار الخلوي في فترة تكوين الجدار الأولي، وذلك نتيجة ترسيب غير متجانس لمكونات الجدار الابتدائي على الصفيحة الوسطى، بحيث تتشكل مناطق ثخينة ومناطق رقيقة، تدعى هذه الأخيرة بحقول النقر الابتدائية Primary pit fields. توجد حقول النقر الابتدائية في جدر الخلايا الحية مثل الخلايا (المرستيمية والبارنشيمية والأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة).

وما النقر إلا فتحات تمر من خلالها امتدادات سيتوبلاسمية (وصلات سيتوبلاسمية) التي تعمل على:

- ربط بروتوبلازم (المادة الحية) الخلايا المجاورة.
- نقل الماء والذائبات بين الخلايا المتجاورة.

تأخذ النقرة الجدارية المظاهر التالية:

- ✓ النقرة المزدوجة Pit–pair: ثغور في أزواج متقابلة على جدر الخليتين المتجاورتين.
- ✓ النقرة العمياء Blind pit: تظهر الفتحات الجدارية على جدر الخليتين المتجاورتين دون أن تتقابل.

**الواصلات السيتوبلازمية Plasmodesmata**

وهي امتدادات سيتوبلاسمية (روابط سيتوبلاسمية) تأخذ شكل خيوط بلازمية دقيقة مجوفة تقع بين جدران الخلايا النباتية لتسمح للجزيئات التي وزنها الجزيئي (700–900 دالتون) بالمرور بين خلايا النباتات (الاتصال بين سيتوبلاسم الخلايا)، بطريق المسار الحيوي Symplast transport. بينما المسار الميت Apoplast transport وهو الطريق الذي يسلكه انتقال المواد خلال الجدار الخلوي. إن التوصيل البعيد (أماكن بعيدة عن مصادر الغذاء) يتم بألية الانتشار الحر أو تدفق الكتلة من خلال الوصلات البلاسمية. كما تقوم هذه الامتدادات بوظيفة الربط بين سيتوبلازم الخلايا المجاورة (خلايا النسيج– مجاميع خلوية) لتجعلها منظومة واحدة.

**الأنيبيبات الدقيقة Microtubules**

وهي أنابيب غشائية مجوفة طبيعتها بروتينية، تمتلك أهمية كبيرة في حياة الخلية، حيث:

- تشكل المغزل أثناء حادثة الانقسام الخلوي.
- تلعب دوراً أساسياً ومباشر في توجيه ترسيب اللويفات السيللوزية الدقيقة عند تكوين الجدار الخلوي خاصة أنه قد لوحظ انتظامها بجوار الجدر أثناء تكوينه (اللويفات الدقيقة يتم ترسيبها في المراحل الأولى من تكوين الجدار بشكل شبكي، بينما يتم ترسيبها في المراحل المتأخرة من تكوين الجدار في نظام متوازي).

- دعم ومساعدة الوسط الداخلي للخلية (الهيكل الخلوي) على الاحتفاظ بشكله وطبيعته ونشاطه (حركة العصارة الخلوية cytosol وحركة الكروموزات في الانقسام المتساوي Mitosis والاختزالي Meiosis).

**الخيوط الدقيقة Microfilaments**

تُعرَّف الخيوط الدقيقة بأنَّها قُضبان صلبة تتكوّن من البروتينات الكرويّة (كالاكتين)، وهي مكون مهم في الهيكل الخلوي.

# الفصل الخامس

**ثانياً– الجزء الداخلي للخلية (القسم الوسطي)**

❖ **المادة الحيوية (البروتوبلازم Protoplasm)**

**Protoplasm:** منظومة معقدة من الناحية التركيبية والبنيوية والفيزيولوجية، تشغل وسط كل جملة خلوية من خلايا حقيقيات النواة وبدائيات النواة (عدا الفيروسات). والبروتوبلازم ما هي إلا عبارة عن كتلة حية سائلة شبه شفافة لا متجانسة بسبب التنوع في حجم مكوناتها البنيوية ومركباتها الجزيئية التي تسبح ضمن السيتوبلاسم الأساسية الشفافة التي تدعى بـ Hyaloplasm، حيث يشكلها الماء بنسبة (85 %) والمركبات العضوية بنسبة (15 %)، وإن خصائص هذه التراكيب بما تمتاز به من صفات (فيزيائية وكيميائية) لها أهمية كبيرة كونها تنعكس على خصائص البروتوبلازم.

داخل الـ Protoplasm عوامل كيميائية وبنى غشائية بيولوجية بمقدورهما ومن خلال التفاعل مع الوسط المحيط تأمين ظروف ملاءمة لتحقيق عمليات فيزيائية (حركة، مرونة، غروية، لزوجة) وكيميائية (حموضة، قلوية، شوارد، وسائط، مواد مختلفة) وفيزيولوجية تعكس مستوى الاستمرار الذاتي لمظاهر حياة خلايا النبات.

يحاط بروتوبلازم كل خلية بغلاف بيولوجي دقيق جداً ملاصق للجدار الخلوي يدعى الغشاء السيتوبلازمي Plasmalemma ذو أهمية فيزيوبيوكيميائية.

يتميز بروتوبلازم كل خلية بأنه على اتصال دائم مع بروتوبلازم الخلايا المجاورة، ويتم ذلك عن طريق الواصلات السيتوبلازمية Plasmodesmata.

**الطبيعة والخصائص العامة للمادة الحية Protoplasm**

أولاً- الصفات الكيميائية للبروتوبلازم:

- قسم سائل (80-85 %): المكون الرئيس هو ($H_2O$).
- قسم جاف (15-20 %): مواد لا عضوية وعضوية (ليبيدات 2-3 %، بروتين50 %، سكريات، حموض نووية، عضويات أخرى، أملاح لا عضوية، وغيرها من الروابط- وفقاً لوزنها الجاف).

ثانياً- الصفات الفيزيائية للبروتوبلازم:

a) الطبيعة الغروية Colloide

تبدو الـ Protoplasm نظاماً غروياً Colloide بطبيعة لزجة هلامية مرنة، الأمر الذي يفيد في:

- إتاحة سطوح مساحية غير محدودة ضرورية للادمصاص Adsorption.
- الديناميكية (الحركة) الكيمياوية ومن ثم التفاعلات اللازمة للحياة.

يتألف النظام الغروي (المحلول الغروي) من طورين:

- ✓ طور المنتشر: ويقصد به المواد المذابة (المنحلة، المجزأة) كالبروتينات والسكريات والجلاتين وكلوريد الحديد والنشا وغيرها من المركبات.

✓ طور الانتشار: وهو المادة السائلة التي تذوب فيها المادة المنحلة (المذابة) مثل الماء أو الكحول وغيرها من المركبات المذابة.

تقسم الغرويات إلى قسمين:

- غرويات محبة لوسط الانتشار Hydrophilles

يتشكل حول المادة الغروية (النشا، الصمغ، البروتينات، الجلاتين ...) طبقة مائية تدعى طبقة الإماهة.

- غرويات كارهه لوسط الانتشار Hydrophobes

وفيه لا تتكون حول المادة المجزأة (ماءات الحديد، ماءات الألمنيوم ... ) طبقة الإماهه.

b) الطبيعة الامتصاصية

يتشكل غشاء مائي (طبقة إماهة) حول الغرويات المحبة للماء (سكريات، بروتينات) كعملية إنبات البذور التي تجري نتيجة تشرب موادها الغروية للماء.

c) الطبيعة الادمصاصية

قدرتها على ادمصاص الأيونات والجزيئات على سطوحها الواسعة (بفضل الدقائق الغروية)، كادمصاص الماء على سطوح الأغشية البيولوجية نتيجة انجذاب الجزيئات المائية إلى مركبات المادة الحية المحبة للماء.

d) الطبيعة اللزجة

لزوجتها عالية (بسبب البروتينات الخيطية– النبيبات الدقيقة) وتتغير وفقاً لـ:

1– عمر الخلية: الخلايا الفتية سيولتها أكبر من البالغة (لانخفاض نشاطها الفيزيولوجي).

2– العوامل البيئية: ترتفع لزوجتها في البيئات غير الملائمة (الإجهادات Stresses).

| **– اللزوجة: مقدار المقاومة التي تبديها جزيئات البروتوبلازم.** |
|---|

**– لزوجة البروتوبلازم تضاعف بمرات كثيرة جداً لزوجة الماء.**

e) الطبيعة الديناميكية

تختص البروتوبلازم بعدة مؤشرات حركية تدل على نشاطها البيولوجي العالي، وهي:

- الحركة البراونية

نتيجة الاصطدامات المتتالية للغرويات– في وسط الانتشار– تتنافر الدقائق المعلقة (بسبب تماثل شحناتها) الأمر الذي يقود إلى اهتزازات عشوائية داخل السيتوبلازم.

- الحركة الانسيابية

وهي حركة السيتوبلاسم في اتجاهات مختلفة بالإضافة إلى تجاوز هذه الحركة من خلية إلى خلية أخرى عبر القنوات البلاسمية (وصلات سيتوبلاسمية).

- الحركة الدورانية Cyclosis

على طول الجدار الخلوي تدور السيتوبلازم حول الفجوة الضخمة (وهي عملية تسهل انتشار المواد داخل الخلية انتشار). تعد هذه الحركة ميزة للخلايا البالغة.

- الحركة الجدولية (الشبكية)

حركة دورانية للسيتوبلازم حول كل فجوة من الجهاز الفجوي وباتجاهات مختلفة (تظهر هذه الحركة في الخلايا الفتية التي تحتوي على عدة فجوات– الجهاز الفجوي).

f) الطبية التكويمية Coacervation

في حال إزالة جزيئات الماء المتشكلة حول مركبات البروتوبلازم (الشرهه للماء) بالحرارة تتكتل هذه المركبات وتقترب من بعضها البعض.

g) ظاهرة تندل Tyndal effect

عند تسلط إضاءة جانبية –وليس سفلية– على الوسط البروتوبلازم الخلوي، تبدو هذه الأخيرة تحت المجهر على هيئة جزيئات دقيقة لماعة مبعثرة، وهذه ميزة تعد من أهم خصائص المحلول الغروي ولا يبديها المحلول الحقيقي.

ثالثاً– الطبيعة الفيزيولوجية (النشاط الوظيفي) للمادة الحية

للبروتوبلازم نشاطات بيولوجية (فيزيوبيوكيميائية) يكمن هدفها في تأمين استمرارية الصفة الحيوية للخلية، ولهذا السبب تعد المادة الحية (البروتوبلازم):

- ✓ مصنع للاستقلاب الخلوي (الهدم والبناء بوسائط كيميائية– الإنزيمات).
- ✓ مركز للنشاطات الوظيفية (وظائف– تنفس، بناء ضوئي، اطراح، نقل ... ).

رابعاً– الطبيعة البنيوية للمادة الحية

تتألف بنية البروتوبلازم من عدة مكونات تدعى العضيات الخلوية Cell Organelles. وهذه الأخيرة ما هي إلى عبارة عن خيوط وأنابيب وكييسات وحويصلات دقيقة (أغلبها أغشية بلازمية وحبيبات)، مختلفة متباينة شكلاً وحجماً وتركيباً وفيزيولوجياً لكنها منتظمة ومتناسقة فيما بينها.

**التقسيم البنيوي للمادة الحية:**

اولاً– الغشاء السيتوبلاسمي Plasma Membrane

ثانياً– السيتوبلاسم Cytoplasm (مكونات بلاسمية).

ثالثاً– النواة Nucleus (مكونات نووية).

**– البروتوبلاست Protoplast: مصطلح يطلق على الخلية في حال إزالة الجدار الخلوي مع الاحتفاظ بباقي المكونات (العضيات) السيتوبلازمية Cytoplasmic Organelles**
**– تبقى Protoplasm الخلايا جميعها على اتصال دائم بفضل الواصلات السيتوبلازمية.**

**الأغشية البيولوجية Biological Membranes (الأغشية الحيوية)**

إن اختراع المجاهر (الفوتوني والالكتروني) وأجهزة التحليل الكيميائي ساهم في أضافة معلومات دقيقة تخص دراسة الخلية من الناحية البنيوية والتركيب الكيميائي.

ولقد ثبت بواسطة هذه الأجهزة الفيزيائية أن الخلية (بالضبط البروتوبلازم) محاطة بحاجز عدا الجدار الخلوي، ذو دقة متناهية يفصلها (يعزل مكوناتها الداخلية– المكتنفات) عن الوسط المحيط، وفي الوقت نفسه كل مكتنف من مكتنفاتها يمتاز بأنه محاط بمثل هذا الغلاف أيضاً ليعزله عن المكتنفات الأخرى السابحة معه في السيتوبلاسم، وقد أطلق العلماء على هذه الحواجز بالأغشية البيولوجية Biological Membranes.

تصنف الأغلفة البيولوجية في الجملة الخلوية –حسب مكان توضعها إلى:

- الغشاء البيولوجي الخارجي:

غلاف وحيد يحيط بسطح البروتوبلازم ويلاصق الجدار الخلوي من ناحيته الداخلية. يطلق على هذا الغلاف بالغشاء السيتوبلاسمي الخارجي Exoplasma Membrane أو Plasmalemma.

- الغشاء البيولوجي الداخلي:

غلاف يحيط بكل مكتنف على حدا من المكتنفات السيتوبلاسمية المتنوعة (جسيمات دقيقة، ميتاكوندري، أقراص جهاز غولجي، نواة، فجوات، بلاستيدات، جسيمات دقيقة)، تجعل المكتنفات السابحة في االسيتوبلاسم معزولة عن بعضها. تسمى هذه الأغلفة بالأغشية السيتوبلاسمية الداخلية Endoplasma Membranes.

**Biological Membranes**

**عبارة عن أغلفة أو حواجز مرنة متناهية في الثخانة تقع سماكتها في المتوسط (2−10 ميكرون).**

**تمتلك الأغلفة البيولوجية أهمية بالغة جداً في استمرارية حياة الخلايا، لأن أغلب نشاطاتها الحيوية معتمدة على المكونات التركيبية الكيميائية لهذه الأغشية.**

**التركيب الكيميائي العام للأغشية البيولوجية**

بشكل عام تتركب الأغشية الحيوية الخلوية من عدة روابط كيميائية تجمع في:

1− روابط عضوية أساسية (بروتينات، ليبيدات، سكريات).

2− مركبات عضوية ولا عضوية (إنزيمات Enzymms، حوامل Carriers، مستقبلات Receptors، مضخات بروتون Proton Pumps، مركبات طاقة تساعد على انتقال المركبات).

إن التركيب العام لجميع الأغشية البيولوجية متماثل ولكن الاختلاف مرتبط بعدة عوامل، من أهمها:

- نمط المتعضي ومستوى تنظيمه (حقيقي النواة، بدائي النواة).

- نوع المكتنف الخلوية (كوندريات، بلاستيدات، جهاز غولجي، فجوات).
- الإجهادات البيئية والنشاط الفيزيولوجي للخلية.

أول من قام بدراسة ما يخص الأغشية البيولوجية وخاصة تركيبها الكيميائي هو العالم Overton (1899–1898) على متعضي وحيد الخلية من فصيلة الاشنيات الكارية Characeae، وتوصل إلى الاستنتاجات التالي:

- الأغشية البيولوجية تتركب كيميائياً من مكون ليبيدي فقط (جزيئات الليبيد).
- بزيادة نسبة الليبيدات ترتفع نفاذية الأغشية البيولوجية.
- سرعة نفاذية الجزيئات ترتبط بطبيعة طور المذيب (سرعة نفاذية الجزيئات المذابة في الماء أقل مقارنة بالمذابة في الدهون).

وفقاً لدراسات كل من Jurter and Kondel (1925) تبين أن السطح الذي تكونه الليبيدات يفوق سطح الغشاء، وهذا ما قادهم إلى نتيجة، أن الجزيئات الليبيدية في الغشاء الحيوي مضاعفة وتبدو على شكل منطقة ثنائية الطبقة، ولكل طبقة من جزيئات الليبيد ذيل أليف للماء متجه نحو محيط الغشاء (رأس قطبي)، وذيل نافر للماء باتجاه مركز الغشاء (رأس لاقطبي).

بدراسة الخاصية الفيزيائية للغشاء الحيوي ألا وهي الشد السطحي، لوحظ أن قيمته في الغشاء منخفضة مقارنةً مع الليبيد (الشد السطحي مرتفع)، الأمر الذي أدى إلى استنتاج فكرة وجود مادة أخرى تدخل في تركيب الغشاء الحيوي تسبب هذا الانخفاض.

من خلال نتائج أبحاث كل من العالم Harvey and Danieli (1935–1934) ثبت وجود جزيئات بروتينية كمكونات كيميائية ثانية للغشاء البيولوجي تعمل على خفض الشد السطحي للغشاء. وقد تم التأكد على التركيب البروتيني بتهدم الغشاء عند اخضاعه لإنزيمات تفكك الروابط الببتيدية، الأمر الذي قاد إلى أن البروتينات تعد قسم رئيس من مكوناته الكيميائية، واستناداً على ذلك اقترحا هذان العالمان ما يلي:

a) الغشاء البيولوجي تكونه طبقتان من الجزيئات الليبيدية وطبقتان من الجزيئات البروتينية.

b) طبقتي الليبيد محصورة بين طبقتي البروتينات.

بعد عزل الأغشية البيولوجية واجراء تحاليل كيميائية توصلوا العلماء إلى وجود مركبات أخرى تدخل في تركيبه (السكريات، الإنزيمات، المستقبلات) وفقاً للخاصية الفيزيولوجية (الوظيفة).

**أولاً– ليبيدات الغشاء البيولوجي**

تبلغ بشكل عام الجزيئات الليبيدية التي تشارك في تكوين الغشاء الحيوي نسبة (40–50 % من الكتلة الجافة) متوضعة في وسطه، وهي على نوعين:

- طبقتان من الليبيدات المفسفرة (فوسفوليبيد Phosolipides):

- الطبقة الليبيدية الأولى: لها ذيل غير قطبي (رأس نافر للماء Hydrophobic) متجه نحو مركز الغشاء ليقابل الذيل اللاقطبي للطبقة الليبيدية الثانية، وذيل قطبي (رأس محبة للماء Hydrophilic) متوضع باتجاه الجدار الخلوي لذلك يدعى بالمحيطي (يقابل الوسط المحيط).
- الطبقة الليبيدية الثانية: تمتلك رأس غير قطبي (ذيل نافر للماء Hydrophobic) متوضع في مركز الغشاء ليقابل الرأس اللا قطبي للطبقة الليبيدية الأولى، ورأس قطبي (ذيل محبة للماء Hydrophilic) يقع في الاتجاه الداخلي لذلك يدعى بالمركزي، أي يواجه الوسط الداخلي الخلوي وبمعنى آخر الـ Cytosol (القسم المنحل في السيتوبلاسم– البلازمة الشفيفة).

من أهم الليبيدات الأساسية المكونة للغشاء الحيوي للخلايا النباتية، هي:

- الليبيد المفسفر الليستين (خلين فوسفو غليسرول).
- الليبيد المفسفر السيفانين (إيتانول أمين فوسفو غليسرول).

**رؤوس الليبيدات**

**- الرأس اللا قطبي (الذيل النافر للماء) هي الحموض المرتبطة بجزيء الغليسرول.**

**- الرأس القطبي (الذيل الأليف للماء) يشكله كل من الغليسرول والمجموعة الفوسفاتية.**

- الليبيدات السكرية (غليكوليبيد Glycolipides- ليبيدات مع سكر)

نسبتها في تركيب الغشاء البيولوجي منخفضة جداً، لكنها لها دور كبير في الوظيفة الفيزيولوجية الغشائية (التفاعل والاتصال الخلوي، نمو الخلايا).

**خصائص ليبيدات الغشاء البيولوجي:**

1- جزيئات الليبيد كثيرة العدد (ملايين) وتمتاز بأحجام صغيرة.

2- تشكل جزيئات الليبيد طبقتين (لكل طبقة قطب محب للماء Polar يواجه البيئات المائية داخل الخلية وخارجها وآخر كاره Non polar تواجه بعضها البعض في الجزء الداخلي من الغشاء).

3- تشغل طبقتي الليبيد وسط أو مركز الغشاء (تتوضع في القسم الداخلي للغشاء).

4- جزيئات الليبيد مكونات أساسية تعد العامود الفقري للأغشية البيولوجية.

**يجعل هذا الترتيب التوضعي للطبقات الليبيدية (الذيول الأليفة والنافرة للماء) تشكل حاجزاً اصطفائياً (شبه نفوذ) يسمح لجزيئات معينة بالعبور من خلاله دون غيرها (تبقى جزيئات أخرى خارجاً).**

**تمتاز الأغشية البيولوجية للخلايا الحيوانية بوجود الكوليسترول كأحد المركبات الليبيدية المكونة لها، ولكن هذا النمط الليبيدي يغيب في خلايا البكتيرية وخلايا النباتية.**

**ثانياً- بروتينات الغشاء البيولوجي**

يشكل المكون البروتيني في الغشاء نسبة تتراوح (50–60 % من الكتلة الجافة للغشاء)، وهي بروتينات مدمجة تنجز وظائف مختلفة، بما في ذلك النقل والاتصالات والنشاط الأنزيمي. ومن أنواعها التالي:

- ✓ بروتينات تامة (كاملة) Integral Proteins

تغرز كاملة في الطبقة الليبيدية الثنائية (ولهذا السبب تسمى بالبروتينات العابرة Trans Proteins)، وتتحلزن لتجعل الغشاء محافظاً على نفاذيته الاختيارية، وفي الوقت نفسه تظهر أطرافها على سطحي الغشاء.

يعد هذا النوع البروتيني ثنائي القطبية لكون الجزء العابر كاره للماء (لا قطبي)، بينما القسم البارز على سطح الغشاء أليف للماء (قطبي).

- ✓ البروتينات الطافية (المحيطية) Peripheral Proteins

تطفو هذه البروتينات على وجهي طبقة الليبيد المضاعفة بصورة تامة مرتبطةً مع جزيئات البروتين والليبيد الأليفة للماء الظاهرة على سطحي الغشاء، ولكنها لا تعبر الطبقة الليبيدية الثنائية لذا يطلق عليها بالبروتينات السطحية. ويعتقد أن معظمها بروتينات سكرية مرتبطة بسطح الغشاء.

**خصائص بروتينات الغشاء البيولوجي**

- حجوم البروتينات كبيرة وقليلة العدد (مئات الجزيئات) وأشكالها كروية وحلزونية.
- تكون البروتينات طبقتين (سفلية وعلوية) وتتردد بين القطبية واللاقطبية.
- منها العابرة مغروزة في الليبيد (نافرة للماء)، والسطحية (أليفة للماء).

- تعد البروتينات عامل مرونة وقساوة للأغشية.

إن كمية ونوعية البروتينات لها أهمية كبيرة في تحديد الخاصية الوظيفية:

- البروتينات السطحية الكروية والمرتبطة بالسكريات تنجز الأفعال التالية:
  - تتعرف على المركبات والروابط الكيميائية والفيروسات.
  - لها دور في الاتصال الخلوي (التلاصق).
- ترتفع كمية البروتينات وتصل إلى أكثر من 75 %، منها إنزيمات لتفاعلات خاصة بالغشاء وبعضها يشارك في تفاعلات تحولات الطاقة (أغشية الكلوروبلاست والمتقدرات)، وقسم يمثل نواقل للجزيئات من وإلى الخلية.

**تقدر نسبة البروتينات إلى الليبيدات بـ 1/3: 2/3 في الخلايا النباتية.**

**ثالثاً- سكريات الغشاء البيولوجي**

نسبتها (10 %). ترتبط سكريات الغشاء مع الليبيدات لتشكل ليبيدات سكرية Glycolipids، ومع البروتينات بروتينات سكرية Glycoproteins. هذا الإرتباط يقود إلى تكوين المعطف الخلوي Glycocalyx (عند الغشاء السيتوبلاسمي)، الذي يظهر على الوجه الخارجي مشكلاً غطاءً للغشاء.

**وظائف المعطف الخلوي**

1- يعد غطاء للغشاء ويحفظ نفوذيته.

2- يساهم في عبور مواد عديمة الشحنة ($H_2O$).

3- يحوي مستقبلات نوعية للروابط البيولوجية.

4- يساهم في التصاق الخلايا والتعرف على فيروسات وعضويات (هرمونات).

**المعطف الخلوي– معقد من Glycolipids و Glycoproteins (أتحاد سكريات مع بروتينات وليبيدات الغشاء).**

**رابعاً– مركبات أخرى**

إنزيمات Enzymms وحوامل Carriers ومستقبلات Receptors ومضخات بروتون Proton Pumps ومركبات طاقة تساعد على انتقال العناصر من وإلى الخلية.

**الأغشية تمتاز بالديناميكية تبنى وتتفكك بسرعة وروابطها التركيبية متغيرة باستمرار.**

**النماذج الكيميائية لترتيب بنية الأغشية البيولوجية**

A– نموذج البسيط Simple Model

يعد نموذج Davson and Danielle (1935) من أبسط النماذج التي وضحت المعالم الأولية لبنية وترتيب توضع المركبات الكيميائية للغشاء البيولولوجي. وطبقاً لاقتراحهما تترتب المركبات الكيميائية في الغشاء الحيوي على الشكل التالي:

a) طبقة ليبيدية مضاعفة: متوضعة في وسط الغشاء (المنطقة الداخلية).
b) طبقة بروتينية مضاعفة: طبقة ثنائية (علوية وسفلية) مستمرة من البروتينات الحبيبية تحجزان طبقة الليبيد المضاعفة (تغلف الطبقة الثنائية الليبيدية الثنائية من الأعلى والأسفل).
c) أقنية: فتحات (نقر) مبطنة بالبروتينات الكروية.

B- نموذج ساندويش Sandwich Model

ما هو إلا تعديل للنموذج السابق ومقترح من قبل العالم Robertson (1960-1959) الذي قدم مفهوم وحدة الغشاء Membrane unit من حيث التماثل في نسبة المكونات الرئيسية (البروتينات والليبيدات).

وفقاً لهذا النموذج تتوزع وتترتب الجزيئات الفوسفوليبوبروتيني في الأغشية البيولوجية لتشكل بنية نموذجية موحدة مؤلفة من ثلاث مناطق وريقية، وهي:

**1- المنطقة الوريقة الداخلية:**

وريقة بروتينية مظلمة متراصة بثخانة (2 ميكرون)، تتكون من طبقة من بروتينات الكروية تكسو جزيئات الليبيد الفوسفوري جزئياً من الجهة المركزية للغشاء. وتمتاز بوجود الليبيد الفسفوري.

**2- المنطقة الوريقة الوسطى:**

وريقة نيرة تنتشر ضمنها البروتينات الكروية، تتألف هذه المنطقة من طبقتين فوسفوليبيد تتوسط الغشاء وتتقابل بالذيول النافرة للماء، بينما الرؤوس الأليفة للماء تشغل سطحي هذه المنطقة، تبلغ ثخانة الوريقة الوسطى (35 ميكرون).

**3- المنطقة الوريقة الخارجية:**

وريقة تماثل الوريقة الداخلية، إلا أنها أسمك وأعتم وذلك لارتباطها بالمعطف الخلوي (ارتباط كربوهيدراتي ليبيدي Glycolipids وكربوهيدراتي بروتيني Glycoproteins)، تغطي السطح الخارجي للطبقة الوسطى، بالإضافة لذلك تحتوي على غليكوليبيد.

يؤكد في هذا النموذج أن الطبقة البروتينية التي تحيط بطبقة الليبيد مستمرة وغير مرنة، الأمر الذي قاد إلى صعوبة تحديد وتفسير بعض الخواص الفيزيائية المهمة للغشاء (النقل والنفاذية والتغيرات).

C- النموذج المبرقش السائل Fluid Mosaic Model (فسيفسائي مائع)

قدم هذا النموذج في عام (1972) من قبل Singer و Nicolson نتيجة ظهور تباين في الأغشية البيولوجية – بنتيجة تطور التقنيات في دراسة تركيب ووظائف الخلية، وضحت تحت المجهر الالكتروني- تتعلق ببعض الخواص الفيزياكيميائية (ثخانة الأغشية، كمية ونوع وطبيعة وتوضع الروابط العضوية ونموذج توضعها وفي الدور الأول البروتينات) التي تنعكس على المؤشرات الوظيفية للأغشية الحيوية المنتشرة عند العضيات الخلوية المختلفة، وبمعنى آخر نموذج قائم على مبدأ العلاقة بين تركيب وبنية الغشاء بنشاطه الفيزيولوجي (الوظيفة).

