أستاذ المادة

أ.د فاضل فتحي رجب

الأقسام: البستنة وهندسة الحدائق ووقاية النبات وعلوم التربة والموارد المائية

المرحلة الثانية

كلية الزراعة والغابات: جامعة الموصل

المحاضرة الأولى

علم فسلجة النبات:

وهو العلم الذي يبحث في كيفية تأدية النباتات لوظائفها الحيوية المختلفة ذات العلاقة بنمو وتطور النبات ويرتبط مع باقي العلوم الزراعية في تفسير تأثيرات البيئة والوراثة على وظائف وتركيب الخلايا والأنسجة والأعضاء النباتية.

تعتبر الخلايا النباتية اللبنة الاساسية التي تكون البناء المحكم لجسم النبات وتمثل في نفس الوقت الوحدة الاساسية لكل وظائفه وهي تختلف بـ:

1.الحجم: إذ توجد بأحجام مختلفة منها الصغيرة جدا التي لا ترى الا بالمكرسكوب والكبيرة التي ترى بوضوح بالعين المجردة.

2.الشكل: يوجد منها المستدير الشكل والانبوبي والابري والمتفرع والعديد الاوجه وغيرها من الاشكال الكثيرة.

3. درجة التعقيد: فقد تكون بدائية أو تكون متطورة.

4. الطول: احيانا لايزيد طولها عن المايكرون وفي اخرى يبلغ عدة سنتمترات او امتار.

الميكرون= 10^{-3} ملم

الميكرون= 10^{-6} م

الميكرون= 10^{3} ملي مايكرون =1000 ملي مايكرون.

الميكرون= 10^{4} انكستروم.

تقوم الخلية بعملها الفسيولوجي المعين اما طول فترة حياتها او خلال جزء منها كما وان بعض الخلايا تقوم بانجاز أدوارها وهي حية في حين أنواع أخرى تقوم بأداء واجباتها بعد موتها مثل خلايا نسيج الفلين او انسجة الخشب عموما ظاهرة الحياة في النبات هي عبارة عن مجموع ما تقوم به الخلايا مجتمعة من واجبات والتي يرتبط بعضها مع البعض من اجل الحفاظ وديمومة النبات في الوجود.

انواع الخلايا:

النبات قد يكون من النوع البسيط(البدائي)أي يتكون من خلية واحدة تقوم بكافة العمليات الحيوية الخاصة به كما في حالة البكتريا الخضراء المزرقة او قد يتكون من النوع المعقد(المتطور)حيث يتكون من مجموعة من الاعضاء والتي تتكون من مجموعة من الانسجة والاخيرة بدورها تتكون من مجموعة من الخلايا التي تتشابه بالشكل والوظيفة عادة كما في النباتات الراقية.

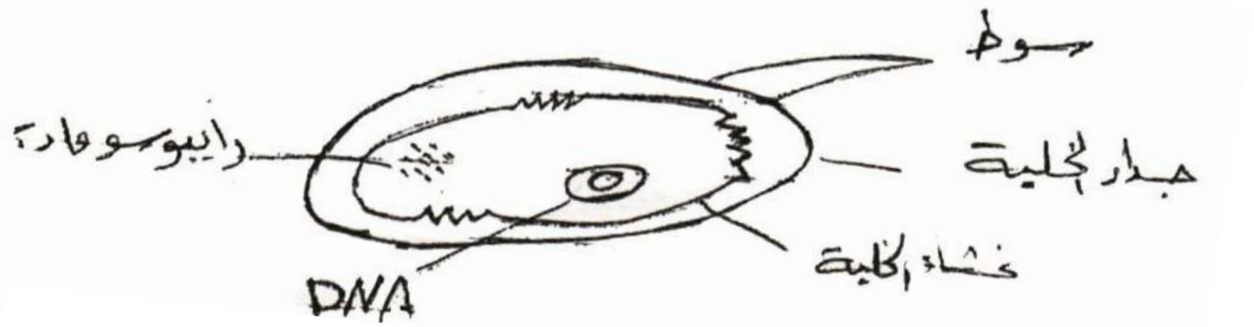
1-الخلايا البدائية: Procaryotic cell

وهي خلايا ذات تنظيم و تركيب بسيطين وتوجد في الكائنات الاولية أي التي تعد بدائية في سلم التطور مثل البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة وتتميز هذه الخلايا بانها:

أ- تحتوي على انوية غير محددة.