وحسب نموذج الذي من قبل هذين العالمين، يتركب الغشاء الحيوي من جزيئات عضوية فوسفوليبوبروتينية متوضعة على الترتيب التالي:

- طبقتان فوسفوليبيد: طبقتان متقابلتان تحتل مركز الغشاء البيولوجي مكونة منطقة نيرة (رؤوسها الهيدروجينية النافرة للماء متقابلة ومتجهه نحو الداخل).
- طبقتان بروتينيتان: يترتب توضعهما على الشكل التالي:

a- بروتينات عابرة: جزيئات بروتين غارزة في طبقتي الفوسفوليبيد وتمتاز بأنها نافرة للماء وفي الوقت نفسه تظهر أطرافها (ذيولها المحبة للماء) على وجهي الغشاء ومرتبطة بسكريات متوضعة على سطحه الخارجي.

b- بروتينات سطحية: لا تعبر طبقة الفوسفوليبيد الثنائية لكنها تبرز على سطحي الغشاء(محيطية)، وقد ترتبط بأطراف البروتينات العابرة التي تبرز على سطحه.

في هذا النموذج تم التركيز على حالة مكونات الغشاء من الناحية الفيزياكيميائية وعلى الأخص المكون البروتيني (أحماضه الأمينية)، منها:

**1- التباين في الترتيب الموضعي لمكونات الغشاء:**

مقارنة بالنموذج السابق. لا تغطي البروتينات طبقة الليبيد بصورة تامة (غير مستمرة)، أنما تترتب جزيئاتها كوحدات كروية أو حبيبية متقطعة وموزعة في وسط سائل ليبيدي ثنائي الجزيئات، منها ما يغرز في طبقتي الليبيد وبعضها يبرز على سطحي الغشاء (لا تبدو البروتينات كطبقة متواصلة على سطحي الغشاء)، ويضاف إلى ذلك تأرجح المكون البروتيني بين القطبية واللا قطبية.

**2- الديناميكية الحيوية لمكونات الغشاء:**

تتسم مكونات الغشاء بالديناميكية المرنة على عكس النماذج السابقة، حيث الشكل الحبيبي للبروتينات السابح في السائل الليبيدي يكسبها التحرك الجانبي مع الليبيدات ضمن مستوى الغشاء، وهذا ما يمنحها قدرة على إنجاز تفاعلات انزيمية تساهم في عملية نقل الجزيئات عبر الغشاء وإنجاز الوظائف البيولوجية التي تبديها بالعضيات (كلوروبلاست، ميتاكوندري).

**إن كساء طبقتي الليبيد الثنائية بطبقة بروتينية متقطعة والتحرك الجانبي للبروتينات المحيطية مع الدهون تكسب الأغشية البيولوجية نموذجاً فسيفسائياً.**

**إن عدم ثبات مكونات الغشاء البيولوجي يكشف تمتعه بخاصية التشوه والتمزق والالتئام (التجدد).**

**الخصائص العامة للأغشية البيولوجية:**

لقد تبين من خلال التعمق في دراسة الأغشية البيولوجية، أنها تتماثل بشكل عام في الخصائص العامة من ناحية التركيب والبنية لدى جميع الخلايا ومتعضياتها، ولكنها في الوقت نفسه تتسم ببعض الصفات الخاصة مرتبطة بعدة عوامل)، **من أهم هذه الخصائص:**

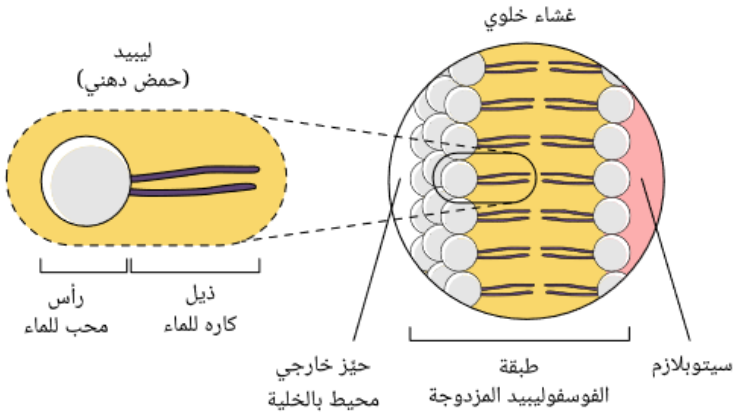
- التركيب الكيميائي الأساسي يتمثل بجزيئات الليبيدات والبروتينات والكربوهيدرات.
- البنية العامة ثلاثية المناطق (الأولى طبقة ليبيدية ثنائية تقع في وسط الغشاء والثانية طبقة بروتينة تؤلف السطح الخارجي والثالثة طبقة بروتينة تمثل السطح داخلي).
- خاصية الفيزياحيوية، تعد الأغشية البيولوجية وحدة خلوية ديناميكية حيوية وليست ساكنة.
- من أهم وظائفها تنظيم دخول وخروج المركبات الكيميائية على مبدأ النفاذية الانتقائية (خاصة الغشاء السيتوبلاسمي Plasmalemma والغشاء الفجوي Tonoplast).

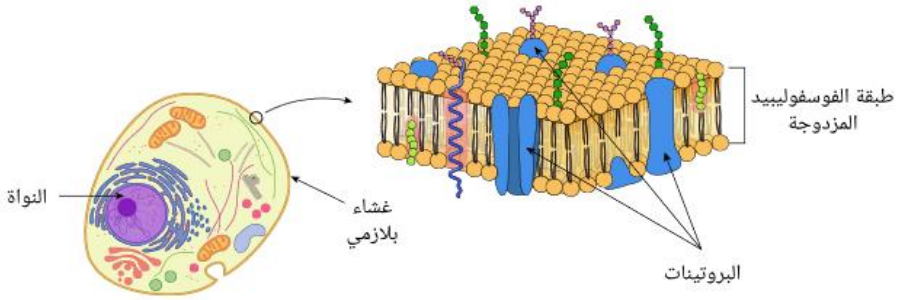
**الخاصية الاسموزية Osmosis للأغشية البيولوجية**

**الانتشار الغشائي Osmosis:** الحركة الانتقالية لجزيئات الماء عبر الغشاء البيولوجي الاصطفائي (نصف النفوذ)، من منطقة ذات جهد مائي عالي (تركيز المذيب عالي والمذاب منخفض) إلى منطقة ذات جهد مائي منخفض (تركيز المذيب منخفض والمذاب عالي) دون صرف طاقة. تسبب هذه الخاصية تدرج في الضغط على طرفي الغشاء البيولوجي بالعلاقة مع تركيز المركبات المذابة.

**تعتبر الخلية النباتية جهاز اسموزي حيث تمتص وتفقد الماء وفق التباين في تركيز المركبات المذابة بين وسطها الداخلي والمحيطي لاحتوائها على Plasmalemma و Tonoplast**

- تتنوع وظائف الأغشية الحيوية وفق المكان الذي تشغله (أغشية– البلازماليما، التلاكويد، أعراف الميتاكوندري، الغشاء النووي ...) بمساهمة نشاط إنزيمي.
- لكل نمط غشائي بيولوجي خصائص مميزة ناتجة عن التباين في طبيعة الليبيدات والبروتينات التي تكونه، والتي تلعب دوراً كبيراً في تحديد وظيفته.






**الشكل (1): يوضح الشكل كيف يتكون الغشاء الخلوي للخلايا الحيوانية من طبقة الفوسفولبيد المزدوجة.**

**نفاذية (عبور) الروابط الكيميائية خلال الأغشية البيولوجية:**

من أهم الأدوار البيولوجية التي تنجزها الأغشية تبادل المواد مع الوسط البيئي (عبور، نفاذية)، وتحدث هذه العملية بالعلاقة مع عدد من **الأمور**:

- حاجة الخلية للمركبات (العضوية والمعدنية).
- معدل التركيز والجهد الكهربائي على جانبي الغشاء.
- حجم الروابط الكيميائية (الوزن الجزيئي للمركبات).
- قابلية الروابط للانحلال في الليبيدات.
- الصفة التشاردية للمادة الكيميائية (عبور اللامتشردة أسرع من المتشردة والثنائية أبطأ من الأحادية).

**أنواع نقل المركبات الكيميائية**

1- نقل صغير: نقل إيونات وروابط جزيئية بسيطة (وحدات لمركبات معقدة- أحماض أمينية، سكريات بسيطة، حموض دسمة وغيرها من العضويات).

2- نقل كبير: نقل العضويات ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة.

**أليات (نظام) نقل المركبات عبر الأغشية البيولوجية**

☒ نظام النقل اللافعال Passive Transport System

يتحقق خلال القوانين الفيزكيميائية. تعتمد هذه الألية على عامل التدرج الطبيعي في تركيز المواد أي الانتشار البسيط (من تركيز مرتفع إلى منخفض)، الذي لا يحتاج إلى استهلاك قدرة بيولوجية (ATP). يطلق على هذا النظام ألية النقل اللانشط Passive Mechanism (النقل السيبي).

☒ نظام النقل الفعال Active Transport System

تنقل المواد والايونات وفق مبدأ التدرج المعاكس في التركيز (من تركيز منخفض إلى عالي)، تحتاج هذه الألية لنقل المواد إلى حوامل بروتينية Permease وفقد قدرة بيولوجية (حلمهة ATP) أي أنها تخضع للفعالية الاستقلابية. تسمى ألية النقل النشط Active Mechanism.

**الحوامل الناقلة: عبارة عن مركبات طبيعتها بروتينية تعمل على نقل المواد (الشوارد والجزيئات) عكس التدرج في التركيز بمساعدة الـ ATP.**

**الأدوار الحيوية الرئيسية للأغشية البيولوجية**

- حماية الوسط الداخلي الحيوي (البروتوبلازم) وفصل المكتنفات البروتوبلازمية عن بعضها (استقلالية العضيات السيتوبلاسمية فيزيائياً).
- التحكم بتنظيم المبادلات بين الخلية والوسط البيئي (دخول وخروج المركبات) بالنفاذية الاختيارية Differentialt Permeable، الأمر الذي يمنح حالة الاستقرار الداخلي للخلية.

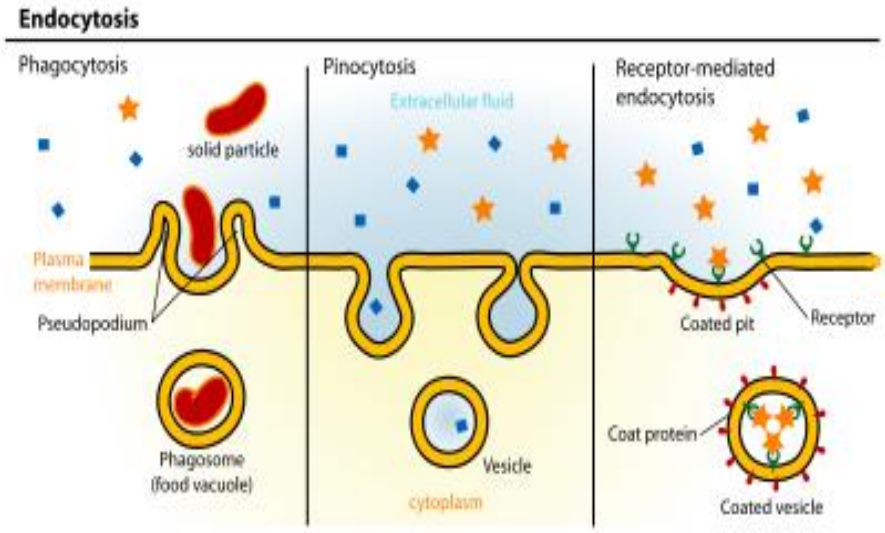
**النفاذية الاختيارية: هي قدرة الغشاء على التحكم في نوع الجزيئات المارة عبره وضمن حدود معينة.**

- الاتصال الخلوي للمواد والمعلومات عبر واصلات سيتوبلاسمية Plasmodesmata.
- مركز تفاعلي فيزيوبيوكيميائي (فوتوتمثيل– أغشية الكلوروبلاست، اكسدة تنفسية– أغشية المتقدرات).
- ادخال Endocytosis واطراح Exdocytosis خلوي للمواد (بتكوين حويصلات غشائية).

من أجل القيام بالعمليات الحيوية المختلفة والتنظيم الداخلي الخلوي تعمد الخلية إلى (امتصاص) مواد جزيئات كبيرة الحجم التي تحتاجها (الادخال الخلوي)، وفي الوقت نفسه تطرح المركبات الإضافية عن حاجتها (الإخراج الخلوي). تتم هاتين العمليتين بألية بيولوجية عبر الأغشية الحيوية.

**الإدخال الخلوي Endocytosis:** ظاهرة بيولوجية وتعد إحدى طرق المستخدمة من قبل الخلية لإدخال وهضم العضويات (الضرورية لحاجة الخلية)، ذات الوزن الجزيئي الكبير إلى الخلية خلال الأغشية البيولوجية بألية انثنائه نحو الداخل (الإنغماد)، لتكوين حويصلة تندمج مع المركب الذي سيهضم. تدعى الالتقام الخلوي أيضاً.

**الإخراج الخلوي Exocytosis:** ألية حيوية تستخدمها الخلايا من أجل اطراح المركبات الزائدة عن حاجتها أو الضارة وذلك بألية التحوصل (تكوين حويصلات) ومن ثم اطراحها خارج الخلية.




**الشكل (2): يوضح الشكل عملية الإدخال الخلوي.**

## أولاً– الغشاء السيتوبلاسمي Plasmic Membrane

**الغشاء البلاسمي:** غلاف مرن رقيق جداً سماكته (7–8 نانومتر)، محيط بالكتلة السيتوبلازمية الخلوية (وما بها من مكونات)، ومتوضع إلى الداخل من الجدار الخلوي وملاصقاً به في بعض النقاط. يطلق على الغشاء السيتوبلاسمي بـ Plasmalemma أو الغلاف البلاسمي الخارجي (بالنسبة للخلية). يعد الـ Plasmalemma أحد مكونات المادة الحية Protoblasm وأحد الأغشية البيولوجية الرئيسية. ويكشف عن الغشاء البلاسمي مخبرياً بظاهرة الانكماش Plasmolysis.

### ظاهرة الانكماش Plasmolysis

ظاهرة تباعد الغشاء السيتوبلاسمي عن الجدار الخلوي (مع التصاقه ببعض النقاط)، عند وضع الخلية في وسط محلول ملحي أو سكري عالي التركيز (جهده المائي يكون أقل من الجهد المائي للعصير الفجوي)، في هذه الحالة

يخرج الماء من الوسط الداخلي الخلوي إلى الخارجي (تفقد الخلية ماء العصارة الفجوية)، وبالتالي يتقلص كل من الفجوة والسيتوبلاسم وهذه الأخيرة تشد معها الـ Plasmalemma.

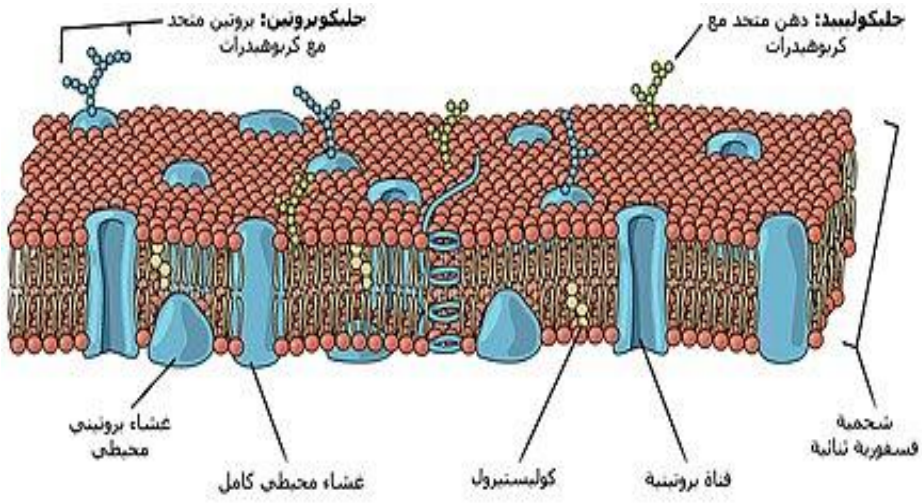
**أنواع الانكماش (البلزمة):**

a) البلزمة الضعيفة (المؤقتة): عندها يمكن أن تستعيد الخلية المتبلزمة حالتها الطبيعية في حال وضعها في وسط مائي أو محلول جهده اعلى من جهد الوسط الداخلي للخلية (العصير الفجوي).

b) البلزمة القوية (الدائمة): الحالة التي عندها تفقد الخلية المتبلزمة القدرة على العودة إلى الحالة الطبيعية عند وضعها في وسط مائي نقي أو محلول جهده اعلى من محلول العصير الفجوي. تحت فعل هذا الوسط المحلولي يأخذ المحتوى البروتوبلازمي شكل كتلي.

إن تغير حجم الخلية وحدوث ظاهرة الانكماش الخلوي يرتبط بأنواع المحاليل (تركيز المحلول الذي يحدد الضغط الاسموزي بين الوسط الداخلي والخارجي للخلية):

- Hypotonic: يظهر الانتباج للخلية لدخول الماء بسبب التركيز المنخفض للمحلول.
- Hypertonic: تحدث بلزمة للخلية نتيجة خروج الماء منها بسبب التركيز العالي للمحلول.
- Isotonic: لا تبدو الخلية مظهر تغير حجمي لتوقف ديناميكية الـ $H_2O$ بسبب سوية المحلول.




**الشكل (3): يوضح الشكل بنية الغشاء البيولوجي.**

**ثانياً– السيتوبلاسم Cytoblasm:**

السائل الذي يملأ المساحة الداخلية للخلية والمحصور بين الغشاء البلاسمي والنووي، الـ Cytoblasm مادة أساسية شبه هلامية تسبح فيها جميع المكونات الداخلية الخلوية ومكونة أساساً من الماء إلى جانب روابط كيميائية أخرى (البروتينات والأيونات والمغذيات). لا تعد السيتوبلاسم مادة خاملة وغير نشطة، بل هي موضع يحدث فيه العديد من الأنشطة الخلوية والتفاعلات الكيميائية المهمة. **تتألف من قسمين:**

- الجزء البنيوي: عضيات مختلفة فيما بينها من حيث الشكل والحجم والوظيفة:

a- العضيات الحيوية:

1- الجسيمات الصانعة Plastids.

2- الميتاكوندريا Mitochondria.

3- الجسيمات الريبية Ribosomes.

4- الشبكة الإندوبلاسمية Endoplasmic Reticulum.

5- جهاز غولجي Golgy Apparatus.

6- الجسيمات الدقيقة Microbodies.

b- العضيات اللاحيوية (المكتنفات العاطلة):

7- الجهاز الفجوي Vacuoles وعصارته.

8- حصيلة الهدم والبناء (الاستقلاب الخلوي).

| |
|---|
| **- يشار أحيانًا إلى السيتوبلازم بجزئيها (الحيوي واللاحيوي) ونواة الخلية معًا باسم البروتوبلازم.** |
| **- المكتنف الخلوي (العضية): مكون تحت خلوي تمتلك تركيب وبنية محددة ويقوم بأداء وظيفة حيوية معينة.** |

- الجزء اللابنيوي: وسط سائل شفاف (البلاسما الشفيفة) ينتشر بين العضيات الخلوية، يعتبر المادة الأساسية Cytosol للسيتوبلاسم وهو عبارة عن محاليل عضوية واللاعضوية (حقيقة وغروية- $H_2O$ هو وسط الانتشار)، تتمركز فيه روابط بيولوجية (عضويات) للفعاليات الاستقلابية. يطلق على هذا القسم اللابنيوي بالـ Hyaloplasma أو **(البلاسما الأساسية** Ground Cytoplasm).

## العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 1)

### ❖ الجسيمات الصانعة Plastids

عضيات سيتوبلاسمية حية متخصصة فيزيولوجياً، تعد هذه العضيات ميزة بنيوية للخلايا النباتية الدنيا والراقية (الاشنيات، طحالب، نباتات راقية)، لكنها تغيب في الخلايا الجرثومية والفطرية والنباتات المتطفلة كالعاكول والحامول بالإضافة إلى الخلايا الحيوانية.

استخدم مصطلح Plastids لأول مرة من قبل الباحث Schimper (1885)، الذي أطلقه على البنى والمكونات المخزنة للمواد الكربوهيدراتية المنحلة وغير المنحلة.

تختلف الصانعات من حيث الحجم والشكل ومحتواها الصباغي ووظائفها الحيوية، إلا ان جذرها مشترك، تنحدر من أصل واحد تمثله طلائع الصانعات Proplastids (تعد المنشأ الأساسي لأنماط الصانعات الحقيقية).

**Proplastids (طلائع الصانعات) يصادف انتشارها في الخلايا الميرستيمية الإنشائية (الجنينية)، وهي المولد الرئيس لأنواع البلاستيدات الوظيفية (الجسيمات الصانعة الحقيقية).**

يتميز هذا المكون السيتوبلاسمي (البلاستيدات الطلائعية والحقيقية) بنوع من الاستقلالية الذاتية من الناحية الوراثية، فهي لا تتكون مجدداً في السيتوبلازم، بل ترث من خلية الأبوين خلال عملية التكاثر الجنسي ويتوقف مسؤولية نقلها للجيل (النسل) القادم على الخلية العروسية الأنثوية، ويزداد عددها داخل خلايا النسل الناتج بألية الاحتجاز أو الانخماص (التكاثر بالانقسام الثنائي).

**Proplastids:** عبارة عن حبيبات دقيقة متواجدة في الخلايا الجنينية (الإنشائية)، وهي ذات تنظيم بنيوي ضعيف جداً (غير محددة اللون والوظيفية)، محاطة بغلاف مضاعف يحجز مادة أساسية تسمى السردة أو الحشوة Stroma. يعد هذا النمط أصل (مولدة للبلاستيدات وظيفية) الجسيمات الصانعة الفيزيولوجية.

**Proplastids: تتشكل من تبرعم الصانعات البالغة أو من الغشاء النووي، ومن الطلائع تتطور الصانعات الوظيفية.**

**تحولات وتطورات البلاستيدات:**

تتطور الصانعات الأولية بالتزامن مع تنامي الخلية (في الخلايا المتمايزة والبالغة) إلى إحدى أنواع الصانعات الوظيفية (Plastids)، وهي بدورها قادرة على التحول خلال حياتها إلى أي نمط من أنماط الصانعات الأخرى وفقاً **لعدد من العوامل:**

1- مرحلة التطور الخلوي: خلايا جنينية (ميرستيمية)، خلايا متمايزة (بالغة).

2- الدور الفيزيولوجي للنسيج الخلوي: عضو تصنيعي، عضو تخزيني، عضو شكلي (أزهار).

3- الوسط البيئي المحيط: تطورها تحت تأثير العناصر البيئية (أهمها الإضاءة والحرارة).

**تصنيف الجسيمات الصانعة**

تصنف الجسيمات الصانعة إلى ثلاث مجموعات رئيسية تبعاً لعدة معايير، وتختلف عن بعضها البعض حسب البنية والفعل الفيزيولوجي:

**1- تصنيف تبعاً لتنامي الخلايا (تطور):**

- ✓ صانعات بدائية Proplastids: جسيمات أولية دقيقة بسيطة البنية غير ملونة وغير محددة الوظيفة.

- ✓ صانعات حقيقية Plastids: تتطور من الصانعات الأولية في الخلايا المتمايز والبالغة، وهي ذات بنية معقدة ومختصة وظيفياً وتمتاز بخاصية القدرة على التحول من شكل صانعي إلى آخر، لذا تكون أنماطها ووظائفها متعددة فمنها الملونة والنمط الآخر عديم اللون.

**2- تصنيف تبعاً لمحتواها الصباغي:**

تحتوي الأجزاء النباتية المختلفة على جسيمات صانعة تختلف عن بعضها البعض من حيث نوع المادة الملونة (الأصبغة)، ولقد قسمت الجسيمات الصانعة إلى نوعين تبعاً لمادتها الملونة:

- صانعات عديمة اللون Leucoplasts

عضيات صغيرة ذات شكل كروي أو متطاول، لا تحتوي على مادة ملونة وبنيتها الغشائية غير متمايزة. تتواجد في جميع خلايا أعضاء النبات غير المعرضة للإضاءة (بذور، جذور، درنات).

تعد الصانعات اللاملونة مركز لتخزين المركبات الغذائية (وظيفتها الأساسية- مختزنات غذائية)، وهي بلاستيدات غير متخصصة بعملية التمثيل الضوئي، منها:

- صانعات النشا Amiloplasts: موضع تخزين النشا.
- صانعات البروتين Proteoplasts: مكان ادخار البروتينات.
- صانعات الليبيد Lipidoplasts: مركز تجمع الليبيدات.

- صانعات ملونة Chromoplasts

يحتوي هذا النوع من البلاستيدات على أصبغة معينة تتوضع على أغشيتها الداخلية (Thylacoids)، وتسمى تبعاً للون الصبغة، وتتميز بأشكال مختلفة (إبرية، مستطيلة، حبيبية، مغزلية)، وألوان مختلفة ومقدرة على إنجاز بعض العمليات الحيوية:

- عملية التمثيل الضوئي: مثل الصانعات الخضراء، بينما بعض البلاستيدات الملونة الأخرى لها دور مساعد في عملية التمثيل الضوئي.
- عملية التأبير: تتواجد الأصبغة في خلايا الأعضاء النباتية (تويجات الزهرة) وتكسبها ألواناً زاهية تجذب الحشرات والطيور لتساهم في حدوث التأبير وانتشار البذور (ثمار، بذور، جذور المتضخمة).

**3- تصنيف تبعاً للروابط الكيميائية المدخرة:**

لا تمتلك هذه البلاستيدات أصبغة تضفي لون معين على الجزء النباتي لذلك تدعى جسيمات صانعة عديمة اللون. ولقد تحورت لتصبح مكان ادخار الروابط الكيميائية المعقدة، وبالتالي سميت بالمختزنات الغذائية. يكثر وجودها في جميع أنسجة الأعضاء النباتية الادخارية (ثمار، بذور، أوراق فتية، جذور، وسوق متضخمة) غير المعرضة للإضاءة. ويصادف من أنواع هذه البلاستيدات ما يلي:

- ✓ الصانعات النشوية Amyloplasts، مركز تمثيل وادخار النشا التخزيني (الثانوي).
- ✓ الصانعات الليبيدية Lipidoplasts، تخزن المواد الليبيدية (الصلبة والسائلة).
- ✓ الصانعات البروتينية Proteoplasts، تدخر الروابط البروتينية المختلفة.

**على المستوى الخلوي ينتشر نوع وحيد فقط من البلاستيدات في الخلية الواحدة، بينما في كامل النبات (على المستوى الفردي) من الممكن ملاحظة كل أنواع الجسيمات الصانعة.**

**الجسيمات الصانعة الخضراء Chloroplasts**

مكونات بنيوية معقدة ومتخصصة فيزيولوجياً، تنشأ الصانعات اليخضورية من أجسام صغير غير متمايزة تدعى طليعة البلاستيد، توجد في المناطق النامية من النباتات (الخلايا الميرستيم). تأخذ البلاستيدات الخضراء أشكال

متعددة عند النباتات الراقية (كروية، عدسية، بيضوية) ومحدبة الوجهين وبقطر(1–2 ميكرون) وثخانة (3–10 ميكرون)، بينما تظهر الكلوروبلاست ضخمة عملاقة شريطية ونجمية وحلقية وحلزونية وبأعداد قليلة (1–2) على شكل حاملات الصبغة Chromatophores عند النباتات الدنيا (Spirogyra، Zygnema)، كما تتوزع في السيتوبلاسم بأعداد من بين الواحد (الكلاميدوموناس و الكلوريلا) وما يقرب الـ (100) في خلايا النسيج العمادي لنسيج الميزوفيل عند النباتات الراقية.