ب- المعلومات الوراثية والمتمثلة بالـ DNA المسؤولة عن خزن المعلومات الوراثية ونقلها تكون موزعة في بروتوبلازم الخلية وغير منفصلة عن بقية أجزاء الخلية بنظام غشائي .

ج- تستغل غشاء البلازما والتراكيب النامية منه لانجاز معظم وظائفها الحيوية من دون تجزئيه هذه الوظائف الى عمليات صغرى



الخلايا البدائية

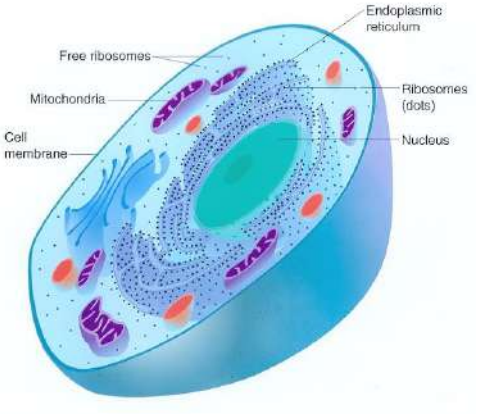
2- الخلايا المتطورة: Eucaryotic cell

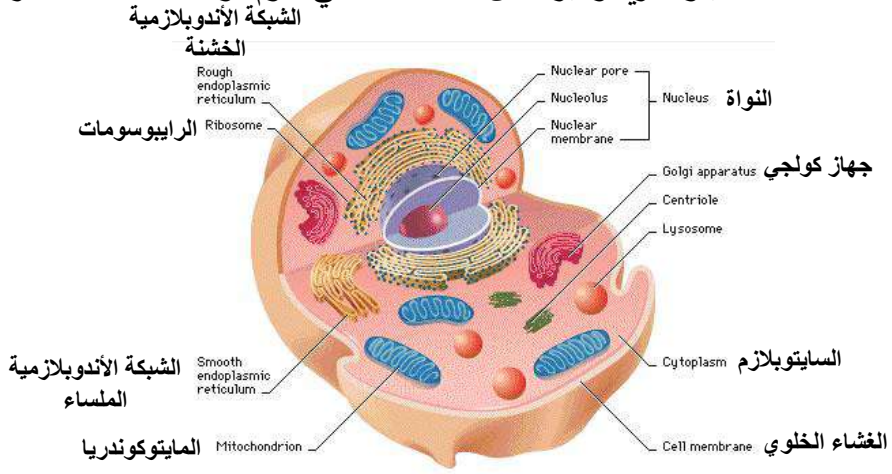
وهي خلايا ذات تركيب وتنظيم معقدين توجد في الكائنات المتطورة مثل الانسان والحيوانات والنبات وتتميز هذه الخلايا بأنها:

أ- خلايا تحتوي انوية محدودة .

ب- المادة الوراثية والمتمثلة بالـ DNA تتركز في النواة وتكون مفصولة عن باقي اجزاء الخلية بنظام غشائي.

ج- تحتوي خلاياها على عدة اعضاء تسمى cell organelles يختص كل منها بأداء واجب معين فالتركيب الضوئي مثلا يحدث في اجزاء تسمى البلاستيدات الخضراء والتنفس في أجزاء اخرى تسمى المايتوكندريا وغيرها من الأعضاء التي تقوم بواجبات متعددة اخرى سوف يرد ذكرها لاحقا بالتفصيل.





الفروقات بين الخلية النباتية والحيوانية :

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

2- تحوي 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 الملائمة للنمو والتكاثر وتسمى هذه الظاهرة Totipotency .

4- تحتوي الخلية النباتية على جدار سليلوزي عادة ما عدا الكميتات في المراحل الأولى من اتحادها .

5- الخلية النباتية لا تحتوي على الجسم المركزي.

6- الخلية النباتية اكبر حجما من الحيوانية عموما.

مكونات الخلية النباتية :

على الرغم من تعدد الوظائف التخصصية للخلايا النباتية إلا أنها تتشابه إلى حد كبير في مكوناتها الكيمياوية وخصائصها التركيبية وعلى الرغم من تطور الأجهزة والآلات في يومنا هذا وخاصة المجاهر الالكترونية إلا أن تركيب الخلية لازال موضع جدل واسع وغير معلوم بشكل كامل حتى يومنا هذا لكن على العموم تتكون الخلية من :

أولا: البروتوبلاست protoplast ويشمل:

أ- **مكونات بروتوبلازمية (البروتوبلازم):** ويشمل السايتوبلازم الذي يتكون من (البلازما الأساس ، الشبكة الأندوبلازمية، الأغشية البلازمية ، الخيوط السايتوبلازمية) الرايبوسومات ، النواة ، البلاستيدات ، المايتوكندريا ، جهاز كولجي ، الأجسام الكروية ، الأجسام الدقيقة والأنابيب الدقيقة.

ب-**مكونات غير بروتوبلازمية** : وتشمل الفجوات والمواد غير الحية (النشاء ، البروتين ، دهن ، بلورات ، تانينات ، أشباه القلويات ، صبغات).

ثانيا: جدار الخلية Cell wall : وهو الغلاف القوي الذي يحيط ببروتوبلاست الخلية.

أ- **المكونات البروتوبلازمية (البروتوبلازم):** Protoplasm :

يقصد بالبروتوبلازم المادة الحية للخلايا وهو عبارة عن مادة هلامية غير متجانسة تتكون من محلول غروي متجانس نسبيا يعرف بالسايتوبلازم ومكونات أخرى أكثر كثافة تسمى بأعضاء الخلية cell organelles والمتمثلة بـ:

(1) بالنواة .
(2) الرايبوسومات.
(3) البلاستيدات .
(4) المايتوكندريا.
(5) جهاز كولجي .
(6) الأجسام الكروية.
(7) الأجسام الدقيقة .
(8) الأنابيب الدقيقة.

يتميز البروتوبلازم بطبيعته الغروية على الرغم من وجود كثير من المواد الذائبة فيه وترجع هذه الطبيعة الغروية للبروتوبلازم لوجود البروتينات حيث تتيح البروتينات سطوح مساحية غير محدودة والتي تساعد على وجود الظروف الضرورية للادمصاص والحركة الكيمياوية ومن ثم انجاز التفاعلات اللازمة للحياة وعلى هذا يعتبر النظام الغروي أساس لمظاهر المادة الحية (البروتوبلازم).

يملأ البروتوبلازم جميع أجزاء الخلية الفتية في حين يكون على شكل شريط مبطن لجدار الخلية من الداخل في حالة الخلايا البالغة وتتوسطه فجوة عصارية واحدة كبيرة أو عدة فجوات صغيرة .

يمتاز البروتوبلازم بـ:

(1) حركته الانسيابية حيث يتحرك في عدة اتجاهات داخل الخلية ومن خلية إلى أخرى خلال الخيوط أو القنوات السايتوبلازمية التي تربط الخلايا مع بعضها البعض.

(2) مقدرته على التحسس والاستجابة للمؤثرات الخارجية كالمؤثرات الميكانيكية والطبيعية والكهربائية وغيرها.

س: ما هي ميزات البروتوبلازم ؟

1- الحركة الانسيابية .....

2-الإحساس والاستجابة.....

وظائف البروتوبلازم:

1- القيام بكافة عمليات التحول الغذائي metabolism والتي تشمل كل من عمليات البناء anabolism وعمليات الهدم catabolism بفعل الأنزيمات المتواجدة فيه.

2- القيام بعمليات النمو growth في مناطق النمو كالقمم النامية للسيقان والجذور والكامبيوم الوعائي والفليني والتي ينتج عنها زيادة حجم النبات طولا وعرضا وحجما.

3- القيام بعمليات التكاثر reproduction والتي ينتج عنها زيادة وحدات البروتوبلازم وإنتاج وحدات حية مشابهه للنوع النباتي وبذلك تساعد على حفظ النوع (زيادة عدد النباتات).

المكونات الكيمياوية للبروتوبلازم ونسبها:

1-الماء يشكل 75- 80 % من المكونات.

2-البروتينات تشكل 1-20 %.

3-الدهون تشكل 2-3%.

4-الكربوهيدرات تشكل 10%.

5-الاملاح وبعض المواد العضوية الاخرى كالفيتامينات والهرمونات والحوامض النووية وتشكل 1%.