تنتشر الصانعات الخضراء في أجزاء مختلفة خضراء من النبات وبكثرة، مثل:

- أعضاء النباتات الراقية (أوراق وسوق وأفرع وثمار وبعض أجزاء الزهرة–كرسي الزهرة).
- نسيج الـ Mesophyll للورقة (النسيج المتوسط– نسيج رئيس مسؤول عن عملية التمثيل الضوئي).

**طول الجسيم الصانع الأخضر في المتوسط (4–6 ميكرومتر) عند النباتات الراقية. ويتراوح عددها في خلية النباتات الراقية بين (20–50) جسيمة صانعة و(1–6) في الطحالب والأشنيات.**

**الخاصية البنيوية للجسيم الصانع الأخضر**

تتألف بنية الكلوروبلاست من وحدتين أساسيتين:

**1– الوحدة الغلافية المحيطية:**

تتألف الوحدة الغشائية للجسيم الصانع الأخضر من غشائين، بنسبة ليبيدية (60 %) وبروتينية (40 %):

- غشاء خارجي أملس نفوذ: يفصل الصانع عن باقي المكتنفات الخلوية. وهو نفوذ للمركبات ذات الأوزان الجزيئية الصغيرة لوجود الأقنية (النقر Porines)، التي تشكلها البروتينات الغشائية المتحكمة في عبور المركبات الكيميائية.
- غشاء داخلي غير نفوذ نسبياً: تنشأ عنه تفرعات داخلية مشكلة إنخماصات مكونة منظومة غشائية صفائحية (الجملة الغشائية التيلاكويدية الـ Thylakoids)، ضمن جوف الجسيم الصانع (السردة). أما من حيث عبور المركبات فيتم بميكانيكية إنزيمية نوعية (نفاذية بألية انزيمية متخصصة).

**2- الوحدة الداخلية (السردة Stroma):**

كتلة أساسية طبيعتها هلامية بروتينية (بنيات غشائية، شوارد، عضويات)، منتشرة داخل الجسيم الصانع الأخضر مكونة منظومة من أغلفة منها متوازية على شكل (صفيحات)، والبعض الآخر متعامد على شكل (أقراص)، تشكل معاً جملة غشائية ثالثية تدعى الـ Thylakoids، تنشأ من الغلاف الداخلي بطريقة التبرعم- مفصولة عن الغشاء الداخلي مشكلة نوعين من التيلاكويدات:

- تيلاكويد السردة الـ Stroma Thylakoids

صفيحات مسطحة تجويفية كبيرة لامتراصة، تتميز بتوضع موازي للمحور الطولي للصانعة. يتجاوز عددها في البلاستيد الـ(10) مشكلة منطقة غير منضغطة يطلق عليها بـ Stroma Lamellae.

- تيلاكويد الغرانا الـ Grana Thylakoids

حبيبات Granums غشائية تنشأ من انثناءات صفيحات السردة، وكل Grana عبارة عن كيس-من تيلاكويد الغرانا- تؤلفه صفيحات قرصية (عددها 10)، غشائية تتكدس فوق بعضها بشكل متراص مكونة منطقة منضغطة تسمى Grana Lamellae

تحتوي الـ Thylakoids الغرانا على أصبغة التركيب الضوئي (اليخضور Chlorophyll وأشباه الكاروتينات)، التي تلتقط الأشعة الضوئية لتنجز البلاستيدات وظيفتها الفيزيولوجية (تعتبر مركز تركيب الأغذية في الخلية– مركز البناء الضوئي)، بينما تيلاكويد السردة تحمل مجموعة إنزيمية لتفاعلات المرحلة العتمة.

**التركيب الكيميائي للجسيم الصانع الأخضر**

1– مادة سائلة وهي الماء (50 % من الوزن الكلي).

2– مادة صلبة نسبتها 50 % ، منها:

- ✓ ليبيدات (30 %) وظيفية وبنائية: لها دور في نفاذية وبناء وإعطاء مرونة لأغشية الصانعات.
- ✓ معقد الروابط البروتينية البنائية والوظيفية (50 %):
  - – معقدات بنائية: ضرورية لبناء الأغشية وتحديد نفوذيتها بالمشاركة مع الليبيدات.
  - – نواقل الكترونية تدخل في تفاعلات أكسدة–إرجاع: وهي بروتينات سلسلة العملية الفوتوتمثيلية.
  - – إنزيمية نوعية: لتفاعلات عملية البناء الضوئي ($ATP_{ase}$– إنتاج ATP الكلوروبلاستي).
- ✓ أصبغة الكلوروبلاست (8 %): الكلوروفيل (a وb) أشباه الكاروتين (أشباه الجزرين). أصبغة إضافية كالكاروتين Carotene والكسانتوفيل Xantophylle .
- ✓ الحموض نووية: تمتلك أحماض نووية (DNA ,RNA) خاصة تترجم الشيفرة الوراثية للصانعة الخضراء بإشراف الـ DNA النووي، الذي يضبط تشكل البلاستيدة وأصبغتها ويتفاعل مع DNA الصانعة.
- ✓ الجسيمات الريبوزومية: وهي من النمط 70S، مسؤولة عن تمثيل الروابط الببتيدية خاصة بالكلوروبلاست.

**تمتلك الكلوروبلاست مادة وراثية خاصة بها من أجل تمثيل الإنزيمات والبروتينات الضرورية للقيام بوظائفها، والتضاعف الذاتي حسب حاجة الخلية.**

✓ مواد أخرى: فيتامينات وشوارد معدنية (Ca, Fe, Na Mg, P, Cu)، حبيبات كروية ليبيدية، حبيبات نشا.

**أصبغة Pegments التركيب الضوئي (البلاستيدات)**

تحوي الـ Thylacoids أصبغة تعد مستقبلات ضوئية Photoreceptors تمتلك مقدرة على امتصاص الأشعة الضوئية (اقتناص الطاقة الفوتونية– الكوانتم) بأطوال موجات مختلفة، وبمجموعة عمليات تحول الطاقة الفيزيائية الضوئية إلى طاقة كيميائية حيوية وذلك بالعملية الفوتوتمثيلية متجمعة في مركب عضوي (ATP) الذي يعد الحامل الأساسي للطاقة الحيوية تستطيع النباتات استخدامها في نشاطاتها البيولوجية. وإن أكثر الأصبغة أهمية، هي:

- صبغة اليخضور Chlorophyll

عبارة عن حلقة Porphyrine تتكون ذيول:

- القطب اليخضوري البورفيريني Porphyrine الأليف للماء

رأس حلقي يتألف من أربع حلقات بيرولية تربطها ذرة منغنيزيوم (Mg– تقع في نواة الحلقة البيرولية)، يقع على سطح أغشية Thylakoids ويقوم بامتصاص الأشعة (يعتبر هذا القطب مركز امتصاص الفوتونات الضوئية).

- القطب اليخضوري الفيتولي Phytol النافر للماء

ذيل خطي بسلسلة كحولية هيدروكربونية (20 ذرة C) ينغرز في أغشية التيلاكويد ممتداً من إحدى حلقات البيرول الأربع. مهمته تثبيت جزيئات الكلوروفيل.

**أنواع الكلوروفيلات**

1– كلوروفيل Chlorophyll(a)

لونه أخضر مزرق، يحوي ميتيل ($CH_3$). وهو نوع رئيسي متواجد عند كل متعضيات ذاتية الاغتذاء.

2– كلوروفيل Chlorophyll(b)

لونه أخضر مصفر يحوي فورميل (CHO). يصادف وجوده عند النباتات العليا والطحالب.

3- كلوروفيل Chlorophyll(c)

تتسم به الطحالب البنية الخالية من Chlorophyll(b).

4- كلوروفيل Chlorophyll(d)

يوجد عند الطحالب الحمراء التي لا تحوي Chlorophyll(b).

- **إن أكثر أنواع اليخضور سيادة هو كلوروفيل Chlorophyll(a) و Chlorophyll(b).**
- **أنواع اليخضور (9)، و Chlorophyll(c,d,e) الطحالب مختلط مع Chlorophyll (a)**
- **يمتص الكلوروفيل الأشعة الضوئية في المجال الأحمر والأزرق ويعكس الضوء الأخضر.**

أصبغة أشباه الكاروتينات (الكاروتينوئيدات)

على الأغلب تتواجد في الأجزاء النباتية الخالية من الكلوروفيل، وهي واسعة الانتشار عند النباتات الراقية والدنيا (طحالب حمراء وخضراء، بكتيريا) التي تقوم بالعملية الفوتوتمثيلية.

تصادف هذه الأصبغة مع كلوروفيل الجسيمات الصانعة الخضراء وحاملات اللون وقد تحجبه.

- **الـ Carotene من Carrot (الجزر)،عزل من جذر الجزر.**
- **يتدرج طيف الكاروتينات بين الأصفر والأحمر والأزرق حتى البني.**

- **تظهر أشباه الكاروتينات بتحطيم الكلوروفيل في الأوراق قبل سقوطها.**
- **انشطار β-كاروتين يعطي جزئيتين فيتامين A**

**الأهمية البيولوجية للكاروتينوئيدات (أشباه الكاروتينات)**

- ✓ مشاركة الكلوروفيل في امتصاص الطاقة الضوئية.
- ✓ خفض امتصاص الطاقة الزائدة لليخضور المتهيج.
- ✓ وقاية الكلوروفيل من الأكسدة الضوئية.
- ✓ تقضي على الأجزاء النباتية ألوان زاهية.

**الأهمية البيوفيزيولوجية للبلاستيدات (الجسيمات الصانعة)**

1- مركز جريان العملية الفوتوتمثيلية.

2- تصنيع روابط عنصر الكربون.

3- أحد مختزنات المركبات الغذائية.

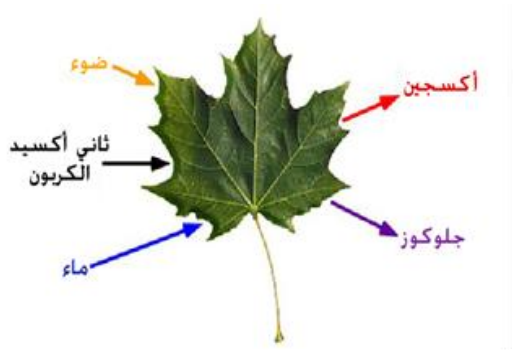
4- خلالها يتم إنتاج ATP.

5- تساهم في التأبير الخلطي بجذب الحشرات (تضفي ألوان زاهية).

**الكلوروبلاست وعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis**

من أهم الوظائف التي يقوم به الـ Chloroplast هي عملية التمثيل الضوئي التي تحدث في خلايا الأحياء النباتية ذاتية الأغتذاء Autotrophic.

يجري البناء الضوئي بمساهمة $CO_2$ و$H_2O$ (فقيرة بالطاقة) وأشعة ضوئية تقنصها أصبغة الكلوروبلاست لتتحول الطاقة الفيزيائية إلى كيميائية (جزيئات تدعى أدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي سيستخدم في تثبيت $CO_2$ وتحويله إلى مائيات الفحم (بداية إلى غلوكوز) وروابط عضوية أخرى.




**الشكل (4): يبين العناصر الداخلة والخارجة في عملية التمثيل الضوئي.**

**دور البلاستيدات الخضراء في التمثيل الضوئي**

تعد البلاستيدات الخضراء مركز جريان عملية التمثيل الضوئي، حيث تجري كل من:

1- العمليات الكيميائية الضوئية: تتم في أغشية Thylakoids الغرانا بوجود الإضاءة.

2- التفاعلات الكيميائية الحيوية الظلامية: تحدث في الـ Stroma بغياب الأشعة.

**مراحل ألية التمثيل الضوئي**

- المرحلة الضوئية لعملية التمثيل الضوئي

تفاعلات ضوئية، امتصاص الطاقة الضوئية بالصبغات (كلوروفيل والكاروتينات). وتعتبر الإضاءة في هذه المرحلة العامل المحدد لسرعة تفاعلاتها.

- المرحلة العتمة لعملية التمثيل الضوئي

اختزال $CO_2$ إلى سكر العنب (غلوكوز) بمشاركة طاقة NADPH وATP. وتعتبر الحرارة العامل المحدد لسرعة تفاعلاتها.

**نواتج عملية التمثيل الضوئي:**

- الناتج الرئيس هو سكر الغلوكوز:
  - يعد الغلوكوز من الركائز الهامة في عملية إنتاج الطاقة (الاستقلاب التنفسي- الهدم).
  - بتفاعلات حيوية يتحول الغلوكوز إلى مادة بنائية(البروتينات).
  - بعملية تكاثف جزيئات الغلوكوز يتم إنتاج سكريات عديدة التسكر(النشا).
- الناتج الثانوي هو غاز($O_2$): الفوتوتمثيلية تعتبر ينبوع اطراح $O_2$ اللازم للأكسدة التنفسية (ATP).

# الفصل السادس

**العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 2)**

❖ **المتقدرات Mitochondria (الجسيمات الكوندرية)**

**الجسيمات الكوندرية Mitochondria**

عبارة عن أجسام حية بروتوبلازمية ديناميكية متخصصة وظيفياً ومنتشرة في السيتوبلاسم الخلوي لخلايا متعضيات حقيقيات النواة بأشكال مختلفة (شريطية، حبيبية، مفلطحة، عصوية)، ولكنها تغيب في خلايا بدائيات النواة (الجراثيم). تأتي أهمية المتقدرات بعد النواة، حيث تعد المسؤولة عن استخلاص الطاقة البيولوجية Bioenergy المخزنة في المركبات العضوية كالغلوكوز وذلك بأكسدتها تنفسياً (مادة عضوية + الأكسجين)، لاستخلاص منها المركب العضوي المسمى بحامل الطاقة وهو ادينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP). تعد المتقدرات منبع لتأمين الطاقة الحيوية الضرورية للنشاطات المتنوعة التي تنجزها العضيات الخلوية، بينما في خلايا بدائيات النواة (الجراثيم والبكتيريا) تشارك الخلية كاملة بإنتاج الطاقة لعدم امتلاكها على المتقدرات كخلايا النباتات الراقية.

**- اكتشفت Mitochondria على يد عالم التشريح السويدي Albert Kollier(1850)**

**- Mitochondria سماها العالم Benda وتعني جبيبات خيطية مشتقة من اليونانية:**

**- Mitos خيط. - Chondlrion جبيبات**

**- مصطلح الـ Chonderiome يعني المجاميع الكوندرية.**

**- يطلق على الـ Mitochondria المصورات الحيوية أو المتقدرات، يتراوح طولها بين (2- 30 ميكرون) وهي بمثابة بيت الطاقة وقد شبهت بالجسيمات الصانعة في الخلايا النشطة.**

**- تشارك الخلية الجرثومية كاملة بالدور الحيوي الذي تنجزه المتقدرات**

إن عدد وحجم المتقدرات غير ثابت بل يتغير تبعاً لنوع الخلية وحالتها الفيزيولوجية (نشاطها)، حيث يزداد حجمها وعددها بكثافة (في خلية فطر الخميرة تظهر في عدة حبيبات)، وعديدة في الخلايا النشطة استقلابياً خاصة في أماكن النشاط الاستقلابي (الخلايا الميرستيمية تتميز بالنشاطات المختلفة، تتجمع قرب الغشاء البلاسمي لوجه الخلية الذي تحدث عليه عمليات امتصاص وإفراز).

تتوارث الميتاكوندريا من خلية الأم، وهذا دليل على تميزها باستقلالية ذاتية من الناحية الوراثية. أما من حيث زيادة اعدادها فلديها بعض السيطرة على هذه الخاصية، وذلك بحادثة التكاثر عن طريق الانقسام الثنائي (يتخمص غلافها من منتصفه حتى المركز فتنقسم إلى أثنتين وبسرعة لا تتجاوز بضع دقائق)، وفي الخلية المنقسمة تلاحظ الميتاكوندريات موزعة على جانبي اللوحة الاستوائية للخلية المنقسمة متوزعة فيما بعد في خليتين البنتين بالتساوي تقريباً.

قبل الانفسام تندمج الميتوكوندريا معًا في عملية تسمى الاندماج، وهي حاجة ضرورية من أجل الحفاظ على الاستقرار، فبدونه تصبح الميتوكوندريا أصغر كلما انقسمت الأمر الذي يقود إلى ضعف في قدرتها على إنتاج كميات كافية من ATP اللازمة لنشاطات الخلية.

**تكشف المتقدرات باستعمال مثبتات وملونات خاصة مثل أخضر الجانوس Janus green (صيغة عديمة اللون وفي حال تأكسدها تتلون بالأخضر).**

**بنية المتقدرات**

☒ الوحدة الخارجية: تتألف من غلاف بيولوجي ثنائي الغشاء ذو طبيعة ليبوبروتينية (فوسفوليبيد مع بروتينات مدمجة)، هما:

- الغشاء الخارجي (المحيطي): طبيعته ملساء يحيط بجسم الميتاكوندري.

الغشاء الداخلي: غشاء يحيط بالحشوة Matrix (هي المحتوى الداخلي للجسيم الكوندري).

تنشأ عن الغشاء الداخلي زوائد داخلية تعبر كامل المادة الأساسية Matrix (تحصل انثناءات للغشاء الداخلي بشكل عامودي على المحور الطولي للمتقدرة) تدعى بالأعراف Crestes تشبه الطيات، تلعب دوراً في زيادة سطح التلامس الوظيفي (لاتمام تفاعلات الفسفرة التأكسدية)، كونها تحمل الجمل الإنزيمية اللازمة للاستقلاب التنفسي وخاصة:

- إنزيم ($ATP_{ase}$ ATP–Synthase ).
- نواقل إلكترونات.
- مستقبلات الـ H مثل الـ NAD.

**النواقل الإلكترونية الخلوية**

**– NAD (نيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد Nicotine amide dinucleotide)**

**– FAD( فلافين اميد ثنائي النيوكليوتيد Flavine amide dinucleotide).**

**تتلقى e وH في موضع تفكك الغذاء، تنقلها وتعطيها إلى موضع إنتاج ATP**

على السطح الداخلي لهذا الغشاء تصادف صفوف مترتبة من جسيمات (حبيبات صغيرة) مؤلفة من رأس وعنق وقاعدة تنغرس في طبقته الليبيدية تسمى $ATP_{somes}$ (تمثل إنزيم ATP–Synthase) تساهم في الفسفرة التأكسدية (إنتاج الطاقة الحيوية– ATP).

☒ الوحدة الداخلية: يطلق عليها الحشوة Matrix (السردة).

**التركيب الكيميائي للميتاكوندريا**

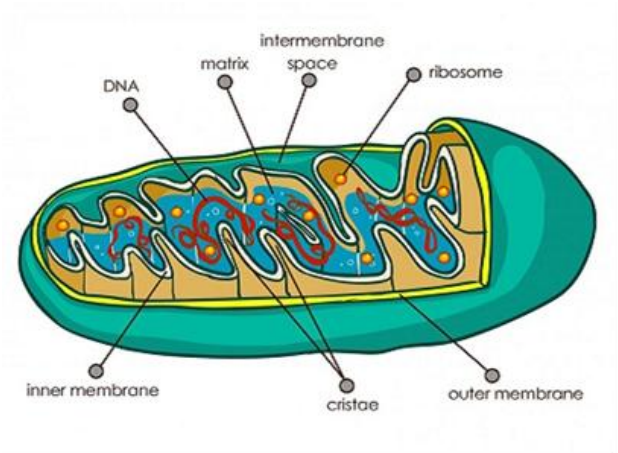
- 30–40 % بروتين و 32–38 % دهون.
- أحماض نووية DNA, RNA خاصة بها يمكنها صنع البروتينات الخاصة بها.
- سلسلة مجمعات بروتينية وجزيئات حاملة للإلكترون، والتي تشكل سلسلة نقل الكتروني ETC. وحوامل الـ (H) وهي ناقلات الكترونية NADH و $FADH_2$.
- إنزيمات دورة كريبس وانزيمات تحويل ATP إلى ADP.
- جسيمات ريبية من نمط (70S). الإلكترون.(ETC).

**– وجود $DNA_{mit}$ يدل على أن الـ Mitochondria ذات استقلالية ذاتية وراثياً.**

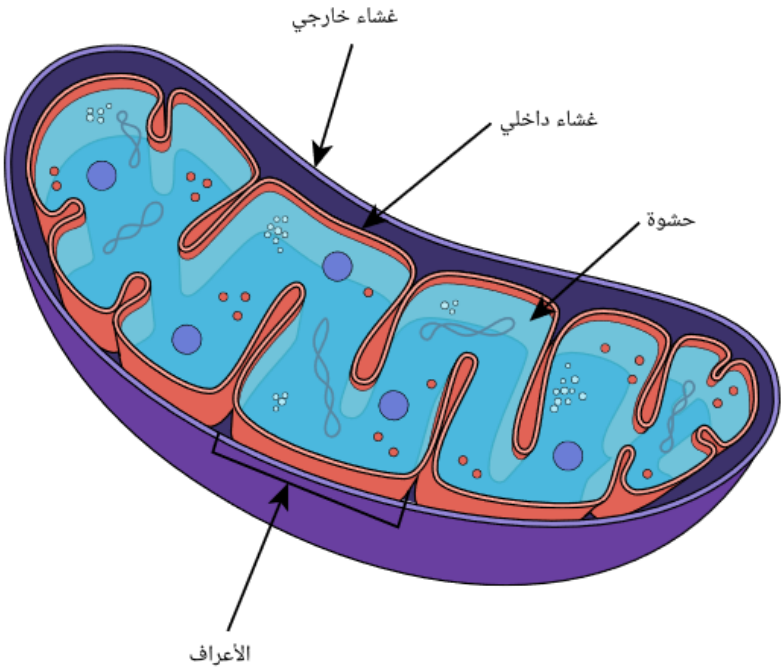
**– $DNA_{mit}$ يساعد المتقدرات على الإنقسام داخل الستوبلازم دون الحاجة إلى إنقسام الخلية.**



**الشكل (1): يوضح البنية العامة للميتاكوندريا.**




**الشكل (2): يوضح مكونات بنية المياكوندريا.**




**الشكل (3): يوضح الشكل التفاصيل للتركيب الداخلي.**

**الدور البيولوجي للميتاكوندريا**

**الـ Mitochondria**: مركز إنتاج القدرة في الخلية، ويتم الإنتاج بألية الاستقلاب أو الأكسدة التنفسية الخلوية، والتنفس الخلوي هو الطريقة التي تستمد بها الخلايا الطاقة من الروابط العضوية الغذائية، **ويتم ذلك**:

- من خلال مجموعة تفاعلات استقلابية لمركبات عضوية (سكريات، بروتينات، دهون، روابط عضوية)، وذلك بمساهمة كل من غاز الـ ($O_2$) الجوي وإنزيمات الأكسدة والإرجاع وذلك بطريقة نزع الـ (H) من العضويات الكيميائية، وبالمحصلة تتحرر:

– جزيئات الـ ($H_2O$) وغاز الـ ($CO_2$).

– طاقة جزيئية عضوية فوسفاتية Adenosine triphosphate (ATP) (بدءاً من ADP و $H_3PO_4$).

**- تعد المتقدرات مواقد احتراق الأغذية وإنتاج القدرة، حيث تمد الخلايا بالطاقة الكيميائية وذلك بدءاً من ADP و ($PO_4^{-3}$) لإنتاج الـ ATP، فهي منتج (مركز توليد) الطاقة الحيوية وتعتبر قوة للخلية.**

**- غياب المتقدرات يفقد الخلية القدرة على إنتاج ATP اللازمة لها للحفاظ على الحياة، نتيجة توقف النشاطات الحيوية الأخرى التي جريانها يعتمد على استهلاك الـ ATP.**

أطلق على عملتي الأكسدة والارجاع الجارية خلال عملية التنفس Respiration في هذه العضيات بالفسفرة التأكسدية Oxitative Phosphorylation التي تتوضح بالعلاقة العامة التالية:

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

**- Adenosine Triphosphate(ATP) وهو عبارة عن جزيئات نوكليوتيدية كيميائية.**

**- (ATP) يعتبر الحامل الأساسي للطاقة الحيوية المستخلصة من عضويات خلايا المتعضيات.**

**- يعد الـ ATP المركب الأغزر في الخلية والحامل لجذور فوسفاتية غنية بالطاقة.**

بعد تكوين الـ ATP داخل المصورات الحيوية يتم نقله إلى خارج الميتاكوندريا، إلى الأماكن التي يتم فيها العمليات البيولوجية المختلفة.

**طرق إنتاج الطاقة الحيوية (ATP):**

يتم إنتاج الطاقة البيولوجية من خلال عملية فسفرة الـ ADP بـ:

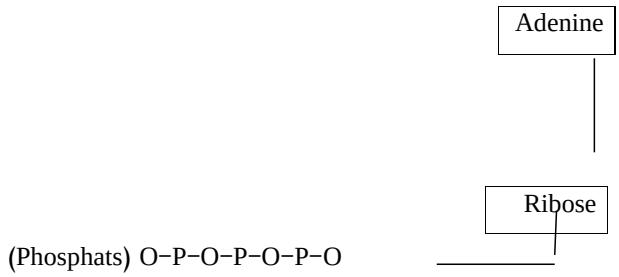
- الفسفرة الضوئية: تتم في خلايا المتعضيات النباتية الخضراء.
- الفسفرة التأكسيدية: تتم في جميع خلايا الأحياء بالاستقلاب التنفسي (عملية التنفس الخلوي).

**طبيعة الطاقة الحيوية (ATP) عند الأحياء:**

يدعى المركب الطاقي المستخلص من خلايا الأحياء بـ Adenosine Triphosphate (ATP)، ويتم الحصول عليه من التفاعلات الهدمية للروابط العضوية.

يتكون الـ Adenosine Triphosphate (ATP) من:

- Adenosine مركب أزوتي عضوي (قاعدة أزوتية).
- Ribose سكر خماسي الكربون.
- ثلاث جذور فوسفاتية ($PO_4^{-3}$) Phosphate Redicals.




**مراحل عملية التنفس الخلوي Cell Respiration**

**التنفس الخلوي Cell Respiration**: عملية بيولوجية تحدث في بروتوبلازم الخلية وفق سلسلة من التفاعلات الإنزيمية يطلق عليها تفاعلات الأكسدة والارجاع التي تتلخص في مرحلتين أساسيتين، هما:

- مرحلة الـ Glycolysis التحلل السكري: تجري في السيتوبلازم (خارج المتقدرة). تتلخص في تفكك (أكسدة) سكر الغلوكوز، حيث يتفكك الغلوكوز إلى جزيئتين متساويتين وكل منهما تتحول إلى حمض البيروفيك Pyrovic Acid(3C). هذه المرحلة تستهلك ATP ولا تحتاج إلى غاز الـ ($O_2$).
- مرحلة حلقة Krebs Cycle: تجري في ماتريكس المتقدرات سلسلة من التفاعلات الكيميائية تدعى بحلقة كريبس (حلقة حمض الليمون Citric acid cycle)، ويكون نتاجها أكسدة حمض البيروفيك بغاز الـ ($O_2$) إلى $CO_2$ و$H_2O$:

– تحدث بعض التعديلات لحمض البيروفيك خلالها ينزع منه غاز ($CO_2$).

– إنتاج اسيتيل كو إنزيم واندماجه مع حمض اوكزالواسيتيك ليتشكل حمض الستريك وناقلات الكترونية NADH و $FADH_2$ (هي الهدف الرئيس لهذه المرحلة).

- مرحلة سلسلة النقل الاكتروني: تحدث في الغشاء الداخلي للمتقدرة (موضع تجمع إنزيمي وخاصة إنزيم تخليق ATP المسمى ATP سنتيتاز) والهدف منها هو إنتاج ATP:

✓ عند خروج الـ NADH من دورة كريبس يمر بالانزيم الأول كومبليكس1 فيفقد الكترون وهيدروجين. الالكترون يدخل إلى الحشوة، بينما الـ H يدخل إلى الفراغ بين الغشائين.

✓ FADH2 يبدأ من إنزيم كومبليكس 2 بسلسلة حتى تتراكم شوارد الهيدروجين في الفراغ بين الغشائين فيصبح محتوى الفراغ من الهيدروجين أكبر مما هو في الحشوة لذلك تنتقل ذرات الهيدروجين إلى الحشوة عبر ATP سنتيتاز وخلال هذه العملية يتم انتاج ATP.

**يعتبر(Adenosine Triphosphate(ATP الحامل الأساسي للطاقة الحيوية في خلايا المتعضيات الحية.**

**العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 3)**

❖ **الريبوزومات Ribosomes**

**الجسيم الريبي:** أحد المكونات الحيوية للخلية وأصغر المكتنفات السيتوبلاسمية يقارب حجمه $20_{nm}$، ويأخذ شكل جسيم حبيبي دقيق له مظهر هلالي (بيضوي) وغير مغلف بغشاء حيوي.

لا تحيط طبقة الفوسفوليبيد المزدوجة بالجسيمات الريبية، لذا فهي مكتنفات غير محاطة بغشاء بيولوجي. في الواقع، هذا الأمر يجعل بعض العلماء يتناقشون حول أنه لا يمكن اعتبارها من االمكتنفات على الإطلاق على خلاف العُضَيَّات الأخرى المحاطة بغشاء.

تصادف الجسيمات الريبية في سيتوبلاسم جميع الخلايا بدائيات وحقيقيات النواة ما عدا الكريات الحمراء، إلا أنه يتباين أعدادها وأحجامها وفق عدة عوامل، من أهمها:

a- العمر الخلوي (في الخلايا الميرستيمية أكثر من البالغة).

b- المستوى التنظيمي الخلوي (لدى خلايا حقيقيات النواة أكثر).

c- الحالة الوظيفية للخلايا (كثيرة في خلايا نشيطة النواة مقارنة مع ضعيفة النشاط).

**- تم اكتشاف الريبوسوم في عام 1974 بواسطة (ألبير كلود)، و (كريستيان دو دوف)، و (جورج بالاد). الذي فازوا بـ جائزة نوبل على إكتشافهم.**

**- كشف الريبوزوم على يد العالم Palade (1955) أثناء مشاهدته لبنى حبيبية مرتبطة بالوجه المحبطي لكييسات الشبكة الإندوبلاسمية. وبذلك سميت حبيبة Palade.**

**- العالم Roberts (1958) اطلق على هذا الجسيم أسم الـ Ribosome**

**- تصادف الجسيمات الريبية بأعداد كبيرة في خلايا الأحياء (الجراثيم 10000 إلا أنها صغيرة الحجم وفي حقيقيات النوى أضعاف ذلك بكثير).**

**– الريبوزومات هي المنطقة الساخنة لأليات ربط الأحماض الأمينية وتكوين الروابط الببتيدية وبالتالي البروتينات المتنوعة.**

تُترجم الريبوسومات الحمض النووي الريبوزي الرسول (mRNA) الذي يحمل الشفرة الوراثية من الحمض النووي (DNA) في النواة، إلى سلسلة من الأحماض الأمينية تسمى سلسلة عديد الببتيد. عادة ما يعدل هذا الجزء من الببتيد من خلال عُضَيَّات أخرى، مثل الشبكة الإندوبلازمية وجهاز جولجي، ليصبح بروتينًا وظيفيًّا، كأن يصبح إنزيمًا على سبيل المثال.

**التركيب الكيميائي للريبوزوم:**

الجسيم الريبي عضية سيتوبلاسمية ثنائي التركيب الكيميائي أساساً هي دقائق بروتينية ريبية نووية، حيث تبلغ الجزيئات البروتينية (65–70 %)، بينما تشكل جزيئات الحمض الريبي النووي (30–35 % وهذه النسبة تقارب 80 % من كمية الحمض النووي الريبي RNA)، وتجدر الإشارة هنا إلى أن الريبوزوم كيمائياً يخلو تماماً من الكربوهيدرات والليبيدات. إن عملية ارتباط الحمض النووي الريبي ($RNA_r$) مع بروتينات النوية تتم بوجود شوارد (Mg ،Ca).

**البنية الهيكلية للريبوزوم:**

بنيوياً يتألف الريبوزوم من تحت وحدتين فرعيتين (أوليتين) مختلفة القياس والشكل وعدد ونوع مركباتها التركيبية (جزيئات البروتين والحمض النووي الريبي):

- الوحدة الفرعية الصغيرة: شكلها قرصي متطاول (محدب– مقعر) وبأبعاد ($16 \text{ X } 9.5_{Nm}$). تكمن مسؤوليتها في تدفق المعلومات أثناء اصطناع البروتينات.
- الوحدة الفرعية الكبيرة: تمتاز بالشكل الكروي، تبلغ أبعادها ($16 \text{ X } 14_{Nm}$). تحتوي على الموقع الذي يتم فيه تكوين روابط جديدة عند تكوين البروتينات.

يتشكل الجسيم الريبي كامل الوظيفة أثناء أداء الوظيفة البيولوجية (تركيب البروتينات)، حيث ترتبط الوحدتان الأوليتان مع بعضهما البعض بوجود الشوارد الكهربائية ($Mg^{+2}$– يعتبر عنصر المنغنيزيوم عامل أو مسؤول ارتباط الوحدتين الأوليتين لتكوين وحدة الجسيم الريبي)، وتنفصل عن بعضهما بعد الانتهاء الكامل من تخليق البروتينات.

لا تختلف الجسيمات الريبية من حيث التركيب والبنية والوظيفة بين خلايا بدائيات وحقيقيات النوى فيما بينهما وأيضاً بين تلك المرتبطة بالمكتنفات الخلوية، إلا أن التباين يبدو في حجم حبيباتها (تحت الوحدات) الذي يتحدد يقاس سرعة التثفيل (ثابت الرسيب) الذي يشير إلى أن الريبوزومات في الخلايا حقيقية النوى أكبر من تلك الموجودة في الخلايا بدائية النوى والتي تحتويها المتقدرات والصانعات.

يشار إلى قياس الريبوزوم (الحجم) بمعامل الترسيب الذي يعبر عنه بوحدة (S) Svedberg، وعلى الأساس الاختلاف في معامل (S) هناك نوعان من الجسيمات الريبية لدى:

- ريبوزومات تمتلك سرعة تثفيل 70S تمتاز بها خلايا بدائيات النواة.
- جسيمات صانعة معامل ترسيبها 80S تحتويها خلايا حقيقيات النواة. ويضاف إلى ذلك إلى أن هذا النمط الخلوي يضم داخله ثلاثة أنواع من الريبوزومات تتباين وفقاً لقيمة معامل الترسيب (S):
  - ✓ Cytoribosomes: الجسيمات الريبية السيتوبلاسمية، معامل ترسيبها 80S.
  - ✓ Plastoribosomes: ريبوزومات البلاستيدات، معامل ترسيبها 70S.
  - ✓ Mitoribosomes: الريبوزومات الميتاكوندرية، معامل ترسيبها 70S.

**– سميت (S) نسبة لـ Svedberg الذي قام بترسيبها بعملية الطرد المركزي (التثفيل) للتميز في حجومها بين المتعضيات المختلفة.**

**معامل (ثابت) ترسيب (S) وحدات الريبوزومات:**

1- معامل (ثابت) الترسيب من نمط (80S)

يخص خلايا حقيقيات النواة التي تتسم ريبوزوماتها بوحدات أولية:

- ثابت ترسيب الوحدة الصغيرة (40S) تحتوي على جزيئة واحدة ($RNA_r$).
- ثابت ترسيب الوحدة الكبيرة (60S) تضم جزيئتين ($RNA_r$).
- بارتباطهما يتكون جسيم ريبي كامل بثابت ترسيب (80S).
- الوزن الجزيئي للجسيم الريبوزومي المتشكل هو (4.5) مليون دالتون.

2- معامل (ثابت) الترسيب من نمط (70S)

تختص به عضيات السيتوبلاسم (متقدرات، صانعات، شبكة إندوبلاسمية) وخلايا بدائيات النواة -مع تباين بسيط- التي تمتاز الوحدات الأولية لجسيماتها الريبية بالتالي:

- ثابت ترسيب الوحدة الصغيرة (30S) تحتوي على جزيئة واحدة ($RNA_r$).
- ثابت ترسيب الوحدة الكبيرة (50S) تضم جزيئتين ($RNA_r$).
- عند اتحادهما يتشكل ريبوزوم كامل معامل ترسيبه (70S).
- الوزن الجزيئي للجسيم الريبي المتكون هو (2.8) مليون دالتون.

**مظاهر توزع الريبوزومات في الخلية:**

يظهر توضع الريبوزومات في الخلية النباتية في شكلين:

a) مظهر منفرد: منتشرة في تجويف البلاسما ومسؤولة عن تصنيع كميات بروتينية بسيطة.

b) مظهر متجمع: تتراكم مشكلة عديدات الريبوزومات Polyribosomes (تراكم عنقودي).

**حالات توضع الريبوزومات في الخلية:**

1- ريبوزومات حرة

تسبح وتنتشر في وسط السيتوبلاسم، وتمتاز بها خلايا المتعضيات الدنيا وخلايا الأحياء النباتية الراقية.

2- ريبوزومات مرتبطة

تظهر عند خلايا النباتات الراقية. تربط وحدته الفرعية الكبيرة –بواسطة بروتين خاص متواجد في الأغشية البلاسمية– بأغشية بعض المكتنفات الخلوية (الشبكة الإندوبلاسمية، الصانعات، والميتاكوندريا، الغشاء النووي).

**– تمتاز خلايا المتعضيات الدنيا بوجود ريبوزومات ذات توضع حر، بينما التوزع الحر والمرتبط تختص به خلايا الأحياء الراقية.**

**– يتم تمثيل البروتينات على كل من الريبوزومات الحرة والمرتبطة.**

**موضع وألية تشكل الجسيم الريبي:**

يتم تمثيل البروتينات الخاصة بالنوية في النواة، وداخل هذه الأخيرة وبالضبط على أحد صبغياتها هناك منطقة غير متحلزنة تحتوي على تكرار مورثي خاص، تتشكل منها النوية وفي الوقت نفسه تعد هذه المنطقة مركز لتكوين جزيئات الـ $RNA_r$.

يتحد الحمض النووي الريبي ($RNA_r$) مع بروتينات النوية بطريقة ارتباط المجموعة الفوسفاتية ($PO_4$) للحمض النووي الريبي ($RNA_r$) مع زمرة الأمينو ($NH_2$) المحمولة على البروتين، فتتكون الوحدتين الفرعيتين الصغيرة والكبيرة للريبوزومات.

تخرج وحدات الجسيم الريبي من النوية ثم النواة من خلال نقر الغشاء النووي، وتهاجر لتلتحم مع بعضها وتستقر في السيتوبلاسم على أشرطة $RNA_m$ مشكلة جسيم ريبوزومي كامل الوظيفة قادر على تمثيل الروابط الببتيدية(البروتينات).

على شريط $RNA_m$ تبدأ الريبوزومات بعملية التمثيل البروتيني بألية ارتباط الحموض الأمينية المنتشرة في السيتوبلاسم بمشاركة الحمض النووي $RNA_m$ (الناقل) ومساهمة الـ ATP.

- **نشاط الريبوزومات يقارب ست ساعات في خلايا حقيقيات النوى**
- **الخلايا ذات النواة غير النشطة تنعدم من وجود الجسيمات الريبية**
- **كل ثانية في خلايا ذات النواة النشطة قد يتم تكوين أكثر من 100 ريبوزوم**

**وظيفة الجسيمات الريبية**

تكمن الوظيفة الرئيسية للجسيمات الريبية في ترجمة شيفرة (المعلومات الوراثية) للحمض النووي المرسال ($RNA_m$) إلى سلاسل ببتيدية تتكون من ترابط مرتب ومنظم للأحماض الأمينية الخاصة لاصطناع البروتينات النوعية ضمن النمط الوراثي (الخاص بالتنوع الحيوي) المسؤول عن تنامي وتطور وصيانة هيكلية المتعضي ووظائفه، كونها تقوم بإنتاج تنوعي لكثير من الروابط البيوكيميائية (الهرمونات، الأنزيمات، الأجسام المضادة، الأصبغة وغيرها) التي يدخل في تركيبها البروتينات الضرورية للمظاهر الحياتية.

تتم وظيفة الجسيمات الريبية بمشاركة كل من الأحماض النووية (RNA بأنواعه وDNA) والأحماض الأمينية والطاقة البيولوجية (ATP).

**الريبوزومات آلة جزيئية خلوية معقدة غير متخصصة (لانوعية) في تمثيل بروتين محدد، إنما عملها يخضع لنوع الشيفرة الوراثية التي يحملها الحمض النووي المرسال ($RNA_m$) لذلك تتنوع في إنتاجها البروتيني، لذى يطل عليها بمواقع تخليق البروتينات في الخلية.**

H

**ملخص اصطناع البروتينات**

لكي يتم تركيب البروتينات تحتاج الريبوزومات إلى:

- إسم "دليل أو إشارة" لتتوجه الجسيمات الريبية إلى سطح الشبكة الإندوبلازمية.
- تعليمات معينة حول كيفية صنع كل بروتين.
- ترجمة التعليمات

من أجل الاستجابة لتركيب البروتين يجب أن تنتقل المعلومات المتواجدة في النواة إلى السيتوبلاسم، ويتم ذلك عن طريق مركب متخصص الناقل للمعلومات وهو جزيئات الـ **($RNA_m$)** الذي يحمل رموز معينة **(شيفرة المرسال** أو وصفة للاصطناع)..

تتم عملية الترجمة (بعد نسخ شيفرة المرسال) عن طريق قراءة الريبوزومات شيفرة البداية الموجهة من النواة مع $RNA_m$ إلى السيتوبلاسم، ومن ثم تسلسل ترتيب ارتباط الأحماض الأمينية وفقًا لها وتوليف السلسلة الببتيدية لحد وصول إشارة كودون التوقف (الأخير)، تتفرمل عملية إضافة مجموعة الأحماض الأمينية الجديدة وبالتالي يطلق سلسلة البولي ببتيد (البروتين المتشكل) التي جري تخليقها إلى تجويف الشبكة الاندوبلازمية وبعد ذلك نقل عديد الببتيد إلى جهاز غولجي حيث تتم معالجته، ثم تنقل المركبات الناتجة لتدخل في تكوين الليزوزومات أو الغشاء الخلوي أو الحويصلات الإفرازية، أما إذا لم تظهر الإشارة فإن سلسلة عديد الببتيد ستخلق وتطلق في أرضية السيتوبلازم، لتدخل في بناء تراكيب معينة في النواة المتقدرات وصانعات اليخضور والبيروكسيات.

الريبوزوم والتمثيل البروتيني

في الخلية يجري تمثيل جملة متنوعة من البروتينات بمشاركة كل من عنصر (الريبوزوم، DNA، RNA) وفق مرحلتين أساسيتين، هما:

❖ عملية النسخ Transcription

في النواة. بواسطة ثلاثة إنزيمات بلمرة (RNA−Polymerase) ينسخ من الحمض الـ DNA جزيئات الـ RNA بأنواعه الثلاث، التي هي:

- ✓ الريبوزومي ($RNA_r$): نسبته تشكل (80 %). يرتبط مع بروتينات الريبية لتكوين الجسيم الريبي (الوحدة الكبيرة والصغيرة). وينسخ $RNA_r$ (8S, 18S , 28S) بواسطة إنزيم( RNA−Polymerase I).
- ✓ الناقل ($RNA_t$): ينقل الحموض الأمينية الموجودة في السيتوبلاسم إلى سطح الجسيمات الريبية. وتشكل نسبته ما يقارب (15 %). وينسخ $RNA_r$ و $RNA_t$ (5S) بواسطة إنزيم ( RNA−Polymerase III)
- ✓ الرسول ($RNA_m$): نسبته (5 %).) ينقل الشيفرة الوراثية من النواة إلى الجسيمات الريبية السيتوبلاسمية (يشفر إلى بروتين). وينسخ $RNA_m$ و الـ RNA الصغير(7S) بواسطة إنزيم (RNA−Polymerase II)

**– تخضع جزيئات الـ RNA قبل مغادرتها من النواة إلى السيتوبلاسم لبعض التبدلات.**

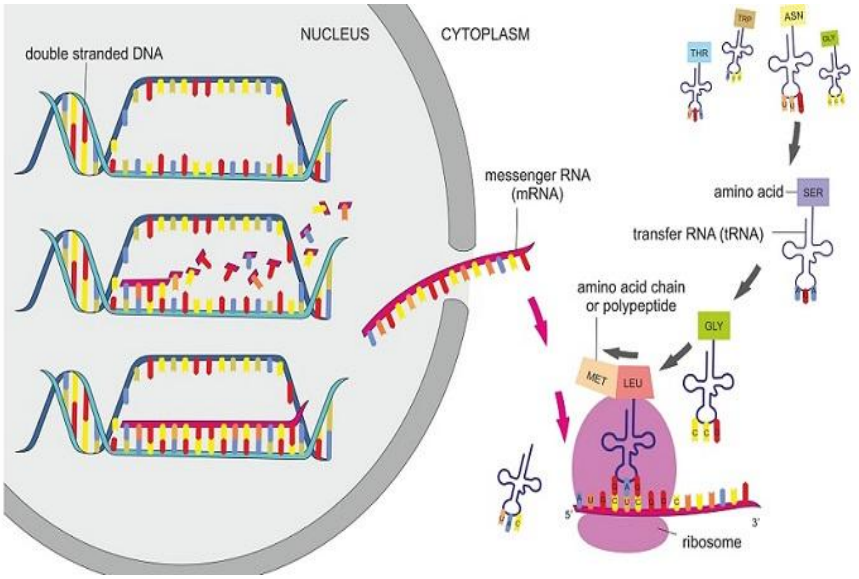
**– ترتبط جزيئات الـ RNA ببروتينات خاصة لتعبر النواة إلى السيتوبلاسم خلال الغشاء النووي.**

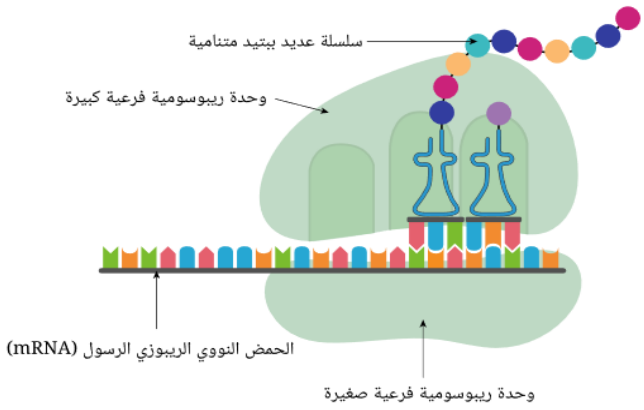
**حادثة الترجمة:**

الترجمة هي عملية أخذ التعليمات من (الحمض الريبوزي النووي – RNA) وتحويلها إلى بروتين.

وهذه هي الخطوات التي يأخذها الريبوزوم لتمثيل البروتين:

- يجتمع الريبوزوم (الوحدات الفرعية الكبيرة والصغيرة) مع (RNA).
- يبحث الريبوزوم على مكان البداية الصحيح في (RNA) وهذا المكان يُسمَّى (كودون).
- ينتقل الريبوزوم إلى أسفل (RNA)، ويقرأ التعليمات عن نوعية الأحماض الأمينية التي يجب أن تلتصق بالبروتين. وكل ثلاث رسائل على (RNA) تمثل (حمض أميني جديد).
- يقوم الريبوزوم بتركيب الأحماض الأمينية أثناء بناء البروتين.
- يتوقف الريبوزوم عن بناء البروتين عندما يصل إلى رمز إسمه "توقف" الموجود في (RNA) الذي بعلمه بأن البروتين أصبح جاهزاً.




**الشكل 6**: شكل يوضح تركيب الريبوسومات، وهي موقع تخليق البروتين في كل من الخلايا بدائية النوى والخلايا حقيقية النوى.

النسخ أو الانتساخ Transcription هو العمليَّة التي يَجرِي فيها نقل المعلومات المرمَّزة في الحَمض النَّووي الرِّيبي منزوع الأكسجين (نسخها) إلى الحمض النووي الريبي) الرَّنا.(RNA الحَمض النَّووي الرِّيبي RNA هو سلسلةٌ طويلة من القواعد مثل أحد طاقَي أو خَيطَي الحَمض النووي الرِّيبي منزوع الأكسجين تمامًا، إلاَّ أن قاعدة اليُوراسيل uracil (U) تحلّ محلَّ قاعدة التِّيمين.(T) وهكذا، يحتوي الحَمض النَّووي الرِّيبي (الرَّنا) على معلومات ثلاثية التَّرميز مثل الحمض النووي الرِّيبي منزوع الأكسجين.

عندما يبدأ النسخ، يُفتَح جزء من الحلزون المزدوج للحَمض النَّووي الرِّيبي منزوع الأكسجين ويزول التفافه أو تطوِّيه. ويعمل أحدُ طاقَي الحَمض النَّووي الرِّيبي منزوع الأكسجين غير الملتفّ بمنزلة قالب يتشكَّل عليه الطاق التَّتميمي complementary strand للحَمض النَّووي الرِّيبي.RNA ويُسمَّى الطاق التَّتميمي من الحَمض النَّووي الرِّيبي الرَّنا المِرسَال.(mRNA) RNA ينفصل الرَّنا المِرسَال mRNA عن الحمض النووي الرِّيبي منزوع الأكسجين DNA، ويترك النَّواة، ويسير إلى سيتوبلازم أو هَيُولى الخليَّة (جزء الخلية الواقع خارجَ النواة ـ # .Home.Fig داخل الخلية( .وفي هَيُولى الخليَّة، يرتبط الرَّنا المِرسَال على أحد الرِّيباسات (الأجسام الريبيَّةribosome (وهي بنية صغيرة في الخلية حيث يَحدث تخليق أو تصنيع البروتين؛

فمع بدء الترجمة، تُعطِي رامزة الرَّنا المِرسَال) من الحمض النووي الوراثي (DNA الريباسَة ترتيب ونوع الحُمُوض الأمينية لربطها معًا.ويجري جلبُ تلك الحُمُوض الأمينية إلى الرِّيباسَة عن طريق نوع أصغر بكثير من الحَمض النَّووي الرِّيبي يُسمَّى الحَمض النَّووي الرِّيبي النقَّال أو الرَّنا النقَّال.(tRNA) transfer RNA وكلُّ جزيء من الحمض النَّووي الريبي النقَّال يجلب واحدًا من الحُمُوض الأمينية لإدراجه في السلسلة المتنامِيَة من البروتين، والتي يجري طيُّها في بنية معقَّدة ثلاثية الأبعاد تحت تأثير الجزيئات المجاورة التي تُسمَّى جزيئات التشابيرونيَّة أو الوَصيفة chaperone

- تأتي هذه التعليمات من النواة على شكل RNA المرسال. يحتوي Messenger RNA على رموز محددة تعمل كوصفة لإخبار الريبوسوم بكيفية صنع البروتين.
- تدخل RNAs الناقل (tRNAs) التي تشتمل على الأحماض الأمينية، في الريبوسوم في موقع المستقبل. وبمجرد ارتباطه، فإنه يضيف الأحماض الأمينية إلى سلسلة البروتين المتنامية على الحمض الريبي النووي الناقل.

هناك خطوتان رئيسيتان في صنع البروتينات: النسخ والترجمة. حيث يقوم الريبوسوم بخطوة الترجمة.

.1النسخ

هي الخطوة الأولى في فك تشفير المعلومات الجينية للخلية. وأثناء النسخ، تقوم إنزيمات تسمى بوليميرات RNA ببناء جزيئات RNA التي تكون مكملة لجزء من خيط واحد من الحلزون المزدوج للحمض النووي .DNA

الفرق بين RNA وDNA

- RNA مفردة الجديلة وليست مزدوجة الشريطة.
- مكون السكر لديهم هو ريبوز وليس ديوكسي ريبوز) ريبوز منقوص الأوكسجين<(
- تشمل نيوكليوتيدات اليوراسيل (U) بدلاً من نيوكليوتيدات الثايمين.(T)
- نظرًا لأنها خيوط مفردة، فإن جزيئات الحمض النووي الريبي لا تشكل الحلزونات؛ بدلاً من ذلك، يتم طيها في هياكل معقدة يتم تثبيتها عن طريق الاقتران الداخلي التكميلي الأساسي.

أنواع RNA المسؤولة عن الجينات المشفرة داخل الحمض النووي للخلية

في الخلايا حقيقية النواة، تحتوي كل فئة من RNA على بوليميراز خاص بها، بينما في الخلايا بدائية النواة، يقوم بوليميراز RNA واحد بتوليف فئة مختلفة من.RNA

مقالات ذات صلة

1. تحمل جزيئات Messenger RNA (mRNA) تسلسلات الترميز لتخليق البروتين وتسمى النسخ.

- يوجد الآلاف من جزيئات الرنا المرسال المختلفة الموجودة في الخلية في أي وقت. تتوافر بعض جزيئات الرنا المرسال بوفرة، ويبلغ عددها بالمئات أو بالآلاف، كما هو الحال غالبًا في النسخ التي تشفر البروتينات الهيكلية.
- تعد mRNAs الأخرى نادرة جدًا، ربما مع وجود نسخة واحدة فقط، كما هو الحال في بعض الأحيان بالنسبة للنصوص التي تشفر بروتينات الإشارة.
- تختلف mRNAs أيضًا من حيث طول عمرها. في حقيقيات النوى، قد تظل نصوص البروتينات الهيكلية سليمة لأكثر من عشر ساعات، في حين أن نصوص البروتينات التي تشير إلى البروتينات قد تتحلل في أقل من عشر دقائق.

2. تشكل جزيئات الحمض النووي الريبوزي (rRNA) جوهر ريبوسومات الخلية (الهياكل التي يحدث فيها تخليق البروتين).
3. تحمل جزيئات (tRNA) RNA المنقولة الأحماض الأمينية إلى الريبوسومات أثناء تخليق البروتين.

.2الترجمة

الترجمة هي عملية أخذ التعليمات من الرنا المرسال وتحويلها إلى بروتين. فيما يلي الخطوات التي يتخذها الريبوسوم لصنع البروتين:

1. تتحد وحدتان فرعيتان معًا مع الحمض النووي الريبي المرسال.
2. يجد الريبوسوم مكان البداية الصحيح على الحمض النووي الريبي المسمى الكودون.
3. يتحرك الريبوسوم إلى أسفل الحمض النووي الريبي، ويقرأ التعليمات الخاصة بالأحماض الأمينية التي ترتبط بالبروتين. وكل ثلاثة أحرف على الحمض النووي الريبي تمثل حمضًا أمينيًا جديدًا.
4. يربط الريبوسوم الأحماض الأمينية ببناء البروتين.
5. يتوقف عن بناء البروتين عندما يصل إلى كود توقف (UAA) في الحمض النووي الريبي يخبره أن البروتين جاهز.

كيف تؤدي العملية برمتها إلى بروتينات جديدة؟

بعد اكتمال نسخ الحمض النووي إلى الرنا المرسال، تبدأ الترجمة – أو قراءة هذه الرنا المرسال لإنتاج البروتينات.

- تذكر أن جزيئات الرنا المرسال منفردة، وأن ترتيب قواعدها A – ، و U ، و C ، و – G مكمل لتلك الموجودة في أجزاء معينة من الحمض النووي للخلية.

- يحدد كل رنا مرسال الترتيب الذي يجب أن تضاف به الأحماض الأمينية إلى البروتين النامي أثناء تصنيعه.
- في الواقع، يتم تمثيل كل حمض أميني بتسلسل ثلاثي النوكليوتيدات أو كودون على طول جزيء الرنا المرسال. فعلى سبيل المثال، AGC هو كودون mRNA للحمض الأميني سيرين ، و UAA هو إشارة للتوقف عن ترجمة البروتين – يسمى أيضًا كود الإيقاف.