على الرغم من ان الماء يشكل النسبة الكبرى من مكونات البروتوبلازم الا ان البروتين يعتبر المكون الاكثر اهمية ويعطي البروتوبلازم خصائصه المميزة لانه يدخل في تركيب (السايتوبلازم , النواة , البلاستيدات , المايتوكندريا , الانزيمات , الاغشية الخلوية) اما الدهون فتلعب دور في تركيب الاغشية الخلوية في حين تمثل الكربوهيدرات مصدر للطاقة .

المكونات العضوية للبروتوبلازم وتشمل :

1) السايتوبلازم cytoplasm

وهو المادة الأساسية المكونة للبروتوبلازم ويتكون من :

أ- البلازما الأساسي ground plasm (السايتوبلازم الشفافcleare cytoplasm).

ب–الاغشية البلازمية plasma membranes (الاغشية الخلوية cellar membranes).

ج–الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum .

د– الخيوط السايتوبلازمية (القنوات السايتوبلازمية) plasmodesmata .

أ) **البلازما الاساس** :عبارة عن محلول غروي حقيقي يختلف في لزوجته باختلاف :

1)الخلية . 2) نوعها . 3) عمرها .

ويحتوي على الماء بنسبة عالية تتراوح مابين 85–90% في الخلايا النشطة فسيولوجيا في حين تنخفض نسبة الماء فيه إلى حد 15–20% في الخلايا الغير نشطة فسيولوجيا كخلايا البذور وقد تصل إلى حد 4 % وفي هذه الحالة يفقد السايتوبلازم خاصية الانسياب التي يمتاز بها بالإضافة إلى الماء يتكون البلازما الأساس من أنواع مختلفة من البروتينات والدهون في حالة غروية وسكريات وأملاح في حالة ذائبة وهو يمثل المحلول الذي ينغمس فيه بقية أجزاء السايتوبلازم والخلية .

العوامل المؤثرة على فعالية السايتوبلازم :

1– درجة الحرارة : حيث أن ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى قلة فعالية السايتوبلازم وربما انعدامها وذلك بسبب تأثيره على هيئة وتركيب البروتين المكون له وحركة جزيئات الماء.

2– توفر O_2 : حيث تنعدم فعالية السايتوبلازم وخاصة الحركة الانسيابية بغياب الـ O_2 .

3– المواد السامة والمخدرة : تعمل على تقليل أو انعدام فعالية السايتوبلازم .

4– تغير الـ PH : بما أن السايتوبلازم يتكون من البروتينات فانه يحمل شحنه كهربائية وهذه تتغير بتغير الـ PH وكما موضح ادناه :

$$R-\underset{\underset{NH_3^+}{|}}{CH}-COOH \xleftarrow[\text{زيادة ايون } H^+]{\text{انخفاض رقم الـ PH}} R-\underset{\underset{NH_3^+}{|}}{CH}-COO^- \xrightarrow[\text{زيادة جذر } OH^-]{\text{ارتفاع رقم الـ PH}} R-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-COO^-$$

نقطة التعادل الكهربائي (PH=4.5 – 5)

فعند نقطة التعادل الكهربائي للسايتوبلازم والتي تتراوح مابين 4,5–5 لمعظم الخلايا يكون السايتوبلازم متعادل الشحنة ولما كان الـ PH لمعظم الخلايا النباتية يتراوح مابين 6,8 – 7,5 لذا فان سايتوبلازم معظم الخلايا النباتية يحمل شحنة سالبة .

وظائف السايتوبلازم :

1- محلا لحدوث تفاعلات التحلل السكري(إحدى مراحل التنفس) والفسفرة الضوئية (إحدى مراحل التركيب الضوئي) .

2- محلا لحدوث تفاعلات تكوين الكربوهيدرات والبروتينات والأحماض الشحمية (دهون).