- جزيئات الحمض النووي الريبي الناقل (tRNA) مسؤولة عن مطابقة الأحماض الأمينية مع الكودونات المناسبة في.mRNA
  - يحتوي كل جزيء tRNA على نهايتين متميزتين، أحدهما يرتبط بحمض أميني معين، والآخر يرتبط بكودون mRNA المقابل.
  - أثناء الترجمة، تحمل هذه الحمض النووي الريبي الأحماض الأمينية إلى الريبوسوم وتنضم إلى أكوادها التكميلية.
  - بعد ذلك، يتم ربط الأحماض الأمينية المجمعة معًا بينما يتحرك الريبوسوم، مع الرنا الريباسي المقيم فيه، على طول جزيء الرنا المرسال في حركة تشبه السقاطة.
  - يمكن أن يكون طول سلاسل البروتين الناتجة مئات الأحماض الأمينية، ويتطلب تصنيع هذه الجزيئات كمية هائلة من الطاقة الكيميائية
- في الخلايا بدائية النواة، يرتبط النسخ DNA) إلى (mRNA والترجمة mRNA) إلى البروتين (ارتباطًا وثيقًا لدرجة أن الترجمة تبدأ عادةً قبل اكتمال النسخ. ومع ذلك، في الخلايا حقيقية النواة، يتم فصل العمليتين في كل من المكان والزمان: يتم تصنيع mRNAs في النواة، ويتم تصنيع البروتينات لاحقًا في السيتوبلازم.

ما أهمية الريبوسومات في النبات؟

يحتوي الحمض النووي الخلوي على تعليمات لبناء البروتينات المختلفة التي تحتاجها الخلية للبقاء على قيد الحياة. ولكي تصنع الخلية هذه البروتينات، يجب

- أولاً نسخ جينات معينة داخل حمضها النووي إلى جزيئات من الرنا المرسال.
- ثانياً يجب ترجمة هذه النسخ إلى سلاسل من الأحماض الأمينية، والتي يتم طيها لاحقًا إلى بروتينات تعمل بكامل طاقتها.
- على الرغم من أن جميع الخلايا في كائن متعدد الخلايا تحتوي على نفس مجموعة المعلومات الجينية، إلا أن النسخ النصية للخلايا المختلفة تختلف باختلاف بنية الخلايا ووظيفتها في الكائن الحي.

**وظيفة الريبوزومات المهمة ما يلي:**

**- يقوم بتجميع الأحماض الأمينية لتكوين بروتينات ضرورية للقيام بالوظائف الخلوية.**

1. DNA ينتج mRNA (رنا مرسال) من خلال عملية نسخ الحمض النووي.
2. يتم تصنيع الرنا المرسال في النواة ونقله إلى السيتوبلازم لعملية تخليق البروتين.
3. ترتبط الوحدات الفرعية الريبوزومية في السيتوبلازم حول بوليمرات الرنا المرسال. ثم يصنع الحمض الريبي النووي الناقل للبروتينات.
4. يتم استخدام البروتينات التي يتم تصنيعها في السيتوبلازم في السيتوبلازم نفسه، ويتم نقل البروتينات التي يتم تصنيعها بواسطة الريبوزومات المرتبطة خارج الخلية.

حقائق مثيرة للاهتمام حول الريبوسومات

- يأتي مقطع "ريب" الموجود في الريبوسوم من الحمض النووي الريبي (RNA) الذي يوفر الإرشادات الخاصة بصنع البروتينات.
- تتكون داخل نوية النواة. وبمجرد أن تصبح جاهزة يتم إرسالها إلى خارج النواة من خلال مسام في غشاء النواة.
- تختلف الريبوسومات عن معظم العضيات من حيث أنها غير محاطة بغشاء واقي.
- تم اكتشاف الريبوسوم في عام 1974 من قبل ألبرت كلود وكريستيان دي دوف وجورج إميل باليد. لقد فازوا بجائزة نوبل لاكتشافهم.

- الريبوسومات تختلف عن مُعظَم (العِضِّيات) في أنها ليست مُحاطَة بِـ غِشاء حماية.

**العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 4)**

❖ **معقد أو مجمع أو جهاز غولجي Golgy Apparatus**

**مجمع غولجي (جهاز غولجي Golgy Apparatus)**

اكتشف المكتنف في عام (1898) على يد العالم (الطبيب) الإيطالي Camillo Golgy الذي درس الخلايا العصبية لمخ البومة. وبفضل تقنيات المجهر الالكتروني أكد كل من Sjostrand وDalton وFelix احتواء جميع خلايا حقيقيات النواة على هذا المكون الخلوي، ومن بعد عام 1950 ثبت وجوده في الخلايا الحيوانية الفقارية واللافقارية. وخلال دراسة Porter (1958) وغيره من علماء النبات على جذور نبات البصل لاحظوا تجمعات معزولة للكييسات غشائية صغيرة متناثرة محاطة بحويصلات تأخذ هيئة كييسات مشابهة لجهاز غولجي، اصطلحوا لهذه البنى تسمية الجسيم الشبكي Dictysome ومن ثم معقد غولجي Golgy complex.

يختلف عدد معقد غولجي وفقاً لعدة عوامل من أهمها نمط التنوع الحيوي، ففي بعض الاشنيات لا يتجاوز الواحد وفي البعض الآخر يبلغ الأف (عند أشنة Rhizoides)، ولكن بشكل عام لدى المتعضيات بالمتوسط يتراوح العدد بين (20 –100)، إلا أنه في الخلايا النباتية يزيد عن ذلك وبصورة خاصة في القلنسوة الجذرية. ويضاف إلى ذلك أنه لم يثبت أي ارتباط بين الجسيمات الشبكية (الديكتازومات) في الخلية الواحدة.

**اهتم Camillo Golgy بدراسة الأنسجة العصبية للحيوانات وابتكر صبغة لتثبيت الأنسجة العصبية (صبغة غولجي– مركب ثاني كرومات الـ K المتشبع بنترات الفضة)، لاحظ جسيم شبكي في الخلايا أعطاه مصطلح جهاز غولجي، واعتقد بعض العلماء أن هذا الجسيم ليس حقيقياً (قد يكون بقايا من صبغة غولجي)، لكن بعد اكتشاف المجهر الالكتروني (1950) تأكد العلماء من وجود هذا الجسيم الشبكي في جميع خلايا حقيقيات النواة وتغيب لدى الطلائعيات (جراثيم، طحالب خضراء مزرقة– كريات الحمراء).**

كيميائياً يتكون غشاء كل قرص من مركبات ذات طبيعة بروتينية ليبيدية وبكميات تقريباً مماثلة، كما أنها تتميز بخلوها من الأحماض النووية وبنسبة ضئيلة إنزيمية ما عدا إنزيمات الـ Hydrolysis.

**البنية الهيكلية لجهاز غولجي**

يتألف جهاز غولجي من ثلاثة عناصر رئيسية، وهي:

☒ الكيسات المجوفة (الصهاريج)

صفائح غشائية مدمجة ضيقة الفراغ نشأت من تكدسات حويصلات تتبرعم من الشبكة الإندوبلازمية، تأخذ شكل نصف دائري مفلطح، تنطبق وتتكدس فوق بعضها البعض بمسافات بينية ضيقة جداً ($20–30_{Nm}$)، لتكون مكدس (الجسيم الديكتوزومي Dictysome). تتراوح كيسات الجسيم الشبكي الواحد بالمتوسط العددي (2-8) أو أكثر قليلاً، ولدى الحيوانات 40- 100، وعند بدائيات النوى 60، بينما في الخلايا النباتيّة فقد يحتوي الديكتوزوم على 200 صهريج.

تغلف الصهاريج بغشاء بيولوجي (**$7.5_{Nm}$**) أملس مشابه لأغشية الشبكة الاندوبلازمية الملساء، وترتبط فيما بينها بخيوط بروتينية (نبيبات دقيقة Tubules وهي أنابيب دقيقة سيتوبلاسمية) مكونة جسيم شبكي Dictysome مجموعها يسمى Golgy Apparatus (في حال عزل الجسيم الشبكي من الخلية لا تنفصل هذه الصهاريج عن بعضها البعض فيبقى الجسيم الشبكي محافظاً على نفسه نتيجة هذا الارتباط)، وعلى حواف الكيسات الديكتوزومية تنشأ من الشبكة الاندوبلازمية أو الغشاء النووي فتحات منتفخة تتحول بعد ذلك إلى حويصلات صغيرة الحجم Vesicles لها قدرة انفصالية ولهذا السبب يظهر الجسيم على هيئة شبكية .

**كل كييس أو صهريج عبارة عن وحدة بنيوية ووظيفية لهيكلة الـ Dictysome.**

✓ الحويصلات الصغيرة:

انتفاخات متبرعمة محاطة بغشاء بلاسمي ($6_{Nm}$)، ناتجة عن الشبكة الاندوبلازمية أو الغشاء النووي ومستقرة باتجاه الوجه العلوي (التشكل) للجسيم الشبكي.

تنفصل هذه الحويصلات عن منطقة النشوء وتتحول إلى حويصلات أولية Primary vesicle أو حويصلات عبورية Transitional vesicle لتنجز النقل الاصطفائي، منها:

1- غير مغلفة بطبقة بروتينية (حويصلات ملساء).

2- مغلفة بطبقة من البروتين (حويصلات خشنة).

✓ الحويصلات الكبيرة:

بنى مغلفة بغشاء ومنفصلة عن Dictysome ناتجة عن تبرعم حواف صهاريج الجسيم الشبكي أو تحللها متحولة إلى حويصلات يطلق عليها بالحويصلات الغولجية Golgy vesicle (حويصلات غولجي) أو الحويصلات الافرازية Secretion vesicle تقع على الوجه السفلي للجسيم الشبكي.

لا يتغير حجم هذه جهاز غولجي سواء كانت الخلية ميرستيمية أو بالغة، بل الحالة الفيزيولوجية للنبات هي التي تعكس الوظيفة الإفرازية لحويصلات معقد غولجي.

يبدي الديكتوزوم قطبية ثنائية تتباين فيما بينها بخصائص متعددة ومن أهمها الوظيفية:

أولاً- القطبية التكوينية للجسيم الشبكي

- الوجه التشكلي Farming face أو السطح Cis

وهو الوجه العلوي (الخارجي) المحدب الذي يقابل الشبكة الاندوبلازمية الخشنة ويقارب النواة (الغشاء النووي) وإن أغشية صهاريجها تشابه أغشية الشبكة الاندوبلاسمية أو الغشاء النووي. تبرز على هذا الوجه حويصلات صغيرة (ملساء وخشنة) تتحول بعد ذلك إلى حويصلات تدعى بالحويصلات الأولية Primary vesicle تكونها الشبكة الاندوبلازمية الملساء أو الغشاء النووي. تمتاز صهاريج هذا الوجه

بكبر أحجامها وبضيق اتساعها وبحواف شبه كاملة وذات ثخانة جدارية تقارب الـ $5_{Nm}$. تتشكل وتتجدد على هذا الوجه كييسات الجسيم الشبكي (الصفائح المجوفة– الصهاريج) بألية اندماج والتحام حويصلي (اتحاد حويصلات الناتجة عن الشبكة الاندوبلازمية الملساء)،

- الوجه الافرازي Maturing face أو السطح Trans

وهو الوجه السفلي (الداخلي) المقعر المواجه للغشاء البلازمي Plasmalemma ومبتعداً عن النواة (الغشاء النووي). تتسم كييسات هذا الوجه بأنها صغيرة وأكثر اتساعاً وثخانة تقارب الـ $9_{Nm}$ مقارنة مع الوجه التشكلي وتتماثل أغشيتها مع أغشية البلازماليما، كما تظهر عليه حويصلات كبيرة ناتجة عن تبرعم حواف كييسات المكدس أو تحلل الكييسات إلى أنابيب التي تتبرعم حوافها متحولة إلى حويصلات يطلق عليها بالحويصلات الغولجية Golgy vesicle (حويصلات غولجي) أو الحويصلات الافرازية Secretion vesicle ذات المقدرة الانفصالية والحركية في السيتوبلاسم والممتلئة بالمفرزات العضوية التي تمثلها الشبكة الاندوبلازمية.

ثانياً– القطبية الوظيفية للجسيم الشبكي

تكمن القطبية الوظيفية للجسيم الديكتوزومي في علاقة الارتباط بين مكوناته (الصفائح الكييسية) بالمكونات الخلوية الأخرى وفي مقدمتها الشبكة الاندوبلازمية.

**الألية العامة لعمل معقد غولجي في النقل**

تتلخص عملية التعاون الوظيفي بين الشبكة الاندوبلازمية والجسيم الشبكي في حادثتين، هما:

- حادثة التقدم Cistema progression
- حادثة النقل الحويصلي Vesicle transpoet

✓ تقوم الشبكة الاندوبلازمية بتمثيل الروابط العضوية (البروتينات والليبيدات) وتجميعها.

- ✓ تتشكل بألية التبرعم من الشبكة الاندوبلازمية (في منطقة التقارب بين الشبكة الاندوبلازمية –بعد إزالة الريبوزومات من سطوحها– والجهاز الشيكي) حويصلات صغيرة (الحويصلة بنى صغير ضمن الخلية محاطة بغشاء، تمتلئ بالمركبات المختلفة لنقلها) وبنتيجة عدة تبدلات تطرأ عليها تتحول إلى حويصلات أولية وبعدها إلى حويصلات عبورية ناقلة Transitional vesicle(مرورية).
- ✓ حادثة التقدم Cistema progression:

– تجدد في كييسات الوجه العلوي للديكتوزوم (وجه التجدد).

– نشاط في كييسات المكدس الديكتوزومي.

نتيجة هذه النشاطات تحصل عملية دفع عبر المكدس الديكتوزومي (في كييساته) باتجاه الأسفل، عند ذلك تتفكك وتتجزأ كييسات الوجه السفلي وتتحول إلى حويصلات كبيرة ثم حويصلات افرازية جاهزة (ناضجة).

- ✓ تستقبل وتمتلئ الحويصلات العابرة بنواتج تمثيل (الروابط العضوية) الشبكة الاندوبلازمية، ثم تنفصل متجهةً نحو الديكنوزوم وتتحرك بين طبقاته وتفرغ محتوياتها في وسطه الداخلي وهناك تندمج بين طبقاته المختلفة وتتحرك خلالها من طرف إلى آخر.

وفي الوقت نفسه، تترتب وتندمج الحويصلات العابرة وتلتحم مع بعضها، فإما أن:

– تكون صهريجاً جديداً يضاف إلى كييسات الوجه العلوي لتعويض نقص صهاريج الوجه السفلي (لهذا السبب يطلق على الوجه العلوي بوجه التجديد أو التشكل).

– قد تندمج الحويصلات العابرة مع الصهريج العلوي للجسيم الشبكي.

- ✓ حادثة النقل الحويصلي Vesicle transpoet

بعد أن تفرغ الحويصلات المرورية محتواها في طبقات الديكتوزوم تطرأ جملة نشاطات:

– تغيرات في إنزيمات كييسات الديكتوزوم من ضمنها تحركها باتجاه الوجه السفلي.

– معالجة وتعديل (نزع، إضافة، تنظيم) نواتج التمثيل المفرغة في الكييسات الديكتوزوم لتصل

إلى الحالة النهائية، ثم تحرك لتعبر كييسات –بدءً من الكييس العلوي الأول– الديكتوزوم.

- ✓ استقبال وامتلاء الحويصلات الكبيرة (الناتجة عن تجزء كييسات الوجه السفلي والتي تحولت إلى وظيفة افرازية) بنواتج التمثيل المعالجة والمعدلة (الواصلة إلى الحالة النهائية– تم تركيبها الصحيح).
- ✓ انفصال الحويصلات الافرازية عن صهاريج الوجه السفلي لتنتقل وتفرغ محتوياتها إلى خارج الخلية عن طريق الإخراج الخلوي، أو لتكوين الأجسام الحالة (الليزوزومات) أو إيصالها إلى المناطق اللازمة في المكان المخصص (المناسب)، ولهذا السبب يدعى الوجه السفلي بوجه الافراز.

**الفقرة الاصلية**

تقوم الديكتوزومات بتجميع الروابط العضوية (البروتينات والليبيدات) المتمثلة في الشبكة الاندوبلازمية وتنقلها من هذه الأخيرة إلى معقد غولجي بألية النقل الحويصلي (الحويصلة بنى صغير ضمن الخلية محاطة بغشاء وممتلئة بالمركبات) وهناك تندمج بين طبقات مختلفة من الديكتوزوم وتتحرك خلالها من طرف إلى آخر. وأخيراً، تجمع في حويصلات إفرازية جديدة لتوصيل الروابط العضوية إلى خارج الخلية عن طريق الإخراج الخلوي، أو لتكوين الأجسام الحالة (الليزوزومات) أو إيصالها إلى المناطق اللازمة:

- ✓ تتشكل بألية التبرعم من الشبكة الاندوبلازمية (في منطقة التقارب بين الشبكة الاندوبلازمية –بعد إزالة الريبوزومات من سطوحها– والجهاز الشيكي) حويصلات صغيرة ومن ثم تنفصل.
- ✓ تتحول الحويصلات الصغيرة إلى حويصلات أولية وبعدها إلى حويصلات عبورية ناقلة Transitional vesicle (مرورية).
- ✓ تمتلئ الحويصلات العابرة بنواتج تمثيل (الروابط العضوية) الشبكة الاندوبلازمية وتتجه نحو الديكنوزوم وتتحرك بين طبقاته وتفرغ محتوياتها في وسطه الداخلي لتتم معالجتها (نزع، إضافة، تنظيم)، وفي الوقت نفسه، تترتب وتندمج هذه الحويصلات العابرة وتلتحم مع بعضها، فإما أن:

– تكون صهريجاً جديداً يضاف إلى كييسات الوجه العلوي لتعويض نقص صهاريج الوجه

السفلي (لهذا السبب يطلق على الوجه العلوي بوجه التجديد أو التشكل).

– قد تندمج الحويصلات العابرة مع الصهريج العلوي للجسيم الشبكي.

- ✓ تتجزء كييسات الوجه السفلي إلى حويصلات كبيرة (الحويصلات الافرازية) أو تنشأها.
- ✓ تمتلئ الحويصلات الافرازية المتشكلة بنواتج تمثيل المفرغة في الديكتوزوم (بعد عملية المعالجة).
- ✓ يتم انفصال الحويصلات الافرازية عن صهاريج الوجه السفلي لتنتقل وتفرغ محتوياتها في المكان المخصص (المناسب)، ولهذا السبب يدعى الوجه السفلي بوجه الافراز.

**إن عبور نواتج التمثيل كامل الديكتوزوم(الوجه التشكلي والوسطي والافرازي) تخضع للمعالجة من حيث التجهيز والتوزيع والتعبئة لتنتقل خلال الحويصلة الإفرازية كاملة الوظيفة(ناضجة) إلى المكان اللازم**

**منشأ الجسيم الديكتوزومي**

يتشكل الجسيم الشبكي من الحويصلات المفرزة من قبل كييسات الشبكة الاندوبلازمية، حيث تندمج هذه الحويصلات مع بعضها البعض وتترتب وتنتظم لتكون الصهاريج الديكتوزومية. وما يخص تزايد الجسيمات الغولجية يكمن في انقسامها الثنائي بألية الانشطار المتساوي.

**وظائف جهاز غولجي**

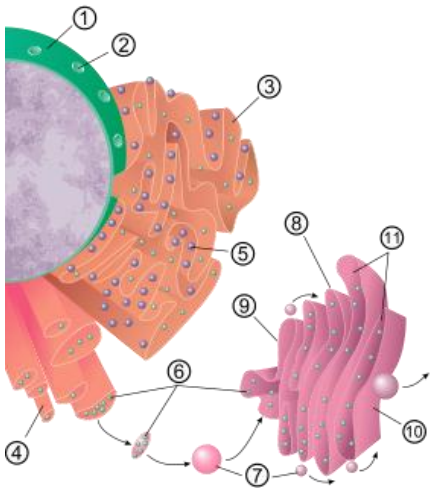
- ✓ المساهمة في تكوين جدارِ الخلايا النباتية

تركب أجسام غولجي بعض الروابط العضوية ومن ثم تعالجها (المركبات البكتينية، الهيميسليلوز، والليفات الدقيقة السيللوزية) لتنقلها عبر حويصلاتها الافرازية إلى الصفيحة الوسطى (الفراغموبلاست) لتكوين الجدار

الخلوي (خلايا البنات الناتجة عن الانقسام)، لذلك تحتوي الخلايا النباتية على أعداد كبيرة من الديكتوزومات مقارنة بالحيوانية.

- ✓ مركز معالجة وتخزين ونقل وتوزيع العضويات البيولوجية (دهون وبروتينات ومائيات الفحم) بعد تمثيل العضويات في الشبكة الاندوبلازمية تخرج من هذه الأخيرة وتتوجه إلى جهاز غولجي للتعديل والمعالجة (نزع، ربط، تنظيم، توزع)، فإما أن تخزن في الديكتوزومات أو تنقلها بحويصلاتها وتتوزعها إلى أماكن مختلفة لإفرازها خارج الخلية بـ Exocytosis أو لاستخدامها في أماكن مختلفة من الخلية (يعمل معقد غولجي كوظيفة مكتب البريد).
- ✓ إن فقدان الخلايا لمعقد غولجي يقود إلى حرمان الخلايا من جسيمات الحالّة (Lysosome) المسؤولة عن الادخال والاطراح الخلوي وحلمهة الروابط المعقدة والتخلص من الخلايا اللانشطة، الأمر الذي يقود إلى عجز الخلية ومن ثم موتها.
- ✓ إفراز مخاطيات سكرية تساهم في انزلاق قمة الجذور في التربة.

**يزداد عدده في خلايا الجذور (القلنسوة)، ولا يتغير حجمه سواء كانت الخلية ميرستيمية أو بالغة، بل حالتها الفيزيولوجية هي التي تعكس وظيفته(تركيب، تخزين، إفراز).**

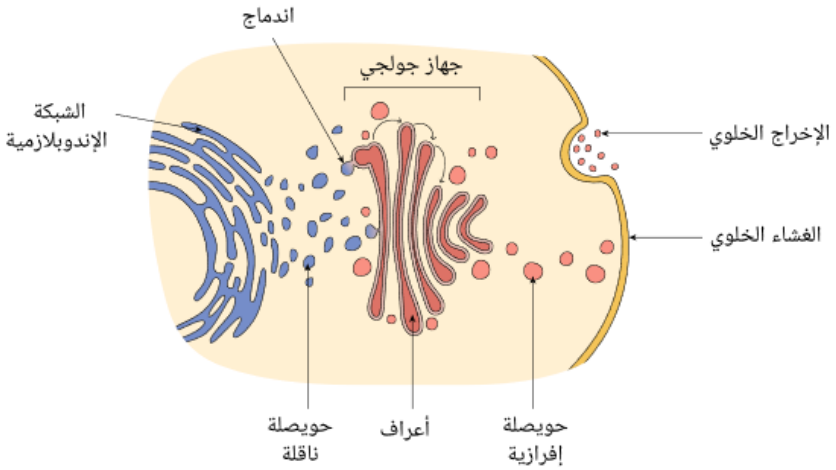



**شكل() مكونات الديكتوزوم ومسار النقل مع الشبكة الاندوبلازمية**

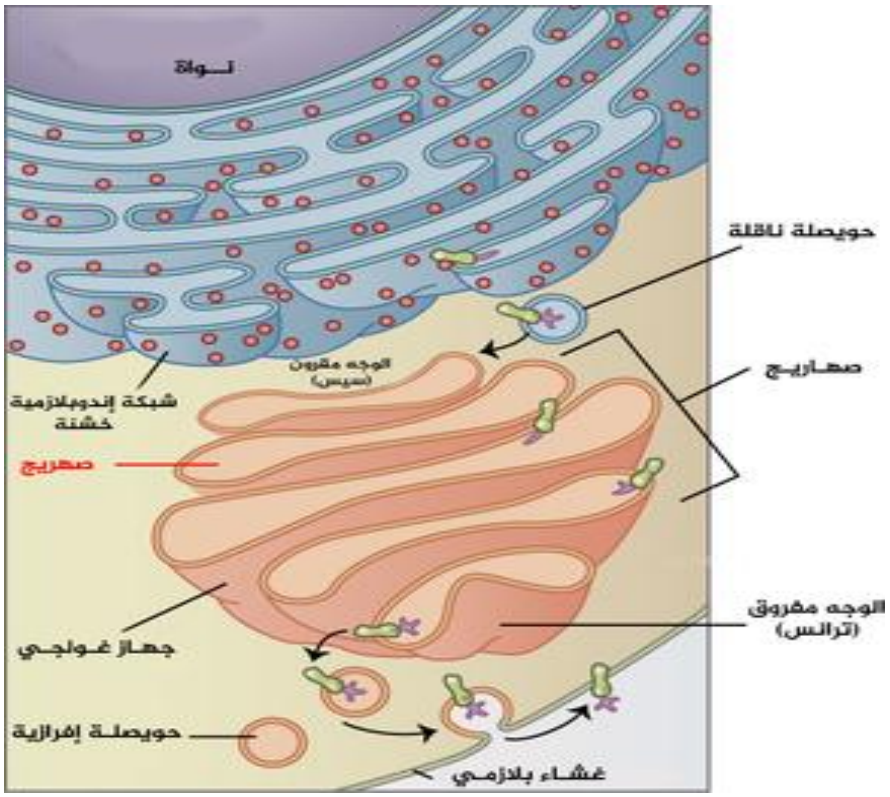
**1- النواة. 2- النقرة النووية. 3- شبكة إندوبلازمية خشنة. 4- شبكة إندوبلازمية ملساء.**

**5- ريبوسوم مرتبط بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة. 6- بروتينات يتم نقلها. 7- حويصلات ناقلة.**

**8- جهاز ديكتوزومي. 9- الوجه Cis للديكتوزوم. 10- الوجه Trans للديكتوزوم. 11- صهريج جهاز غولجي.**




**الشكل 8**: شكل يوضح صورة ثنائية الأبعاد لمقطع عرضي لجهاز جولجي، تكشف كيفية وصول الحويصلات واندماجها في أحد الجوانب ثم تحررها للنقل من الجانب الآخر.




**شكل() مكونات الديكتوزوم ومسار النقل مع الشبكة الاندوبلازمية**

# الفصل السابع

## العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 5)

### ❖ الشبكة الإندوبلاسمية Endoplasmic Reticulum

هي واحدة من المكونات الخلوية التي تمثلها مجموعة مترابطة من الأنابيب والأكياس الغشائية المسطحة المحاطة بغشاء، والمنطبقة فوق بعضها البعض مشكلة معاً نظاماً متشابكاً منتشر في أجزاء الوسط الخلوي لجميع خلايا أحياء حقيقيات النواة وتغيب لدى بدائيات النواة، ممتدداً هذا التشابك الغشائي في السيتوبلاسم إلى الغشاء النووي، ولهذا أطلق عليها العلماء بالشبكة السيتوبلاسمية الداخلية Endoplasmic Reticulum.

إن التشابك الغشائي يشكل تنظيم حجيري لوسط السيتوبلاسم، تتراكم فيه إنزيمات ومركبات معينة تؤدي إلى حدوث تفاعلات خلوية عديدة دون حدوث تداخل.

تصل بعض أغشية الشبكة الإندوبلاسمية إلى الجدار الخلوي وتمتد إلى الخلايا المجاورة (دليل على الاتصال المباشر بين أنوية الخلايا المجاورة).

**لاحظ كل من Palad and Sager (1956) الشبكة الاندوبلازمية في الخلايا النباتية.**

تحتوي أغشية الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية على (70 %) بروتينات و(30 %) ليبيدات وكميات بسيطة من السكر بالإضافة إلى مجموعة من الإنزيمات الخاصة باستقلاب البروتينات والليبيدات.

**أنواع الشبكة الستوبلاسمية الداخلية:**

في سيتوبلاسم الخلية الواحدة يوجد نوعان من الشبكة الإندوبلاسمية، تقعان بجانب بعضهما البعض ويتباينان في الخصائص الفيزيائية وفي الوظائف التي يؤدي كل نوعٍ منهما:

**1- الشبكة الإندوبلاسمية الخشنة Rough Endoplasmic Reticulum**

**تراكيب كييسية مسطحة.** وهو النوع الذي يحمل العديد من الريبوزومات ولهذا السبب يبدو شكلها الخارجي خشن، والأكثر عدداً من حيث الكييسات في الخلايا التي تمتاز بنشاط تمثيلي بروتيني. ويوجد هذا النوع من الشبكات الاندوبلازمية التي تكون بالقرب من نواة الخلية تماماً وملاصقًا للغلاف النووي الذي يحيط بالنواة. ومن الجدير بالذكر أن الريبوسومات المرتبطة بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة هي التي تقوم بعملية تصنيع الروابط الببتيدية (المركبات البروتينية).

**2- الشبكة الإندوبلاسمية الملساء Smooth Endoplasmic Reticulum**

**تراكيب تشبه الأنابيب.** وهو النوع الذي لا تحمل عليه ريبوزومات (الخالي من الريبوزومات) مرتبطة بالسطح الخارجي لغشائها وبالتالي فهو غشاء ناعم غير خشن (املس). تكون لممراتها شكل أنبوبي وتوجد على مسافة أبعد من النواة. تؤدي الشبكة الإندوبلازمية الملساء دورًا مهماً في عملية تصنيع الكربوهيدرات والدهون المهمة للخلية الحية، وتساهم أيضًا في تحويل السموم إلى مركبات أقل سمية يمكن إخراجها بعد ذلك.

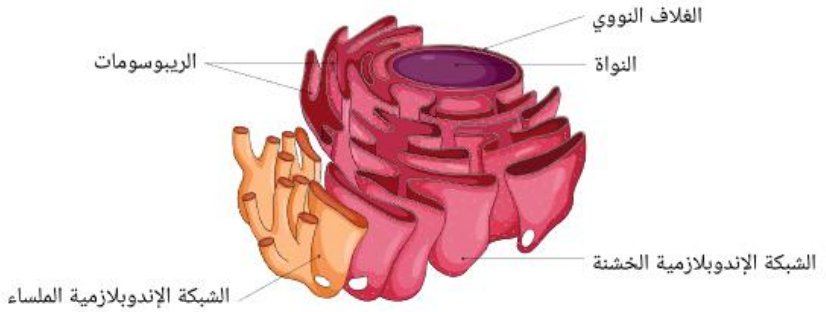
وظائف العامة للشبكة السيتوبلاسمية الداخلية

**من أهم وظائف الشبكة الإندوبلاسمية ما يلي:**

- نشاط الـ Detoxification: حماية الخلية من التسمم.
- صلة وصل بين الغشاء السيتوبلاسمي والنووي.
- موقع تركيبي للروابط البروتينية والليبيدية:

- تركيب المواد الدسمة: يتم تصنيع الليبيدات (ليبيدات الأغشية البيولوجية والليبيدات الاحتياطية) على الشبكة الناعمة.

– تمثيل البروتينات: ويتم تركيب البروتينات على الشبكة الإندوبلاسمية الخشنة.




**الشكل رقم (1): شكل توضيحي للشبكة الإندوبلاسمة.**

**العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 6)**

❖ **الجسيمات الدقيقة Microbodies**

بنى سيتوبلاسمية دقيقة مختلفة الأشكال (حبيبية، كروية، خيطية دقيقة يتراوح قطرها 0.5–2 نانومتر) والوظيفة، محاطة بغلاف وحيد، تنشأ هذه الجسيمات على الأغلب من نهايات الشبكة الإندوبلاسمية، وتتميز باحتوائها على مواد بروتينية وليبيدية وكثافة إنزيمية متنوعة.

**أنواع الجسيمات الدقيقة**

أولاً– الجسيمات الحالة Lysosomes. ثانياً– الجسيمات الكروية Spherosomes.

ثالثاً– الجسيمات البيروكسيزومية Peroxisomes. رابعاً– الجسيمات الغليوكسيزوم Glyoxysomes.

**أولاً– الجسيمات الحالة Lysosomes**

وهي أصغر الجسيمات الدقيقة التي لا يتجاوز حجمها (0.5 مكرون)، توجد الليزوزومات في معظم خلايا حقيقيات النوى وخاصة عند الحيوانات (لوحظت في عام 1955 بطريقة بيوكيميائية، وبعدها لوحظ لها آثار لدى خلايا النباتات). تمتاز هذه العضيات بشكل كييسي وباحتوائها على جملة انزيمية (يتم تمثيل انزيمات الجسيمات الحالة على الشبكة الاندوبلازمية الخشنة) متنوعة محللة للمركبات المعقدة (نواتج الاستقلاب الخلوي) ومفككة للجسيمات، لذا تعد الجسيمات الليزوزومية (الجسيمات الحالة) المنظومة السيتوبلاسمية التي تقع على عاتقها عملية الهضم الداخلي.

**أنواع الجسيمات الحالة**

- جسيمات حالة أولية: تنشأ من بعض أجزاء الشبكة الإندوبلازمية. وهي غنية بإنزيمات التحلل المائي Hydrolysis للروابط المعقدة (الكربوهيدرات، الليبيدات، البروتينات). ويعتقد أن غشاؤها معقد (بروتينات سكرية)، لا يسمح بخروج إنزيماتها إلا عند الضرورة.
- جسيمات حالة ثانوية: هي اتحاد جسيمات حالة أولية مع جسيمات أخرى (الجسيمات البلعمية).

تقوم الجسيمات الحالة بعدة وظائف تتلخص في العمليات **التالية:**

✓ Autophagy (البلعمة الذاتية)

عند بلوغ أحد مكتنفات الخلية أو الخلية أو النسيج (اتلاف، مرض) فترة غير وظيفية، تقوم الجسيمات الحالة الأولية ببلعمته بألية الاندماج فيتشكل جسيم ثانوي (انصهار جسيم حال أولي مع المكتنف) وهكذا تتخلص الخلية من المكتنف أو النسيج العاطل وظيفياً (تعد هذه الظاهرة بمثابة التجديد، التخلص من المكتنف القديم بتكوين مكتنف جديد).

✓ Autolysis (التحلل الذاتي)

في حال تمزق غشاء الجسيم الحال تخرج إنزيماته وتبدأ بتفكيك العضيات الخلوية وبالتالي تموت الخلية نتيجة الهضم الذاتي (التحلل الذاتي)، ولهذا يطلق عليها بعناصر الانتحار (مكتنفات الموت).

**يعتقد أن هذا النوع من التحلل هو ظاهرة طبيعية لموت الخلايا والنسج نتيجة الأمراض أو التلف بغية إزالة النفايات داخل الخلية.**

- ✓ Hydrolysis (الحلمهة)

تحت تأثير إنزيمات نوعية (الأميلوز، الليباز، النيوكلياز، بروتياز، وغيرها) تتحلل المواد العضوية المعقدة ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة (الكربوهيدرات المعقدة، البروتينات، الأحماض النووية، الليبيدات)، وتتفكك إلى وحداتها البسيطة ليتسنى استخدامها مجدداً في عمليات الاستقلاب الخلوي.

- ✓ الإدخال الخلوي Endocytosis

ظاهرة بيولوجية تعد إحدى طرق المستخدمة من قبل الخلية لإدخال وهضم العضويات (الضرورية لحاجة الخلية)، ذات الوزن الجزيئي الكبير إلى الخلية من خلال الأغشية البيولوجية، بألية انثنائه نحو الداخل(الإنغماد) لتكوين حويصلة تندمج مع الجسيم الحال الأولي ليتشكل الجسيم الحال الثانوي وسيتم هضمه تدعى هذه الحادثة بالالتقام الخلوي أيضاً.

- ✓ الإخراج الخلوي Exocytosis: ألية حيوية تستخدمها الخلايا من أجل اطراح المركبات الزائدة عن حاجتها أو الضارة وذلك بألية التحوصل (تكوين حويصلات) ومن ثم اطراحها خارج الخلية.

**البلعمة Phagocytosis: في حال ملامسة مادة ما الغشاء، تتشكل فجوة لتحصر الجسم داخلها وذلك نتيجة الانثناء الداخلي للغشاء في المنطقة التلامس ليصبح الجسم ضمن الإنغماد محولاً إلى فجوة.**

**ثانياً- الجسيمات الكروية Spherosomes**

طبيعتها ليبيدية بروتينية، تتشكل من الانتفاخات النهائية للشبكة السيتوبلاسمية الداخلية، تلعب هذه الجسيمات دوراً كبيراً في تركيب وتخزين الليبيدات وذلك لاحتوائها على الجمل الإنزيمية (بروتيناز، ريبونيوكلياز، فوسفاتاز) الخاصة بتصنيع الليبيدات (يترافق مع تطورها تكوين قطرات ليبيدية في الخلية لذلك من الصعب تميزها عن القطرات الليبيدية).

**ثالثاً- جسيمات بيروكسيزومية Peroxisomes**

تتواجد في جميع خلايا حقيقات النوى وعلى الأخص في الأوراق النباتية. تنشأ البيروكسيزوم من نهايات الشبكة الإندوبلاسمية وتحمل على الريبوزومات الحرة (موضع تكوين إنزيماتها التي من أهمها البيروكسيداز والكاتالاز)، وتترافق مع الجسيمات الصانعة والميتاكوندريا، لذلك تلاحظ هذه العضيات بقرب بعضها- وتتشابه فيما بينها من حيث امتلاكها على الطيات (أعراف الماتريكس).

يلعب هذا المكتنف دوراً كبيراً في حماية الخلية من التسمم الناتج عن تراكم بيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) الناتج الثانوي عن بعض تفاعلات الأكسدة الخلوية (التنفس الضوئي Photorespiration- نشاط فيزيولوجي لدى نباتات ثلاثية الكربون- $C_3$-Plant). وتتلخص عملية بطلان التسمم بتفكيك ($H_2O_2$) إلى ($O_2 + H_2O$).

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

- **Peroxisomes: يطلق على بيروكسيزوم بالجسيمات التأكسدية.**
- **Photorespiration: التنفس الضوئي نشاط لدى نباتات $C_3$-Plant.**
- **جميع الأنزيمات البيروكسيزومية تصطنع على الريبوزومات الحرة.**

يعد مكتنف البيروكيزومة وسيط بين المصورات الحيوية والجسيمات الصانعة الكلوروبلاستيدية لدى النباتات التي تنجز حادثة التنفس الضوئي (نباتات ثلاثية الكربون).

**رابعاً- جسيمات غليوكسيزومية Glyoxysomes**

تنتشر هذه المكتنفات الدقيقة في أنسجة البذور المدخرة لليبيدات (الاندوسبيرم، الفلقات). وهي مختصة في استقلاب مركب غليوكسيلات (أثناء إنبات البذور المخزنة لليبيدات) الذي يرتبط بعملية تحويل المركبات الليبيدية إلى كربوهيدرات (سكروز). يحوي هذا المكتنف على إنزيمات تعمل في دورة غليوكسيلات Glyoxylate Cycle (دورة تحويل الدسم إلى سكر).

**العضيات السيتوبلاسمية الخلوية الحيوية (الفعالة 7)**

**ثالثاً- النواة Nucleus**

**المكون النووي:** مكتنف خلوي ومن أهم أقسام المادة الحية الخلوية لدى جميع خلايا متعضيات حقيقيات النواة، وبالمقارنة مع العضيات السيتوبلاسمية الأخرى تعد النواة أكبر حجماً وأكثر وضوحاً (في الخلايا الجنينية كبير ويصغر حجمه بقليل في الخلايا المتمايزة)، تمتلك النسبة بين حجم النواة إلى السيتوبلاسم أهمية حيوية كبيرة في الحياة الوظيفية للخلية وخاصة فترة تحديد الانقسام الخلوي، علماً بأن هذه النسبة تعد عامل ثابت إلا أنها تتبدل وفق النشاط الخلوي.

**فرضية "التناسب النووي البلازمي- RNP"(للعالم Hertwing)**

تعد إحدى الفرضيات التي تفسر حتمية انقسام الخلايا، ويكمن جوهرها في التالي: يجب أن يكون في الخلية الميرستيمية النشطة تناسباً معيناً ثابتاً بين حجم النواة إلى السيتوبلازم (1/2 في فترة الفعالية). ومع تقدم الخلية بالعمر تبدأ هذه النسبة بالتناقص، وفي حال بلوغ النسبة إلى أقل من مستوى معين يصعب على النواة توجيه كتلة السيتوبلازم النامية لذا يستوجب على الخلية الانتقال إلى المرحلة الانقسامية (الحالة التكاثرية).

تأخذ النواة شكل وتوضع مختلف بحسب النمط والعمر وحالتها الفيزيولوجية الخلوية:

- الكروية (الخلايا الميرستيمية، وتشغل مركز الخلية).

- المفلطحة (الخلايا المتمايزة والبالغة مدفوعة نحو الجدار الخلوي من قبل الفجوة الكبيرة).
- العدسية (خلايا الكامبيوم).
- أميبية (الأنسجة الناقلة).

وبشكل عام يلاحظ تمركزها أحادي وكروي في الوسط السيتوبلاسمي، إلا أنها تشاهد في كثير من الحالات بالقرب من الجدار الخلوي بسبب الدفع الناتج عن الفجوة الكبيرة أو الجهاز الفجوي.

تأخذ النواة أشكالاً مختلفة بحسب نوع الخلية وحالتها الفيزيولوجية، منها:

**- اكتشفت النواة في الخلايا النباتية Robert Brown (1835)، وبعد ذلك لوحظت في الخلايا الحيوانية إلا أنها تغيب في خلايا الأحياء طلائعيات النواة (كتكوين غشائي يحاط بالذخيرة الوراثة).**

**- تمتلكها خلايا حقيقيات النوى عدا الكريات الحمراء والأنابيب الغربالية للوعاء اللحائي.**

**- إن تكوين النواة يعتبر أحد المظاهر التطورية للانتقال من أحياء بدائيات النواة إلى حقيقيات النوى.**

**- عادة وجودها في الخلايا أحادي العدد (بعض الفطور والطحالب تمتلك أكثر من نواة).**

**التركيب الكيميائي للنواة**

كيميائياً تحتوي النواة على نكليوتيدات وDNA (الأغلب في النواة) وRNA (في السيتوبلاسم) وإنزيمات محللة (ريبونوكلياز، ببتيداز، فوسفاتاز) وليبيدات (فوسفوليبيد) وبروتينات تشارك في تكوين المغزل أثناء الانقسام.

**المكونات البنيوية للنواة**

**أولاً- الوحدة المحيطية (الخارجية)**

وهي الغلاف النووي Nuclear membrane. غلاف بيولوجي ذو تركيب ليبوبروتيني وبنية فسيفسائية سائلة. يتكون الغلاف النووي من غشائين متوازيين (ثخانة كل منهما $_{Nm}8-7$) يشكلان فيما بينهما مسافة فراغية تدعى بالحيز النووي المحيطي Perinuclear spase، وفي نقاط أخرى محيطية يلتقان ليشكلا مناطق النقر النووي Nuclear pores تلك الثغور التي تتسم بديناميكية حيوية مرتفعة من حيث العدد (تعد بالالاف) والتجدد (ظهور واخفاء) مشكلة سطح يقارب نصف مساحة النواة.

يتألف العلاف النووي **من:**

- الغشاء الخارجي (المحيطي)

وهو الغشاء الملامس للبلازمة الشفيفة، على هذا الغشاء المحيطي يلاحظ ارتباط للجسيمات الريبية يهدف إلى اصطناع المركبات البروتينية (تكوين بروتيني).

ترتبط الشبكة الإندوبلازمية الخشنة أيضاً بالغشاء الخارجي للغلاف النووي وبهذا الارتباط تتم استمرارية الاتصال بين الحيز النووي المحيطي وتجاويف (لمعة) الشبكة الاندوبلازمية.

وقد تنشأ من الغشاء المحيطي لدى بعض الخلايا خيوط ليفية (امتدادات) منتشرة في اتجاهات مختلفة تربط المكونات الخلوية الأخرى وغشاء البلازماليما مع الغشاء النووي.

- الغشاء الداخلي

وهو الغشاء الذي يحيط بالجهة الملامسة للبلازمة النووية والتي تنشأ منها لييفات بروتينية (خيوط شبكية تبطن الغشاء الداخلي من طرفه الانسي) من نوع اللامين الـ Lamin، والتي يعتقد أنها تلعب دوراً في توزع الكروماتين والاستقرار الشكلي للنواة بالإضافة إلى المتانة الميكانيكية.

يمتاز الغشاء النووي كغيره من الحواجز الحيوية الخلوية بأنه مكون غير مستمر يتقطع في عدة أماكن بسبب الانتشار الكبير للفتحات التي تشكلها نقاط التحام الغشائيين، المسماة بالثقوب النووية أو النقر النووي Nuclear pores الناتجة بألية التحام أطراف الغشائين (كل من الغشاء الداخلي والخارجي).

**تركيب وبنية النقرة النووية**

كيميائياً تتركب النقرة النووية من عدد كبير من الجزيئات البروتينية الريبية النووية الحبيبية المتنوعة التي تنتظم وتترتب وتبطن هذه الثغرة لتأخذ هذه الأخيرة بنية تركيبية معقدة.

النقرة النووية: عبارة عن منطقة اتصال وتبادل بين البلاسما النووية (نوكليوبلازم) والسيتوبلاسم (هيالوبلاسم). تحت المجهر، تأخذ النقرة النووية شكل دائري مؤلف من حلقتين (حلقة داخلية تواجه البلازمة النووية وحلقة محيطية ملامسة للسيتوبلازم)، وعلى محيط كل حلقة وحدات كروية (حبيبات) تكون منظومة يطلق عليها معقد النقرة Nuclear pore complex (NPC).

تتكون منظومة الـ (NPC) من تسع وحدات حبيبية من البروتين الريبي النووي الكروي تترتب وتنتظم على الثغرة النووية على الشكل **التالي:**

- وحدة حبيبية متوضعة في مركز لمعة الثقب (منتصف الثقب– تلعب دور الحارس للثقب النووي، وقد تسمى الناقل Transporter لتحكمها بمرور الجزيئات عبر الغلاف النووي).
- ثمان وحدات على محيط النقرة تبرز على كل وجه من وجهي الثقب (الوجه الملامس للبلازمة النووية والوجه الملامس للبلازمة الشفيفة).

من أجل تثبيت معقد النقرة على الغلاف النووي، تمتد اتصالات ليفية دقيقة بروتينية بين مكوناتها (حلقات التشكل والحبيبات التسعة) لتشمل البلازمة النووية والوسط السيتوبلاسمي والحيز بين الغشائين، وهذا ما يكسب الوسط الداخلي للنقرة النووية صورة قفصية (سلة).

**وظيفة النقرة النووية (معقد الثقب)**

تتشكل اتصالات ليفية بين الحبيبات مع بعضها البعض ومع الحبيبة المركزية لتؤدي الوظائف التالية:

– تنظيم مرور جزيئات أصلها نووي ($RNA_r$، حبيبات الجسيم الريبي، نوكليوتيدات، مركبات لبناء تراكيب نووية– البروتينات).

– عدم سيلان العصارة النووية إلى السيتوبلاسم عبر الغشاء النووي.

**الغشاء النووي يختفي خلال مراحل الانقسام الخلوي ويكون واضحاً في الطور البيني.**

**وظائف الغشاء النووي**

- المحافظة على المحتوى النووي الداخلي (الذخيرة الوراثية).
- عزل النواة عن المكتنفات السيتوبلاسمية الأخرى وخاصة فيما يتعلق بالحوادث الفيزيوبيوكيميائية الخاصة التي تجري داخل كل مكون (عضية) خلوي.
- عبر الغشاء النووي يتم التبادل النووي السيتوبلاسمي والتحكم فيه (عبور المركبات من وإلى النواة).

**ثانياً- الوحدة المركزية (الداخلية)**

تمثلها البلازما النووية Nuclear plasma، وهي الجملة الأساسية للنواة، وما هذه الأخيرة إلا عبارة عن مكونات ذو طبيعة متنوعة تحتويه جوف النواة ويشكل طورين أساسيين ولكل طور عناصر تسبح ضمن البلازما النووية دون حواجز تفصلها عن بعضها:

- الطور اللابنيوي (اللاتركيبي)

عبارة عن وسط شبه سائل ذو طبيعة حبيبية متنوعة التركيب الكيميائي يطلق عليها بالعصير النووي المتشكل من عدة مركبات بسيطة ومركبة من ضمنها الماء والعناصر المعدنية (Ca و Mg) والبروتينات القاعدية (الهيستونات ذات الشحنة الموجبة) والحامضية (اللاهيستونية سالبة الشحنة) والليبيدات المفسفرة والإنزيمات (الفوسفاتاز، الفوسفوريلاز، الادولاز، الكيناز، الريبونيوكلياز) والسكريات والأحماض النووية (DNA وRNA).

- الطور البنيوي (التركيبي)

✓ الأجسام الكروماتينية Chromatin

هي المادة الصباغية (تمتاز بأنها أليفة للتلون) في النواة. إن نمط مشاهدة الأجسام الكروماتينية تحت المجهر يتعلق بالحالة الفيزيولوجية للنواة (فترة انقسام أو لا انقسام)، ونتيجة تنظيم تكاثفها والتفافها تشكل خيوط تدعى بالصبغيات Chromosomes (المادة الكروماتينة تتوزع على العدد الصبغي الثابت في خلايا كل نوع من التنوع الحيوي، فهي المجموع الصبغي في النواة) التي تظهر على شكل بنى ليفية حرة (محددة) أو بنى ليفية شبكية (نتيجة التضاعف أو الالتفاف).

**الخصائص العامة للمادة الكروماتينية (الصبغيات Chromosomes)**

- جسيمات لها هيئة خيطية ليفية مستقرة في نواة جميع خلايا المتعضيات، تتوزع المادة الكروماتينية إلى بنى ليفية متحلزنة (نتيجة التفافها على نفسها) مختلفة الأشكال (النقطي والعصوي والمنحني والملقطي والمعكوف) تدعى بالـ Chromosomes أيضاً.
- توزع الصبغيات على الخلايا يعتمد على مبدأ العدد الكروموزومي والذي يطلق عليه بالصيغة الصبغية التي بشكل عام تصادف على نوعين، هما:

a) الصيغة الصبغية الثنائية

تمتاز بها الخلايا الجسمية للنبات (الصبغيات التي تحتويها نواة)، وفيها تظهر الصبغيات على نسختين (شفع أو زوج)، ويرمز لكل نسخة بـ (n) وعلى هذا الأساس تكون الصيغة الصبغية للخلايا الجسمية ثنائية (2n). وترقم الصبغيات بأرقام تدل على شفع محدد من الصبغيات.

b) الصيغة الصبغية الأحادية

تصادف في نواة الخلايا الجنسية (الأعراس) نسخة صبغية مصدرها إحدى صبغيات الأبوين. ويرمز للصيغة الصبغية للخلايا الجنسية بـ (n) بمعنى أحادية الصيغة الصبغية.

- يتركب الكروماتين (الصبغي) كيميائاً من ارتباط مكونيين أساسيين:

**i.** الحمض النووي الريبي منقوص الأوكسجين (DNA) ونسبة ضئيلة جداً من (RNA).

**ii.** البروتينات القاعدية المسماة بالهيستونات Histones (بروتينات ذوابة في الماء شحنتها موجبة) والبروتينات الحامضية اللاهيستونية (شحنتها سالبة) التي تحيط بسلسلة الحمض النووي.

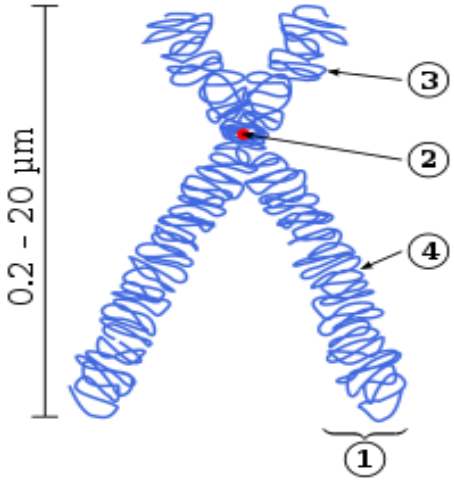
يظهر الصبغي على شكل ليف خيطي مضاعف الناحيتين، محيطة ومحورية (مركزية) وبتلوينه يبدو الاختلاف فيما بينهما الذي يؤكد أن الناحية المحيطة تؤلف القسم البروتيني الذي يبدو أكثر كثافة، بينما القسم المحور الأقل كثافة مشغولة بالحمض النووي (DNA).

- تتباين الصبغيات من حيث بعض الخواص (الشكل، الحجم، ابعاد الأذرع، موقع النقطة المركزية العدد، الموقع)، إلا أن هذه الخواص ثابتة في خلايا النوع البيولوجي الواحد (نوع المتعضي).
- لكل صبغي ذراعان (طويل وقصير) يفصلهما اختناق أولي، وفي بعض الصبغيات هناك اختناق ثانوي. وقد يحمل الذراع القصير قطعة كروية تدعى التابع أو المرافق كما توجد على الصبغيات في منطقة المريكز Centromere النبيبات الدقيقة Microtubules مع الخيوط المغزلية.

**النبيبات الدقيقة Microtubules**: عبارة عن مكونات بروتينية (من بروتين Tubulin) خيطية دقيقة جداً لا غشائية تؤدي الوظائف التالية:

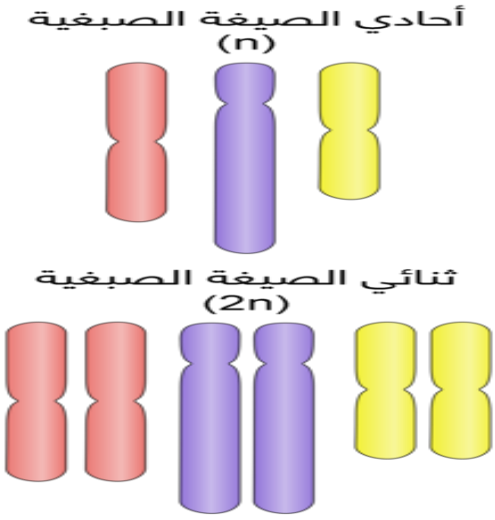
- تشارك في هجرة الصبغيات إلى قطبي الخلية أثناء الانقسام الخلوي.
- تساهم في تكوين بنية الجدار الخلوي وعلى الأخص بناء الصفيحة الوسطى.

- تبدو الصبغيات غير واضحة في الطور البيني وتظهر في الطور التحضيري نتيجة تحلزنها. ومن الحمض النووي (DNA) يتم نسخ الحمض النووي (RNA) بأنواعه المختلفة المسؤول عن نقل كافة الصفات المظهرية والداخلية من الأبوين إلى الأبناء.




**الشكل (1): يبين مكونات الصبغي**

**1- الكروماتيد، 2- المربكز، 3- الذراع القصير، 4- الذراع الطويل.**




**الشكل (2): صيغة n.**

تلاحظ الصبغيات بالمجهر في الطور التالي من الانقسام الميتوزي نتيجة نسخ كل صبغي لنفسه وارتباط النسخة الجديدة لكل كرموسوم بالصبغي الأصلي عبر منطقة تدعى بالمريكز centromere:

- إذا كان المريكز في مركز الصبغي، يأخذ الصبغي شكل(**X**).
- في حال توضع المريكز قرب نهاية الصبغي فلهذا الأخير شكل (/\).

يطلق على الصبغيات بحاملات الصفات الوراثية لكونها تحمل ألاف المورثات Genes (لكل مورث موقع خاص على الكروماتيد مشابه لموقع نفس المورث على الكروماتيد المقابل) المسؤولة عن جميع الصفات ونقلها من الأباء إلى الأجيال اللاحقة.

– **خلايا المتعضيات تمتلك عدد معين من الصبغيات الخاصة بكل نوع من التنوع الحيوي.**

– **أن العدد الكبير للكروموزومات في خلايا النوع ليس دليلاً على درجة تطور هذا النوع.**

**Commented [d1]:**

تتألف المورثة من سلسلة من النيوكليوتيدات (أليل) على الصبغي الأول وأليل آخر على الصبغي (القرين) فلكل مورثة أليلين (أليل من الأب وأليل من الأم عند اندماج الخلايا العروسية لتشكل الجنين).

إن التشابه الشكلي في صبغيات الأبوين أو صبغيات الأعراس الناتجة عن كل أب، ليس دليل على التشابه في المضمون لأن لكل صبغي مضمونه الخاص من الـ (DNA) وذخيرته من المورثات.