ب) الأغشية البلازمية : plasma membranes (الأغشية الخلوية Celler membranes) :

وهي عبارة عن أغشية رقيقة حية اختيارية النفاذية لها القدرة على التحكم في دخول الذائبات والمذيبات من خلالها كما أنها تحتوي على أنزيمات وحاملات ايونات وجزيئات تساعد على نفاذ ايونات وجزئيات خاصة في اتجاه عكسي بالنسبة للاتجاه الطبيعي لمنحدر التركيز وذلك تبعا لاحتياجات الخلية وهذا ما يعرف بالنقل النشط، كما تتميز الأغشية الخلوية بمرونتها وقدرتها على تجديد ما يتلف منها وتتواجد حول أعضاء السايتوبلازم اما بصورة مزدوجة كما في حالة النواة , البلاستيدات , المايتوكندريا , جهاز كولجي أو بصورة مفردة كما في حالة الجسام الكروية ,الأجسام الدقيقة والأنابيب الدقيقة وبذلك تفصلها نسبيا عن ما يحيط بها من السايتوبلازم وبالإضافة إلى ما سبق تتواجد الأغشية الخلوية اما بصورة مفردة كما في مناطق تلامس السايتوبلازم مع الجدار الخلوي وتكون مغلفة له من الخارج وتعرف بالأغشية البلازمية الخارجية (plasma lemma or ectoplast) او بصورة مزدوجة كما في مناطق تلامس السايتوبلازم مع الفجوات العصارية وتحدده من الداخل وتعرف بالأغشية البلازمية الفجوية Tonoplast أي ان السايتوبلازم يكون مغلف من الخارج والداخل بالأغشية البلازمية الخارجية والفجوية على التوالي وكما موضح بالرسم :

تصميم الأغشية البلازمية (الأغشية الخلوية)

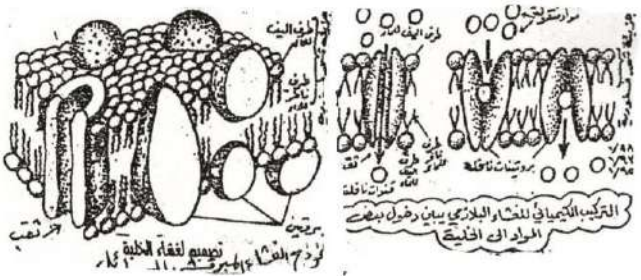
من الناحية الكيمياوية تتركب الأغشية البلازمية من البروتين والدهون إذ يقوم الجزء البروتيني من الغشاء بتنفيذ الماء والمواد القطبية بينما ينفذ الجزء الدهني المواد غير القطبية فقط.

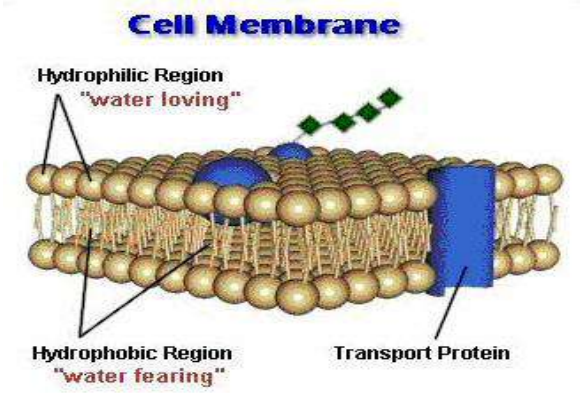
لقد اقترحت عدة نماذج لتفسير كيفية تركيب الاغشية الخلوية لكن أكثرها رواجا هو:

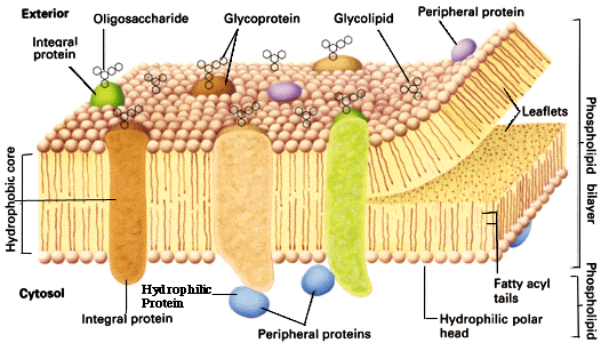
أ-) نموذج الغشاء الساندويجي الموضوع من قبل danielli and darson عام 1935 الذي يصور الاغشية الخلوية على شكل طبقتين من البروتين تحصر بينهما طبقتان من الدهن وبشكل يشبه الساندويج وكما موضح بالرسم (أ ادناه) وبموجبه تسمح الدهون (اللبيدات) الموجودة بالغشاء بمرور المواد اللاقطبية Nonpolar (التي لا تحمل شحنة على سطحها) في حين تسمح طبقتي البروتين بمرور المواد القطبية (التي تحمل شحنة على سطحها) وهذا النموذج لا يوجد في جميع التراكيب الغشائية كما انه لا يفسر ديناميكية التغيرات في نفاذية الاغشية إلا انه يمدنا بقواعد تقودنا لفهم تراكيب الاغشية.

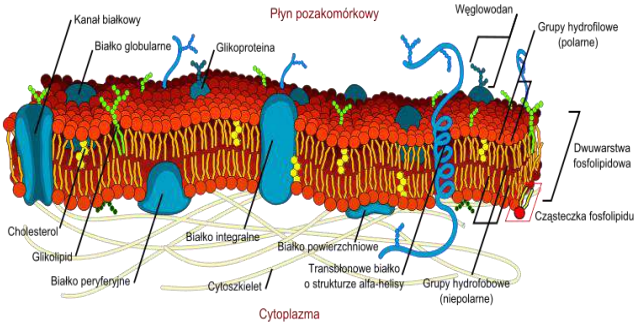
ب-) نموذج الغشاء المبرقش السائل المقترح من قبل colsou and siger عام 1972 وهو الأكثر قبولا في يومنا هذا والذي يصور الاغشية الخلوية على شكل طبقتين هما الدهنية بذيولها الهيدروكاربونية الكارهة للماء المتجهة للداخل والبروتينات ذات الأجسام الكبيرة التي تتواجد على سطح الغشاء وبداخله وكما موضح بالرسم ادناه.

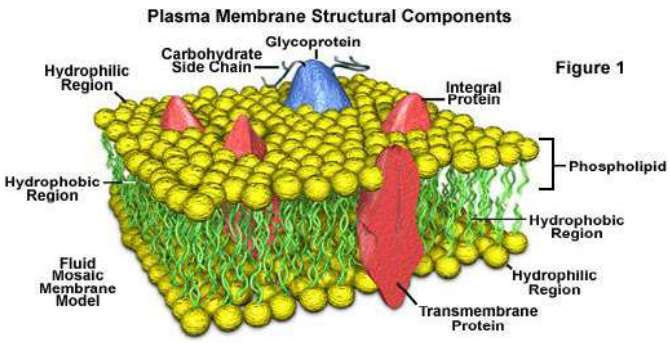
بموجب النموذج الأخير تتكون طبقة الدهن من جزيئات دهن متراصة في صفين بجانب بعضهما البعض ويتخللها جزيئات بروتين في بعض المناطق في حين تتكون طبقة البروتين من جزيئات بروتين منفصلة. والمركبات البروتينية ربما تكون تركيبية أو إنزيمات وتختلف جوهريا من عضو لآخر أو من غشاء لآخر أو بين وجهي نفس الغشاء هذا بالإضافة إلى أن كل المكونات وبضمنها المنطقة السطحية ربما تتغير كاستجابة التغيير في النفاذية والنشاط الأنزيمي على السطح الخلوي وبالتالي فان البروتينات لا تكون مثبتة ولكن ربما طافية في وعلى الدهون وهي التي تتحكم بمرور المواد عبر الغشاء من الخلية واليه يوصف هذا الغشاء بأنه شبه نفاذ.




Cell Membrane
Hydrophilic Region
"water loving"
Hydrophobic Region
"water fearing"
Transport Protein


Exterior
Oligosaccharide
Glycoprotein
Glycolipid
Peripheral protein
Integral protein
Leaflets
Phospholipid bilayer
Hydrophobic core
Cytosol
Hydrophilic Protein
Integral protein
Peripheral proteins
Fatty acyl tails
Hydrophilic polar head
Phospholipid