✓ النويات Nucleoles

- شكلها حبيبي كروي غير محاطة بغشاء
- تتميز باحتوائها على حمض نووي (RNA) وبروتينات متنوعة.
- عددها ثابت في خلايا النوع الواحد ويتغير تبعاً للأنواع المختلفة (أربع في البصل).

- تتألف بنية النويات من مكونين، الأول حبيبي (منطقة حبيبية) والثاني ليفي (منطقة ليفية). وكل منطقة تحتوي على (RNA) لذا تعتبر النوية موطن ومخزن لهذا الحمض النووي.

**تشاهد النوية في الطور البيني Interphase وتغيب أثناء الانقسام.**

**الأهمية البيولوجية للنواة**

- مركزاً حيوياً موجهاً ومنظماً للعمليات البيولوجية الخلوية (الفيزيوبيوكيميائية)، نظراً لاحتوائها على مركز توجيه هذه النشاطات ألا وهي الذخيرة الوراثية (المعلومات الوراثية)، لذلك تموت الخلايا التي تفقد نواتها.
- المصدر الرئيس للمعلومات الوراثية المتحكمة بصفات الأحياء (خصائص مظهرية وداخلية كماً ونوعاً) وذلك عن طريق نسخ أنواع الـ RNA ($RNA_r$, $RNA_t$, $RNA_m$).
- المراقبة والتحكم في تحديد اصطناع المركبات البروتينية البنيوية والوظيفية.
- هي مركز معلومات الخلية يتم فيها حفظ المادة الوراثية وتتم فيها عمليات نسخ الـ DNA وتصنيع $RNA_M$ لنسخ وترجمة الشيفرة الوراثية إلى جزيئات بروتينية محددة.

من خلال الوظائف التي تنجزها النواة تتضح أهميتها في حياة الخلايا وبالتالي الكائن الحي. ولقد لاحظ العالم Townsend أن في حال تقسيم البروتويلازم الخلوي، فالجزء المحروم من النواة يفقد القدرة الحياتية مقارنة مع القسم غير المحروم من النواة. ولقد أكد العالم Hammerling (1935) الدور الحيوي للنواة في تنامي وتطور الخلايا في أبحاثه على بعض الطحالب.

**العضيات السيتوبلاسمية الخلوية اللاحيوية (عاطلة)**

❖ **الفجوات العصارية Vacuoles**

عبارة عن أجواف مائية أو حويصلات إفرازية للسيتوبلاسم تشغل تقريباً (85–90 %) من حجم الخلية، وتمتلك أشكال متنوعة منها الخيطي والحبيبي والحويصلي، مبعثرة في جوف الخلية ومعزولة عن باقي المكتنفات الخلوية كونها محاطة بغلاف بيولوجي وحيد يدعى بالغشاء الفجوي Vacular membran أو التونوبلاست Tonoplast له نفس تركيب الأغشية البيولوجية متميزاً بالنفاذية الاختيارية.

**تشكل الفجوات العصارية**

في الخلايا الميرستيمية (في الخلايا الفتية عدة فجوات فقيرة بالماء)، يبدأ امتصاص الماء بصورة تدريجية وتمتلئ التجاويف الصغيرة للسيتوبلاسم التي تدعى الفجوات الأولية Provacuoles (الجهاز الفجوي Vacular systm)، تنمو هذه الأخيرة شيئاً فشيئاً مع تمايز الخلية وتنتفخ ثم تنصهر وتلتحم لتشكل عنصراً واحداً وهو الفجوة الوحيدة الكبيرة التي تشغل (70–80 %) من حجم الخلية البالغة وتحصر السيتوبلاسم والنواة المركزية في المحيط الداخلي.

**تشكل الفجوة: يحدث بدءً من إنبات البذور (مرحلة امتصاص البذور للماء).**

**التطور المعاكس للفجوة (التراجع الفجوي)**

تتجزء الفجوة الكبيرة إلى فجوات صغيرة (في الخلايا البالغة)، التي تفقد كثيراً من مائها فتتحول إلى كتل صلبة صغيرة بروتينية شبه متبلورة (كريستالوئيد)، ترافقها أجسام شبه كروية مكونة من فوسفات عضوية (Phytine)، بعد ذلك تتحول إلى حبات الأليرون ذات الطبيعة البروتينية.

**تراجع الفجوة: يجري مع بدء جفاف البذور (مرحلة نضج البذور).**

❖ **العصارة الفجوية**

تحتوي الفجوات على سائلاً يدعى بالعصير الخلوي Cytosol غنياً بالماء والمركبات المتنوعة، ممتصة أو ناتجة عن نشاط البروتوبلازم.

a- مركبات منحلة

أملاح معدنية (كلوريد الصوديوم، نترات البوتاسيوم ...)، حموض وأملاح عضوية (حمض الليمون، حمض التفاح، حمض الأوكزاليك، ملح أوكزالات البوتاسيوم)، سكريات منحلة (فركتوز، غلوكوز، سكروز، مالتوز، إينولين)، أصبغة (عدا أصبغة الصانعات) منحلة كالفلافونية والأنتوسيانية المدرجة من الحمراء إلى الزرقاء لتلوين الأزهار والأوراق الخريفية والثمار، لذلك تبدو الفجوات بشكل جلي تحت المجهر نتيجة تلونها بالأصبغة الطبيعية (خلايا بتلات الأزهار) أو تلونها بالملونات الصناعية.

b- مركبات متبلورة (البلورات)

نتيجة تفاعلات الاستقلاب (التحول الغذائي) تتكون بعض الروابط الكيميائية الوسطية (الثانوية- أحماض عضوية وأحماض لاعضوية). إن مركبات هذه الروابط لا تتقبلها الخلايا، ولو تراكمت لأصبحت سامة للنبات لذا يلجأ لترسيبها بألية تفاعلها مع بعض العناصر لينتج عن ذلك أملاح لأحماض عضوية أو لأحماض معدنية تترسب في صورة بلورات يتم تشكلها في أعضاء نباتية، خاصة وبذلك تقي النبات من التسمم نتيجة تحولها من مواد سامة إلى شكل غير سام في صورة بلورات، منها:

1- بلورات أوكزالات الكالسيوم: تأخذ أشكال مختلفة أبرية مفردة وحزمية (أوراق المكحلة)، عصوية الشكل (حرشفة البصل)، نجمية (عنق ورقة اللبلاب)، رملية (الفصيلة الباذنجانية)، معينية (ورقة المكحلة).

2- بلورات كربونات الكالسيوم: قليلة الانتشار تظهر على شكل بلورة عنقودية (ورقة نبات تين المطاط متصلة بخلايا البشرة العلوية للورقة).

c- مركبات صلبة

تصادف في أنسجة المخزن الغذائي (الإندوسبيرم، الفلقات) للبذور الناضجة الفقيرة بالماء. يمثل هذا النوع من المواد الصلبة حبة الأليرون البروتينية المتبلورة التي تمتلك أشكال مختلفة تبعاً للنوع النباتي:

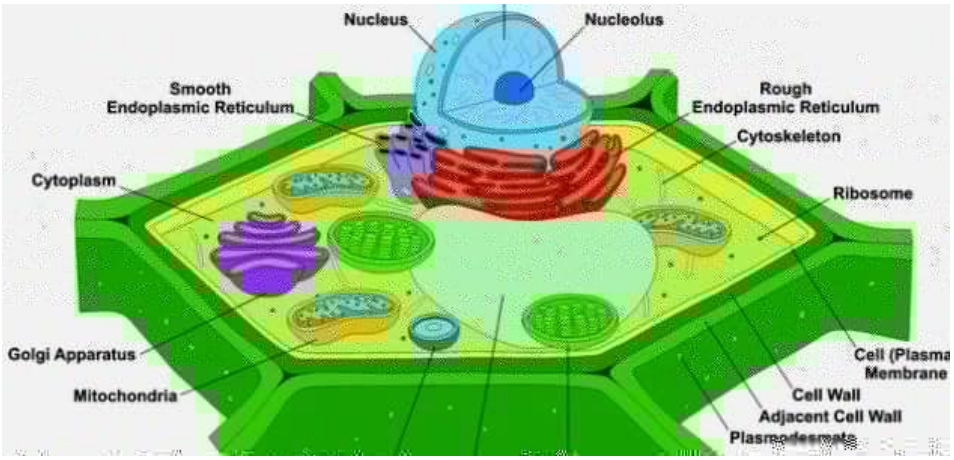
- حبات الأليرون متجانسة البنية: تتركب من مواد بروتينية متجانسة (بذرة الفاصولياء).
- حبات الأليرون غير متجانسة البنية: تشكلها مادة بروتينية أساسية وأجسام كروية معدنية من أملاح ( K, Mg, Ca) لحمض الإينوزيت كما في بذور الشوفان والقمح أو مادة أساسية بروتينية وجسيم كروي بروتيني وجسيم كروي طبيعته معدنية (بذرة الخروع).

**وظائف الفجوات العصارية**

تقوم الفجوات بفضل عصارتها وغشائها بعدد من الوظائف تتلخص **في**:

- ☒ المساهمة في النشاطات الفيزيولوجية: الاستطالة والضغط الحلولي والإنتباج الخلوي وضغط الأمتلاء وهضم بعض المركبات لاحتوائها على بعض الإنزيمات.
- ☒ حماية الخلية من التسمم (مكتنف دفاعي): تحافظ على حيوية الخلية من التسمم الناتج عن مثبطات إنزيمية ومضادات الأكسدة وتراكم المركبات غير المتمثلة (السامة) وذلك في صورة بلورات.
- ☒ نقل المركبات المنحلة: تنقلها من وإلى الخلية للمحافظة على حموضة السيتوبلاسم والتوازن المائي والهرموني.
- ☒ تخزين مركبات مختلفة: عضوية ولاعضوية (أملاح، حموض عضوية ومعدنية، سكريات، أصبغة...).

عندما تمتص النباتات الماء والمواد المغذية، تخزنها الخلايا النباتية في الفجوة. عندما تتوسع الفجوة، فإنها تدفع غشاء البلازما ضد جدار الخلية. يدعم هذا الضغط المزعوم الهيكل المستقيم والصلب للنباتات. لكن جدار الخلية يمنع الخلايا من التمزق تحت هذا الضغط.




**الشكل (3): الخلية بمحتوياتها الكاملة.**

# الفصل الثامن

**الخلية النباتية Plant Cell**

## النسج النباتية Plant Tissues

### مقدمة

إن بنية النبات الراقي (معقد التنظيم البيولوجي) يؤلفه عدد كبير من الخلايا المختلفة والمتشابهة من حيث الصفات المورفولوجية والبنيوية والفيزيولوجية، ولقد تراكمت هذه الخلايا داخل جسمه إلى عدة مجموعات خلوية متمايزة على أساس التشابه بالبنية المورفولوجية والتخصص الفيزيولوجي المحدد، وعلى هذا المبدأ أطلق بشكل عام على كل تجمع خلوي مصطلح النسيج Tissue (علم النسج Histology– يعتبر من أحد فروع علم الحياة النباتية المشتق من علم البيولوجيا).

**التنوع الحيوي (الكائنات الحية):**

**– كائنات بسيطة التنظيم الحيوي (الدنيا): خلية واحدة أو أكثر عديمة التجمع الخلوي (النسيج) المتمايز.**

**– كائنات معقدة التنظيم الحيوي (الراقية): متعددة الخلايا وذات تجمع خلوي (النسيجي) متمايز ومختص.**

إن هذه التخصصات للمجموعات الخلوية (النسيجية) يحتم عليها **أن:**

- تنجز نشاطات وظيفية داخل النبات خلال فترة حياته.
- تنتظم وتتناسق فيما بينها كي تحفز النبات نحو التنامي والتطور.

**النسيج:** عبارة عن منظومة خلوية تتألف من تجمع خلوي متلاصق ومتماسك مع بعضه ومقترن تركيبياً وبنيوياً ووظيفياً وذات موقع خاص، كما أنه يتميز بالخصائص التالية:

- ✓ خلايا النسيج ذات أصل واحد ناتجة عن انقسام اللاقحة Zygote وتمايز خلايا الميرستيم.
- ✓ جميع خلايا النسيج تتشابه من الناحية البنيوية والمورفولوجية.

- ✓ كل خلايا النسيج تؤدي نفس الوظائف الحيوية (البيوفيزيولوجية).

يتم تكوين النسيج بالانقسام المتعدد العامودي والموازي لسطح الميرستيم، ومن ثم تتمايز بنيوياً وفيزيولوجياً وتتطور بنيتها الداخلية وجدرها الخلوية لتنتج أنسجة مختلفة، لذلك يعرف النسيج بشكل عام على أنه عبارة عن مجموعة خلايا تتسم بالتشابه الشكلي والوظيفي.

**منشأ وبنية الأعضاء النباتية**

إن دراسة المقاطع الطولية والعرضية للأعضاء النباتية المختلفة اثبتت أن هناك تباين في التركيب الداخلي لهذا العضو النباتي أو ذاك ما بين نباتات أحادية الفلقة وثنائية الفلقة، وأن هذا التركيب الداخلي تشكله **بنيتين:**

- البنية الابتدائية

وهو تركيب داخلي لجذور وسوق جميع النباتات (أحادية الفلقة، ثنائية الفلقة، معراة البذور). تنشأ هذه البنية من الميرستيم القمي الأولي المسمى بروكامبيوم Procambium.

- البنية الثانوية

يختص بهذا التركيب الداخلي كل من سوق وجذور نباتات ثنائيات الفلقة ومعرات البذور التي عندها تتوقف البنية الابتدائية لتتشكل البنية الثانوية من الميرستيم القمي الثانوي المسمى كامبيوم Cambium الذي تخلو منه أعضاء نباتات أحادية الفلقة.

**الأنظمة النسيجية في النبات**

بشكل عام تتشابه النباتات مع افراد العالم الحيواني من حيث التجمعات الخلوية حقيقيات النواة التي تكون أعضاء وأجهزة والتي بمجملها تشكل الفرد الذاتي الكامل. وإن كل عضو نباتي (جذر، ساق، ورقة) يمتلك أنماط نسيجية

متباينة الوظيفة، حيث تتحدد الوظيفة التي ينجزها كل نسيج بالخصائص التي تمتاز بها الخلايا المشكلة له. وبشكل عام يحوي النبات على نوعين أساسيين من الأنظمة النسيجية، هما:

أولاً– النظام النسيجي المولد Meristematic Tissue

مجموعة خلايا لامتمايزة وذات استمرار كامن في النشاط الانقسامي (كالخلايا الجذعية الحيوانية). تتحدد وظيفة خلايا هذا النظام في إنتاج خلوي غير منقطع لتجعل هذا النسج المتكون المسؤول عن النمو الطولي والعرضي للأعضاء النباتية.

ثانياً– النظام النسيجي الدائم Permanent Tissue

تنتجها خلايا الأنسجة المولدة. وهي عبارة عن خلايا سريعة التمايز والتخصص –بعد أن فقدت قدرتها على الانقسام– تستديم هذه الخلايا وفيما بعد تشكل أنواع الأنسجة الرئيسية في الأعضاء النباتية ولكل منها أدوار محددة وفق مكان التشكل والوظيفة.

**معايير وتصنيف النسج النباتية**

1– تصنيف تبعاً للنمط الخلوي

- النسج النباتية البسيطة Simple Tissues

  تتألف من نمط خلوي واحد تتشابه بالشكل والحجم والوظيفة (النسج البارنشيمية Parenchyma والنسج المتصمغة Collenchyme والنسج المتخشبة Sclerenchyma)

- النسج النباتية المركبة(المعقدة) Compound Tissues

  وهي أكثر من نمط خلوي واحد تختلف الخلايا المشكلة للنسيج بالحجم والشكل والوظيفة، إلا أن جميعها تشار ك في الأداء الوظيفي المحدد لها:

  - النسج الخشبي Xylema: عبارة عن خلايا متنوعة تؤلف أوعية وألياف خشبية وبارنشيم خشب.
  - النسيج اللحائي Phlema: خلايا تشكل أنابيب غربالية وخلايا تؤلف خلايا مرافقة وألياف لحائية.

2- تصنيف تبعاً لموضع التشكل والوظيفة

يعتبر هذا التقسيم أكثر دقة وشمولية لأنسجة النبات لاعتماده على أكثر من معيار، وهي:

- النسج الميرستيمية Meristematic Tissues: تختص في إنتاج عددي مستمر من الخلايا.
- النسج الواقية Integumentary Tissues: وظيفتها حماية الأجزاء النباتية من العوامل البيئية.
- النسج الأساسية Parenchyma Tissues: تشكيل الكتلة الأساسية للنبات وتصنع الغذاء وتخزينه.
- النسج الاستنادية Mechanical Tissues: تثبيت الأنسجة اللينة، وإعطاء الصفة الميكانيكية.
- النسج الناقلة Vascular Tissues: تنقل المركبات الغذائية (النسغ الناقص والكامل).
- النسج الإفرازية Secretory Tissues: وظيفتها إفراز مركبات كيميائية داخل وخارج الأنسجة.

أولاً- النسج الجنينية Meristematic tissues

مجموعة خلايا نشطة مولدة تختص بإنتاج عددي مستمر للخلايا بالانقسام غير المباشر(الخيطي) خلال فترة نمو النبات. تعد هذه النسج مسؤولة عن كل من النمو الطولي للأعضاء النباتية (النسج الجنينية الأولية) والنمو العرضي (النسج الجنينية الثانوية) وإنتاج خلايا سريعة التمايز والتخصص تشكل النسج الدائمة.

وتصادف النسج الجنينية في النبات على الشكل التالي:

☒ الميرستيم القمي Apical meristem

يعد هذا الميرستيم النسيج الجنيني الأولي Procambium، يقع في قمم المحاور الرئيسية للنبات (الساق، الأغصان، الجذر، قواعد وبداءات الأوراق والأزهار) وهو مسؤول عن النمو الطولي.

☒ الميرستيم البيني Intercalary meristem

يتواجد بشكل عام في الجزء السفلي لسلاميات فوارع النبات تبعاً لمدة نشاطه (مؤقت، مستمر) ولكنه ينتشر في سوق نباتات أحادية الفلقة مثل النجيليات وأعناق الأوراق والحوامل الزهرية لنباتات ثنائية الفلقة.

☒ الميرستيم الجانبي Lateral meristem

يطلق عليه بالنسيج الجنيني الثانوي Cambium. يتواجد على طول العضو النباتي بين النسيج الميرستيمي الأولي. تتمايز به محاور (السوق، الجذور) نباتات ثنائيات الفلقة ومعراة البذور التي تبدي أعضاءها نمواً جانبياً. يعد هذا الميرستيم مسؤولاً عن النمو العرضي لأعضاء النباتات التي تحتويه، وهو:

– الكامبيوم الوعائي Vascular cambium: يتشكل من خلايا طلائع الكامبيوم Procambium(طبقة رقيقة بين الخشب واللحاء الأوليين بعد أنهاء النمو الابتدائي) ويقع بين الخشب واللحاء الأوليين. تنقسم خلاياه باتجاه العرض (سوق وجذور وأغصان نباتات ثنائية الفلقة ومعراة البذور) لتعطي حزم وعائية تتمايز إلى نسيج خشبي ثانوي نحو المركز ونسيج لحائي ثانوي نحو المحيط. يسمى الكامبيوم الوعائي بالنسيج المولد الوعائي.

– الكامبيوم الفليني Phellogen cambium: نسيج نشط ينتج عن انقساماته خلايا تحل محل البشرة وذلك نتيجة تمزق البشرة وعدم قدرتها على الإحاطة بسوق وجذور نباتات ثنائية الفلقة ومعراة البذور ذات النمو الثانوي. وعند انقسام خلايا هذا النسيج تتكون نحو المحيط طبقات خلوية ميتة متقلنة الجدر، ونحو المركز خلايا حية تشكل القشرة الثانوية (نسيج مخزن). يدعى هذا النسيج بالنسيج المولد الفليني الذي ينشأ من البشرة أو تحت البشرة بالنسبة للساق، بينما في الجذر ينشأ من المحيط الدائر.

ثانياً– النسج الواقية Integumentary Tissues

1– البشرة Epiderma

هي الطبقة الخارجية من النسج المحيطة بالنبات والتي تكمن وظيفتها الأساسية في حمايته. البشرة عبارة عن تجمع خلوي نسيجي ينشأ من طليعة البشرة في شكل خلايا حية متراصة بجانب بعضها (صف لدى النجيليات، صفين في اللبلاب، عدة صفوف في تين المطاط).

**خصائص البشرة**

- ☒ شفافة لخلوها من الصانعات الخضراء (عدا السراخس)، لكنها تمتلك صانعات لالونية وهذا يزيد من امتصاصها للأشعة الشمسية (تشكل البشرة منافذ ضوئية للعملية الفوتوتمثيلية).

☒ قد تغطى بطبقة شمعية أو قشرية تحمي الجزء النباتي من العوامل الخارجية والممرضة.

☒ يلاحظ على بعض خلايا البشرة تبعاً لنوع النبات، التشكيلات التالية:

a) مسامات أو ثغور محاطة بخلايا حارسة.

**المسامات Stomates:** عبارة عن توزع فتحات دقيقة على النسيج الواقي (نسيج البشرة) لأوراق وسوق النبات، دون أن تغطيه بشكل كامل والسبب يعود إلى فعل إشارات مثبطة هرمونية أو منتجات مورثية تجري على المناطق الأخرى من النسيج الواقي تمنع تشكل الفتحات فيها.

**ألية تشكل المسام الورقي (الثغرة)**

يتشكل المسام بألية خضوع خلية أولية إنشائية بشرية لانقسام خيطي، ونتيجة لتباعد هاتين الخليتين الناتجتين عن بعضهما وزوال صفيحاتهما الوسطية تتشكل حجيرة صغيرة تسمى بالمسام.

يتثخن بتباين الجدار الداخلي والخارجي لكل خلية منهما لتحيطان بالفتحة المتشكلة، وقد يطلق على كل خلية من هاتين الخليتين بالخلية الحارسة (أي يحاط المسام بزوج من الخلايا).

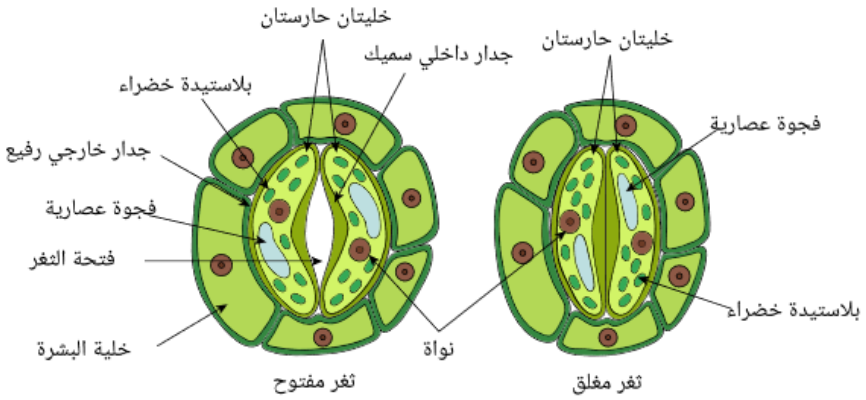
**الخلايا الحارسة:** خليتين متقابلتين (زوج من الخلايا السمتية ذات الشكل الكلوي) تكون فيما بينها فتحة تسمى السم(الثغرة). تصادف الخلايا الحارسة في بشرة (الطبقة السطحية) لكل من الأوراق والسوق النباتية.

تلعب الخلايا الحارسة دوراً رئيسياً في ميكانيكة حركة الثغور (انفتاح وانغلاق) بالعلاقة مع توفر الماء:

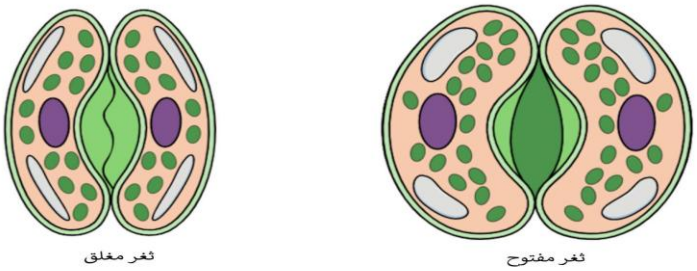
1- حركة الانفتاح: وجود الماء يعمل على انتباج الخلايا الحارسة مما يقود إلى انفتاح الثغور.

2- حركة الانغلاق: بالانخفاض الرطوبي تتكمش الخلايا الحارسة فتنغلق الثغور.

للمسامات الورقية أهمية بيولوجية كبيرة جداً في حياة النبات، تكمن في ضبط التبادل الهوائي بين البيئة الداخلية والخارجية للورقة والتحكم في طرح بخار الماء من الأوراق (التوازن بين الماء الممتص والمطروح).




**شكل() بوضح الخلايا الحارسة ومكوناتها**




**شكل() بوضح ديناميكة المسام الورقي**

b) بلورات من أملاح لحموض عضوية أو معدنية ناتجة عن الاستقلاب الخلوي، منها فحمات الكالسيوم (ورقة تين المطاط والقنب) وأوكزالات الكالسيوم (ورقة وساق المكحلة والبصل).

c) الخلايا اللافة (محركة Motor cells) كما في أوراق النجيليات– القمح، الذرة.

✓ بعض الزوائد كالحليمات والأوبار (الشعيرات الجذرية هي امتداداً لخلايا البشرة) والحراشف وخلايا أو غدد مفرزة لمركبات طيارة.

**الخلايا اللافة– عبارة عن خلايا كبيرة رقيقة الجدر لها المقدرة على الاحتفاظ بالماء الذي يساعد في حركة الأوراق(الانفتاح والانغلاق)**

**تُساهم خلايا البشرة الجذرية(الداخلية والخارجية) في عملية امتصاص الماء والمعادن ومذيبات أخرى عبر اغشيتها السيتوبلاسمية لكي لا تعبر بين الخلايا**

**الشعيرات الجذرية تزيد من سطح الجذور لامتصاص كميات أكبر من الماء والمعادن من التربة**

2– البشرة الثانوية Periderma

تعتبر البشرة الثانوية نسيج واقي ثانوي يحيط بسوق وجذور نباتات ثنائية الفلقة وعريانات البذور، وذلك بسبب زيادة قطر أعضائها. تنشأ البشرة الثانوية من الميرستيم الثانوي (الكامبيوم الفليني).

3– القلف Rhytidome

عبارة عن نسيج ميت يحل محل الفلين، مؤلف من عدة طبقات خلوية تتوضع على الطبقة السطحية لجذور وسوق النباتات المتقدمة بالعمر (الأشجار). ونظراً لنموها العرضي–بعد عدة سنوات– تتمزق البشرة الثانوية وتتشكل طبقة فلينية جديدة لتعطي نحو المحيط طبقات خلوية فلينية جديدة تسمى القلف. وأحياناً يطلق على القلف بالبشرة الثالثية.

ثالثاً– النسج الأساسية Parenchyma Tissues

خلايا حية ذات أشكال هندسية مختلفة (الكروية، البيضوية، المضلعة بأشكالها المختلفة) متعددة تتميز بجدر رقيقة بكتوسيللوزية، بعض خلايا هذا النسيج لا تتلاصق مع بعضها، أنما تكون فيما بينها فراغات يطلق عليها بالاصمخة. وقد تتغلظ جدر الخلايا الأساسية بترسبات بكتينية وسيللوزية.

تؤلف خلايا هذه النسج الكتلة الأساسية للأعضاء النباتية (نسيج مستمر يكون مساحات بين النسج الباقية لكل الأعضاء النباتية) لذلك تسمى بالنسيج الضام. يدعى هذا النسيج بالبارانشيمي.