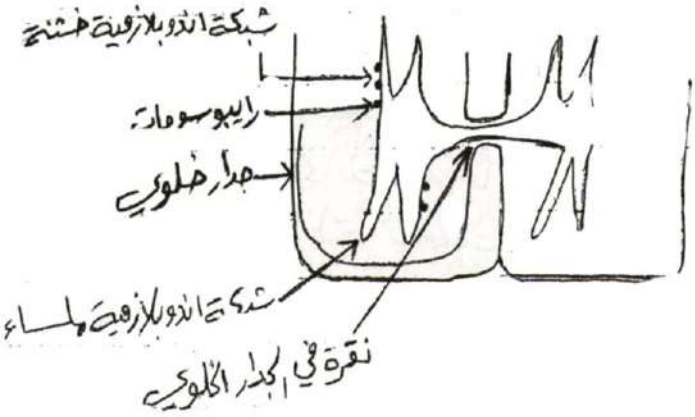

Płyn pozakomórkowy
Kanał białkowy
Białko globularne
Glikoproteina
Węglowodan
Grupy hydrofilowe (polarne)
Dwuwarstwa fosfolipidowa
Cząsteczka fosfolipidu
Cholesterol
Glikolipid
Białko peryferyjne
Białko integralne
Białko powierzchniowe
Transbłonowe białko o strukturze alfa-helisy
Cytoszkielet
Grupy hydrofobowe (niepolarne)
Cytoplazma

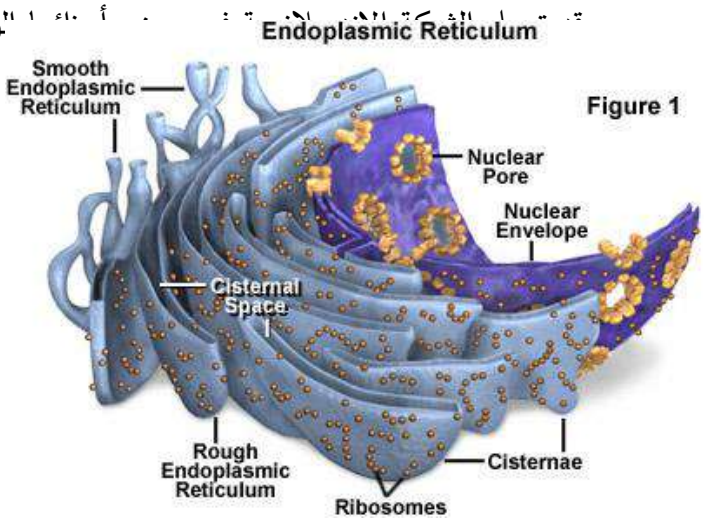

Plasma Membrane Structural Components
Figure 1
Glycoprotein
Carbohydrate Side Chain
Hydrophilic Region
Integral Protein
Phospholipid
Hydrophobic Region
Hydrophobic Region
Hydrophilic Region
Fluid Mosaic Membrane Model
Transmembrane Protein

ج-) الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic Reticulum

هي شبكة أنابيب وحويصلات دقيقة تنتشر في البلازما الأساس (السايتوبلازم الشفاف)وتجزئه إلى العديد من الغرف الصغيرة والذي بدوره يؤدي إلى فصل الأنزيمات المختلفة بعضها عن البعض مما يسهل حدوث التفاعلات الحيوية بصورة مختلفة.

[illegible] الرايبوسومات وبذلك تبدو خشنة الملمس وبعكسها تكون





وظائف الشبكة الاندوبلازمية :

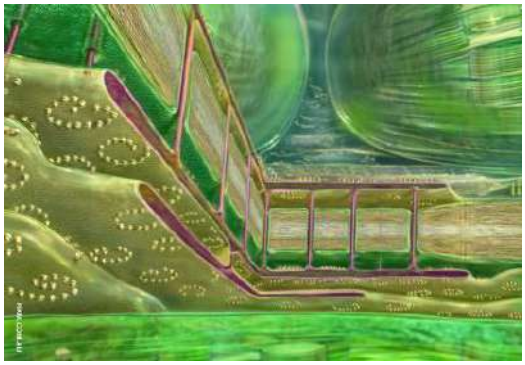
1- يعتقد أنها تكون الغشاء النووي خلال عملية الانقسام الخيطي الرئيسية.