تحتوي خلايا النسيج الأساسية كامل المكتنفات الخلوية بالإضافة إلى مركبات عضوية منحلة وغير منحلة في صورة بلورات، ولهذا التركيب المكتنفي الخلوي الكامل أهمية كبيرة جداً، حيث تحدث ضمنها جملة من العمليات البيولوجية التي تلعب دوراً مورفولوجياً وفيزيولوجياً في حياة النبات، تمتاز بـ:

- المقدرة الانقسامية (العودة إلى الحالة الجنينية) كخلايا جذعية تفيد في تجديد خلايا النبات الالتئام والتطعيم (الالتحام بين الطعم والأصل). ويضاف إلى ذلك مسؤوليتها على النمو الطولي والعرضي للأعضاء النباتية كونها تعد الأنسجة المولّدة القمية والجانبية موجودة في الساق والأوراق
- خلايا ضوئية التخليق Photosynthetic cells موجودة في الساق والأوراق تمثيل مركبات عضوية بالعملية الفوتوتمثيلية لاحتوائها على جسيمات صانعة خضراء ممتلئة بصبغة اليخضور القانصة للضوء.
- تخزين مواد عضوية متنوعة –تزيد عن حاجة النبات– للنمو في الأجزاء النباتية المختلفة (الجذور، السوق، الثمار، الأوراق).
- عمليات استقلاب (الهدم والبناء).

**تقسم الأنسجة البارنشيمية الأساسية**

- البارنشيم اليخضوري Chlorenchyma

مجموعة من الخلايا تتواجد في الأوراق والأفرع التي يجري داخلها عملية التمثيل الضوئي، نظراً لاحتوائها على الجسيمات الصانعة الخضراء. وهذا ما يسمح أن يطلق على هذا النسيج بالبارنشيم التمثيلي (التصنيعي، التركيبي). يمثل النسيج المتوسط Mesophyll في الأوراق النباتية البارنشيم الصانع (البارنشيم الكلوروفيلي) الذي يتألف تبعاً للنوع النباتي من:

– نسيجين بارنشيمين (عمادي واسفنجي) عند أوراق نباتات ثنائية الفلقة.

– نسيج اسفنجي فراغي، فقط يصادف لدى أوراق نباتات أحادية الفلقة.

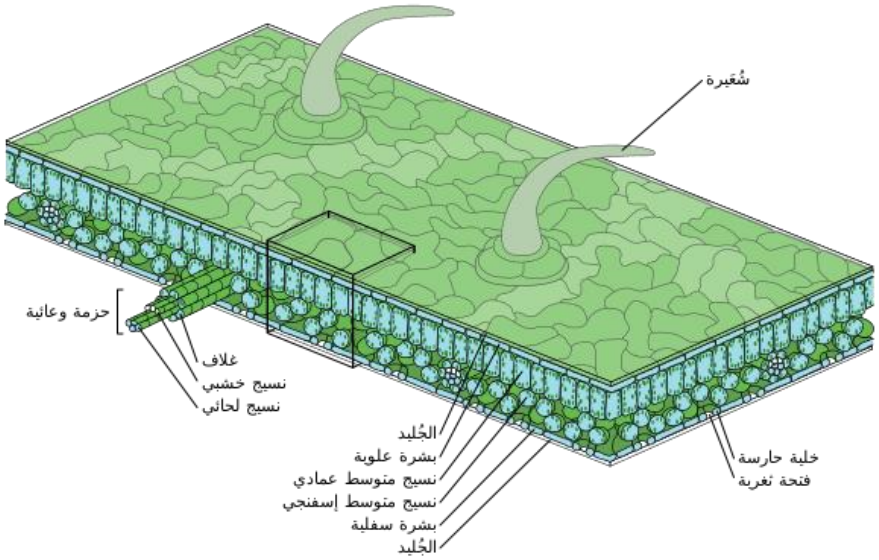
– خلايا مفصصة تتميز بها أوراق الصنوبر.

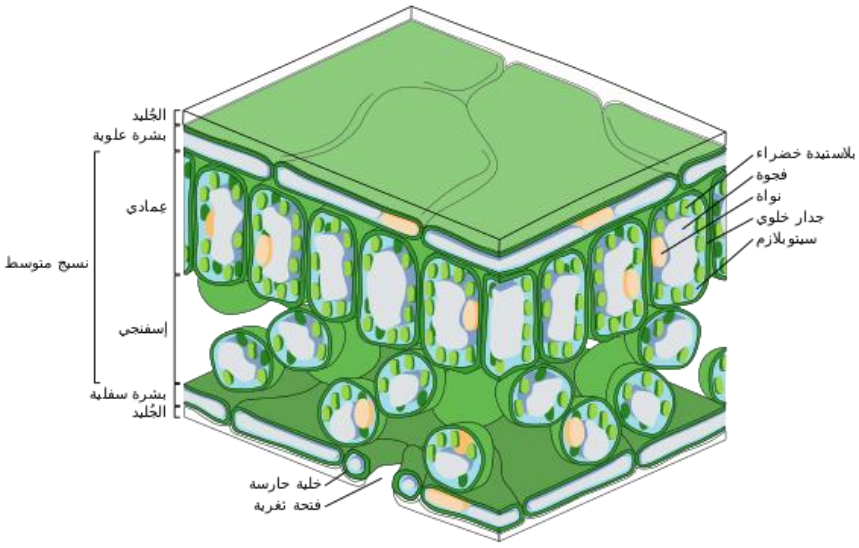
**النسيج العمادي(الحباكي):** يظهر على شكل صف أو أكثر –تحت البشرة العلوية– من الخلايا المتطاولة المتلاصقة (المتراصة) العامودية على البشرة دون تكوين فراغات خلوية (الأصمخة) فيما بينها.

تمتلئ خلايا النسيج العمادي بكم كبير من الصانعات الخضراء، لذلك هي أكثر الخلايا التي يقع على عاتقها انجاز العملية الفوتوتمثيلية.

**النسيج الاسفنجي(الفراغي):** مجموعة خلايا لاعمادية تحتل المساحة الواقعة بين بشرتي النصل الورقي (العليا والسفلى). مكونة مسافات بينية التي بدورها تشكل فراغات (الأصمخة).

تمتلئ خلايا النسيج الاسفنجي بعدد من البلاستيدات الخضراء (أقل من خلايا الحباكي) فهي تشارك خلايا النسيج العمادي بإنجاز عملية التركيب الضوئي.


شُعَيرة
حزمة وعائية
غلاف
نسيج خشبي
نسيج لحائي
الجُليد
بشرة علوية
نسيج متوسط عمادي
نسيج متوسط إسفنجي
بشرة سفلية
الجُليد
خلية حارسة
فتحة ثغرية


الجُليد
بشرة علوية
عِمادي
نسيج متوسط
إسفنجي
بشرة سفلية
الجُليد
خلية حارسة
فتحة ثغرية
بلاستيدة خضراء
فجوة
نواة
جدار خلوي
سيتوبلازم

- البارنشيم الادخاري Storage Parenchyma

تصادف خلايا هذا النسيج في الأعضاء النباتية غير المعرضة للإضاءة (السوق، البذور، الدرنات، البصيلات، الثمار) لهذا السبب تخلو من البلاستيدات الخضراء. تكمن وظيفة خلايا البارنشيم الادخاري في تخزين المركبات العضوية الغذائية الزائدة عن حاجة النبات، لذا تصنف وفق ذلك إلى:

- بارنشيم ادخاري بروتيني (تخزن البروتينات بشكل حبيبات الإليرون البروتينية).
- بارنشيم ادخاري نشوي (تجمع النشا في صانعات عديمة اللون أنسجة الدرنات والبذور).
- بارنشيم ادخاري ليبيدي (يراكم الدسم في البذور الزيتية).

- البارنشيم الهوائي

ينتشر وجود هذا البارنشيم في أعضاء النباتات المائية، حيث تشكل خلاياه فراغات بينية فيما بينها كي تخزن الهواء لتفيد في التبادل الغازي والطفو فوق السطوح المائية (نبات إيلوديا).

- البارنشيم الامتصاصي

تمتاز به أنسجة البذور المنتشة والجذور الفتية كي تختص بالوظيفته الامتصاصية (أوبار ماصة جذرية وورقية وساقية) لجزيئات الماء ومحاليل الأملاح المعدنية.

رابعاً- النسج الاستنادية Mechanical Tissues

إن نمو الأعضاء (الزيادة العددية للخلايا واحجامها) يسبب حمل ثقيل على النباتات مما يقود هذا الأمر إلى ضعف انتصابها وقلة مقاومة انحناء ورقاد سيقانها، لذلك يتمايز تجمع خلوي بارنشيمي أساسي (تنشأ من النسيج البارنشيمي الأساسي) إلى نسيج يدعى النسيج الميكانيكي الذي يؤلف هيكلاً متيناً داعماً للأعضاء النباتية (السوق، جذور، أوراق) ويقوم بتثبيت الأنسجة اللينة ومقاومة الجاذبية الأرضية والكسر والتهميش.

مجموعة خلايا تتمايز في الأعضاء المحورية لنباتات اليابسة وتخلو منها أضاء النباتات المائية. تتمتع خلايا النسج الميكانيكية بجدر ثخينة تبعاً لترسب الروابط الكيميائية، إلا أنها غالبا ما تكون متخشبة ميتة او خلايا حية.

تقسم الأنسجة الداعمة تبعاً للطبيعة الكيميائية المترسبة على جدر الخلايا التي تشكلها، إلى:

a- النسج الميكانيكة المتصمغة Collenchyma

خلايا شبيهة بالخلايا البرنشيمية -أكثر سمكاً- طويلة وذات نشاط بروتوبلازمي حي وجدر غالباً بكتينة بالإضافة إلى ترسب سيللوزي في المسافات البينية مما يربطها مع بعضها البعض ويجعلها غير منفصلة ولامتباعدة.

يقل وجود النسيج المتصمغ في الجذور لكن ينتشر في معلاق الورقة وعروق النصل الورقي (خصوصاً العرق الرئيسي) وسوق النباتات في منطقتها المحيطية تحت النسيج الواقي(البشرة) كحلقة مغلقة أو حزمة حرة منفصلة.

تعتبر الأنسجة الاستنادية المتصمغة عنصر داعم لانتصاب النبات وخاصة الأعضاء الفتية نظراً للقدرة النشطة الحيوية لخلاياها واحتوائها على الجسيمات الصانعة الخضراء وتمتع جدرها الخلوية بالمرنة والغنى المائي (الجدر شرهة للماء). يسمى هذا التجمع الخلوي بالنسيج الغروي

هناك ثلاثة أنواع من النسج المتصمغة تصنف تبعاً لطريقة التوضع السيللوزي على جدرها:

- الكولانشيم الزاوي: تترسب المركبات البكتوسيللوزية في الزوايا الخلوية (القرع).

- الكولانشيم الحلقي: تترسب المركبات البكتوسيللوزية بشكل دائري على السطح الداخلي (سوق النباتات الخيمية).

- الكولانشيم المماسي: يترسب البكتوسيللوز على الجدار الداخلي والخارجي بشكل مماسي (عباد الشمس).

b- النسج الميكانيكية المتخشبة Sclenchyma

نسيج دعامي يقوي النبات. يتألف من خلايا متصلبة ميتة (لفقد البروتوبلازم حيويته وعديمة الأنوية) مكتملة النمو ومتراصة (لا تكون فراغات فيما بينها) وذات جدر خلوية سميكة تامة التخشب بسبب ترسب تجانسي من مادة السيللوز والـ Lignin(الخشب) والـ Suberin(الفلين) على كامل الجدر مما يجعل وسطها يأخذ شكل تجويفي ضيق (ترسيب مواد ثانوية على الجدار الأولي للخلايا البالغة تمنعها من الاستطالة في حال نمو النبات).

ينتشر وجود النسيج المتخشب في الأعضاء الإعاشية للبنية الأولية لنباتات أحادية الفلقة والبنية الثانوية لنباتات ثنائية الفلقة ولكنه يغيب لدى النباتات المائية. يطلق على هذا التجمع الخلوي بالنسيج الداعم

تصادف النسج السكليرنشيمية على الشكل التالي:

- خلايا متخشبة (الحجرية Stone Cells)

وهي خلايا قصيرة متفرّعة وذات أشكال مختلفة (كروية، متفرعة، نجمية) منها المنفردة أو المتجمعة بتجاويف داخلية ضيقة نتيجة ثخانة الترسيب. تظهر الخلايا الحجرية في البارنشيم القشري والنسيج اللحائي المتطاول والمتفرع الذي يظهر على شكل حرف (T, Y, H). ويصادف وجود الخلايا الحجرية في أنسجة ثمار بعض النباتات (التفاح، الاجاص، السفرجل) وأوراق نباتات أخرى (الزيتون، الشاي) تكسب هذه الأعضاء النباتية خاصية الصلابة والمتانة.

- الألياف Fibers

خلايا ميتة (بروتوبلازم غير حيوي) متطاولة شكلها مغزلي مدببة الأطراف وذات جدر متغلظة لديها القدرة على تكوين حزم متطاولة، إلا أن قسم منها يترسب على جدرها السيللوز فقط (ألياف القطن والكتان).

**للألياف النباتية أهمية كبيرة في الصناعات وعلى الأخص صناعة الخيوط والأنسجة (القطن والكتان)، بينما أليف القنب تستخدم في صنعة الحبال.**

تتوزع الألياف في الأعضاء النباتية بأشكال متنوعة:

– الشكل الغمدي أغماد حول الحزم الوعائية: كما في أوراق وسوق نباتات أحادية الفلقة (ميزة خاصة لدى أحادية الفلقة).

– الشكل القبعي حلقية قبعية: في ساق ثنائيات الفلقة منطقة القشرة الداخلية فوق الحزم الناقلة كما في ساق القرعيات.

– مركب لعناصر النسج الناقلة: تتخشب عند الأوعية الخشبية، بينما لدى الأوعية اللحائية لامتخشبة.

– الشكل المبعثر مجاميع مبعثرة: في قشرة الساق أو مواجهة للحزم الوعائية (ساق نباتات أحادية الفلقة ومعراة البذور).

**خلايا الخشب**

ويتكوّن نسيج الخشب من نوعين من الخلايا الناقلة؛ هما القصيبات والعناصر الوعائية واللذان يمتازان بجدرانهما (Xylem Fibers :بالإنجليزية) الثانوية السميكة، وتنتهي دورة حياتهما عند النضج، إلى جانب الألياف الخشبية التي تتمثّل وظيفتها في دعم الأنسجة الخشبية وخصوصاً تلك التي تحتوي على قصيبات، والنسيج البرنشيمي الذي تتمثّل وظيفته في تخزين المستقبلات أو إفراز مواد صمغية، وفيما يأتي شرح (Parenchyma :بالإنجليزية) :مُبسّط لنوعيّ خلايا الخشب.

خامساً– النسج الناقلة Vascular Tissues

مجموعة خلايا بعضها ميت والبعض الآخر حي (حيوي) تؤلف نسج مركبة وهذه الأخيرة تشكل أنابيب متميزة وفق المحور الطولي للنبات مكونة جهازين وعائيين مختصين وظيفياً لنقل محاليل المركبات الغذائية (العضوية واللاعضوية) إلى جميع الأعضاء النباتية.

ينتشر وجود الأنسجة الناقلة في أعضاء النباتات الوعائية الدنيا(السراخس) والراقية (أحادية وثنائية الفلقة ومعراة البذور)، ولا تمتلك النباتات الدنيا (الأشنيات والفطريات) جهازاً ناقلاً حقيقياً.

تتكون المنظومة الناقلة من نمطين وظيفيين من الأنسجة (النسيج الخشبي والنسيج اللحائي) يرتبطا معاً ارتباطاً وثيقاً على شكل حزم وعائية ناقلة متنوعة (أوعية خشبية وأوعية لحائية) تشكلان جملة مستمرة تتوزع هذه الأخيرة في كافة أعضاء النبات من قمة الأعضاء الهوائية إلى نهاية المجموع الجذري.

**اكتشفت النسج الناقلة البدائية في الأشباه الساقية والورقية لنباتات Bryophyta(تحت صف الحزازيات) المتكونة من:**

**– الـ Hydroids(وعاء رفيع ضيق خلاياه ميتة ينقل النسغ الناقص، فهو بمثابة الوعاء الخشبي عند النباتات الراقية).**

**– الـ Leptoids(وعاء رفيع ضيق خلاياه حية ينقل النسغ الكامل، يقابل الوعاء اللحائي لدى النباتات الراقية).**

**أنواع الأنسجة الوعائية الناقلة**

تبعاً لنوع المادة الغذائية المنقولة تقسم الأنسجة الوعائية إلى قسمين رئيسيين، هما:

أولاً– النسج الناقلة الخشبية(الخشب)

من خلايا النسيج الخشبي تتشكل أنابيب مجوفة التي من خلالها تسمح للمركبات بالانتقال في اتجاه وحيد فقط من الأسفل إلى الأعلى (من الجملة الجذرية إلى الجملة الورقية مروراً بالجملة الساقية).

يتألف النسيج الناقل الخشبي من العناصر التالية:

- الأوعية التامة (القصبات)

خلايا ميتة متخشبة مستطيلة الشكل ومندمجة (اتحاد خلايا) مع بعضها بشكل طولي بعد زوال المكتنفات السيتوبلاسمية والنواة. بينما جدرها الطولية السيللوزية فقد تشربت وتراكمت عليها مادة الخشبين (ترسب ناقص) بأشكال متعددة فاتخذت تزينات (منقطة، حلزونية، حلقية، سلمية، شبكية).

للأوعية الخشبية نوعان حسب بنية النباتات:

– الخشب الأولي: يعد جهاز ناقل وحيد للنسغ الناقص عند النباتات خلال البنية الابتدائية للنبات. يتميز بتزينات حلزونية وحلقية. وينشأ من طليعة الكامبيوم (النسيج المولد القمي).

– الخشب الثانوي: ينشأ من الكامبيوم الوعائي (نباتات ثنائية الفلقة ومعراة البذور). ويتوضع بين الخشب واللحاء الأوليين.

- الأوعية الناقصة(القصيبات)

خلايا حية مدببة النهايات ذات جدر عرضية كاملة ينتقل عبرها النسغ الناقص من الجزء السفلي للنبات إلى العلوي نتيجة احتوائها على نقر بسيطة تفصلها عن بعضها. وتتميز بتزينات منقطة وحلزونية وسلمية وشبكية.

- ألياف خشبية وبارنشيم خشب وأشعة مخية.

ثانياً– النسج الناقلة اللحائية (اللحاء)

يشكل النسيج اللحائي عناصر غربالية التي من خلالها تتحرك المحاليل العضوية إلى كافة أجزاء النبات (من الجهاز الورقي التمثيلي إلى الجملة الجذرية مروراً بالجملة الساقية).

يتألف النسيج الناقل اللحائي من العناصر التالية:

- الأنابيب الغربالية

ترتيب رأسي لصفوف من خلايا حية (عكس الخشب غير الحي) قصيرة وعريضة مندجة مع بعضها دون زوال الجدر العرضية بل مثقبة في الجدر الطرفية مكونة الانابيب الغربالية (عناصر نقل المحاليل العضوية) التي تجعل الاتصال مباشر بين سيتوبلاسم الخلايا المجاورة والسماح للمواد المذابة بالانتقال. تتواجد الخلايا الغربالية فقط عند مغطاة البذور، بينما لدى النباتات الأخرى (عريانات البذور والسراخس) تظهر على شكل صفائح غربالية. تعتبر الأنابيب الغربالية مسؤولة عن نقل النسغ الكامل.

للأوعية اللحائية نوعان حسب بنية النباتات:

– اللحاء الأولي: ينتج عن نشاط النسيج المولد القمي. ويعد العنصر المسؤول عن نقل النسغ الكامل لدى جميع النباتات خلال البنية الابتدائية للنبات.

– اللحاء الثانوي: ينشأ من الكامبيوم الوعائي (نباتات ثنائية الفلقة ومعراة البذور)

ويتوضع بين الخشب واللحاء الأوليين.

- الخلايا المرافقة Companion Cells

خلايا نشطة مكتملة المكتنفات، تتصل مع خلايا العناصر الغربالية بواسطة الواصلات في نباتات مغطاة البذور، وتغيب في عريانات البذور والنباتات الدنيا–.

لا تعد الخلايا المرافقة من عناصر النقل لعدم احتوائها على جدر غربالية. ويعتقد أنها تمثل احتياط للعناصر الغربالية حيث تصنع وتمد العناصر الغربالية بالإنزيمات اللازمة للحفاظ على الغربال وضخ العصارة الكاملة الجاهزة.

- الخلايا البارنشيمية الألياف اللحائية والأشعة بين اللحائية.

خامساً– النسج الإفرازية Secretory tissues

نتيجة لعمليات الاستقلاب الخلوي تتكون مركبات كيميائية تتجمع في الفجوات الخلايا الحية أو في أقنية وجيوب وغدد مفرزة متخصصة.

تنتشر هذه الخلايا وتؤلف غدداً (نسيجاً مفرزاً) في مختلف أجزاء النبات التي تقوم بإفرازها:

☒ مركبات لا يحتاجها النبات (تربينات، راتنج، بلورات).

☒ مواد يستخدمها النبات فيزيولوجياً (الهرمونات، الإنزيمات).

**تقسيم النسج المفرزة**

- نسج داخلية الإفراز: يتم الإفراز إلى داخل الخلايا، وتقسم إلى قسمين:

– خلايا مفرزة متخصصة

تفرز هذه النسج أملاح لأحماض عضوية (أوكزالات الكالسيوم) أو لا عضوية (فحمات الكالسيوم). تتبلور هذه الأملاح وتأخذ أشكالاً متنوعة، منها الإبرية والعصوية، والنجمية.

– جيوب مفرزة:

- ✓ انحلالية المنشأ ناتجة عن تخرب الخلايا المصنعة للروابط المفرزة (تتواجد في أوراق الحمضيات، الغار، الكافور).
- ✓ انفصالية المنشأ ناتجة عن تباعد الخلايا المحيطة. تراكم مفرزات المواد الراتنجية والصمغ والهلام والتربينات الطيارة.

- نسج خارجية الإفراز: يتم الإفراز إلى خارج الخلايا المفرزة، وتقسم إلى قسمين:

– الأوبار الغدية: تفرز من البشرة، وتكون المركبات المفرزة على شكل سائل أو غاز أو صلب.

– الحراشف المفرزة: قصيرة ذات قمة. تتراكم المواد فيها ثم تتحرر عن طريق تشققها.

– الغدد الرحيقية: منها رحيقية زهرية موجودة على الأزهار والبعض الآخر رحيقية لا زهرية تصادف على الأجزاء الخضرية.

– الغدد العطرية: تراكيب خاصة من خلايا الكأس أو التويج. تفرز زيوت طيارة مطابقة لنوع الزهرة.

– الغدد الهاضمة: أوبار تفرز مواد هاضمة مثل الإنزيمات الهاضمة. تفرزها خلايا البشرة وتحت البشرة.

– المسام المائي: تتشكل في أطراف الورقة. تفرز قطرات مائية ناتجة عن الضغط الجذري.

**خلايا الخشب**

تُشكّل خلايا الخشب معًا اسطواناتٍ مجوّفةً ذات مقاومة عالية للشد تمنع جسم النبات من الانهيار وتسمح للمواد بالحركة من خلالها باتجاه واحد فقط للأعلى؛ يبدأ من عند الجذور مروراً بالساق وانتهاءً بالأوراق.[٣]

ويتكوّن نسيج الخشب من نوعين من الخلايا الناقلة؛ هما القصيبات والعناصر الوعائية واللذان يمتازان بجدرانهما الثانوية السميكة، وتنتهي دورة حياتهما عند النضج، إلى جانب الألياف الخشبية (Xylem Fibers :بالإنجليزية) التي تتمثّل وظيفتها في دعم الأنسجة الخشبية وخصوصاً تلك التي تحتوي على قصيبات، والنسيج البرنشيمي (Parenchyma :بالإنجليزية) الذي تتمثّل وظيفته في تخزين المستقبلات أو إفراز مواد صمغية، وفيما يأتي شرح مُبسّط لنوعيّ خلايا الخشب:[٣]

- **القصيبات**

، وهي خلايا طويلة ونحيلة ذات نهايات متداخلة ومُدبّبة، عادةً ما ينتقل الماء بين هذه (Tracheids :بالإنجليزية) والتي تُعرّف على أنّها فتحات دقيقة موجودة (bordered pits :بالإنجليزية) الخلايا عن طريق النقر المضفوفة على الجدران الخلوية حيث يتمّ إيداع المواد الأساسية المُكوّنة للجدران الخلوية، وتُعتبر القصيبات خلايا بدائية غير متخصصة في نسيج الخشب، ويكثر وجودها في الأشجار الخشبية غير المزهرة.

- **العناصر الوعائية**

، وهي خلايا قصيرة وعريضة على عكس القصيبات، تكون محاذيةً لبعضها (Vessel Elements :بالإنجليزية) البعض وذات نهايات مُذابة كليّاً أو جزئيّاً ممّا يسمح لها بتكوين أنابيب طويلة ومجوّفة يصل ارتفاعها إلى 3 م، وكلّما كان قطر هذه الأنابيب أكبر ونهاياتها متلاشيةً أكثر كانت عملية النقل عن طريق هذه العناصر الوعائية أسرع، وتمتاز العناصر الوعائية بأنّها أكثر تطوّراً من القصيبات، ويكثر وجودها في النباتات كاسيات البذور وهذا ما يجعلها من النباتات السائدة.

**خلايا اللحاء**

تنقل خلايا اللحاء المواد العضوية المذابة من مصدرها إلى بقيّة أجزاء النبات، وقد يتغيّر اتجاه حركة المواد عبر اللحاء في النبات، ويعتمد ذلك على الوقت من السنة وعمر النبات، وتمتاز خلايا اللحاء بأنّها تظل حيّةً حتّى بعد النضوج؛ وذلك لأنّ حركة المواد عبر اللحاء تحتاج إلى طاقة.[٣]

ولا تتمتّع جدران اللحاء بقوة شدّ عالية؛ وذلك لأنّ المواد المتحرّكة عبرها تخضع لقوى الضغط، وتتألّف خلايا اللحاء من جزأين هما كالآتي:[٣]

- **خلايا غربالية**

، وهي خلايا ناقلة بدائية تكثر في نبات السرخس والصنوبريات، وتمتاز بأنّها طويلة (Sieve Cells :بالإنجليزية) ومُدبّبة وأنّها ذات نهايات متداخلة، وتمتلئ جدرانها الخلوية بالثقوب التي تسمح بالاتصال المباشر مع البروتوبلاست وهي مادة كربوهيدراتية معقدة قادرة على سدّ (Callose :بالإنجليزية) للخلايا المجاورة، ويُحيط بهذه الثقوب الكالوز التي (Albuminous Cells :بالإنجليزية) فتحات الثقوب بعد إصابتها، وترتبط الخلايا الغربالية مع الخلايا الزلالية تلعب دوراً مهمّاً في مساعدة المواد على الحركة داخل اللحاء.

- **خلايا الأنابيب الغربالية**

، تُعرّف على أنّها خلايا ناقلة أكثر تعقيداً وتطوّراً، وتتواجد في النباتات (Sieve Tube Members :بالإنجليزية) كاسيات البذور، وتمتاز بأنّها قصيرة وعريضة وتكون محاذيةً لبعضها البعض داخل الأنابيب الغربالية، أمّا ثقوبها فهي كبيرة وتتركّز في الجدران الطرفيّة لخلايا الأنابيب الغربالية المتجاورة، وتسمح هذه الثقوب للمواد المذابة بالانتقال بسرعة أكبر عبر الخلايا الغربالية وخلايا الأنابيب الغربالية، وعندما يصل النبات إلى مرحلة النضج فإنّ النوى الخاصة بخلايا الأنابيب الغربالية تتحلّل وتختفي الريبوسومات، في حين تبقى المُتَقَدِّرات والصانعات اليخضورية، تتحكّم (Companion Cells :بالإنجليزية) وترتبط خلايا الأنابيب الغربالية عن طريق روابط بلازمية بخلايا مرافقة بعملية البناء الضوئي، حيث تتحكّم الوحدة الناتجة عن ارتباطهما بحركة المواد من وإلى خلايا الأنابيب الغربالية، وتضم هذه الخلايا أيضاً بروتين اللحاء والكالوز المسؤولين عن إحكام غلق الجروح في الأنابيب الغربالية.

**قد تحتوي أسطح السيقان والأوراق على شعيرات تُساهم:**

**- في التقليل من عملية النتح وبالتالي فقدان الماء**

**- في زيادة انعكاس أشعة الشمس**

**-تخزين المُركّبات التي تحمي الأوراق من الحيوانات العاشبة**