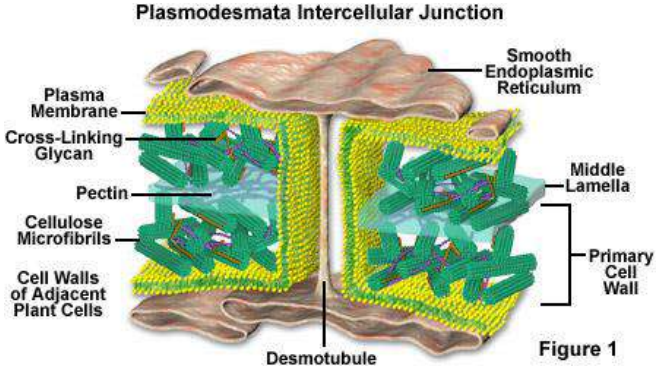
2- توصيل الخلايا مع بعضها البعض من خلال الخيوط أو القنوات السايتوبلازمية التي تخترقها وبذلك تسهل حركة المواد الحيوية والغذائية من خلية إلى أخرى.

3- تصنيع بعض المواد الحيوية كالبروتينات التي تصنع في الشبكة الاندوبلازمية الخشنة من قبل الرايبوسومات .

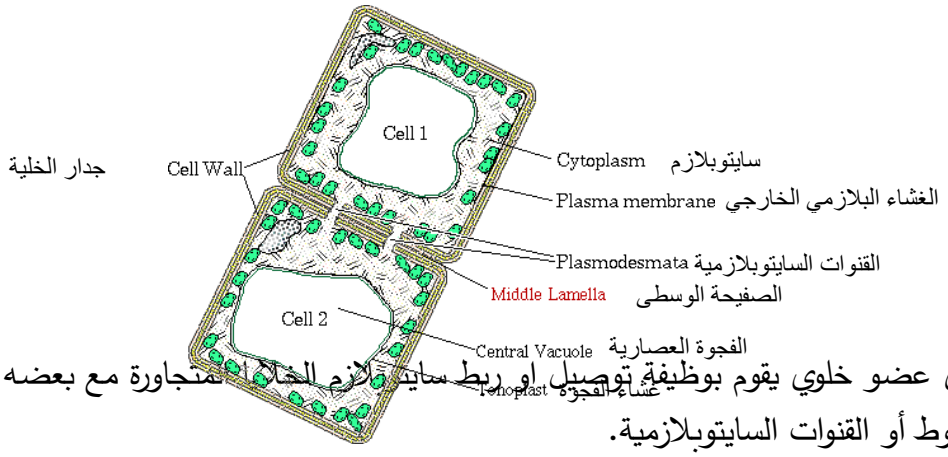
د-) الخيوط أو القنوات السايتوبلازمية plasmodesmata

نوع من الخيوط او القنوات التي تخترق الشبكة الاندوبلازمية وتعمل على توصيل الخلايا مع بعضها البعض وتساعد على نقل المواد الحيوية والغذائية من خلية الى اخرى وبذا تعمل على ربط السايتوبلازم للخلايا المتجاورة مع بعضه .





القناة السايتوبلازمية



س)) أي عضو خلوي يقوم بوظيفة توصيل او ربط سايتوبلازم الخلايا المتجاورة مع بعضه ؟

ج) الخيوط أو القنوات السايتوبلازمية.

2) الرايبوسومات Ribosomes:

أجسام بروتوبلازمية متناهية في الدقة قد توجد بشكل حر في السايتوبلازم او مرتبطة على أسطح الشبكة الاندوبلازمية الخشنة كما توجد في داخل البلاستيدات الخضراء والانوية والمايتوكندريا. وظيفتها تخليق البروتين.

3) النواة nucleus:

جسم كروي أو بيضوي يوجد سابح في السايتوبلازم الشفاف وتمثل مركز السيطرة على جميع الفعاليات الحيوية التي تحدث في داخل الخلية وذلك لكونها تسيطر على عملية بناء الانزيمات التي تنشط معظم او ربما كل التفاعلات الحيوية في الخلية وهي تتكون من:

أ-)البرتوبلازم النووي nucleo plasm او مايسمى بالعصير النووي nuclear sap .

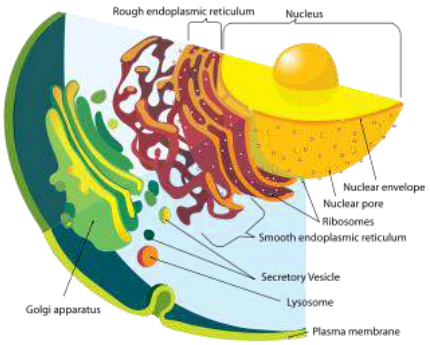
وهو عبارة عن مادة هلامية كثيفة غنية بالبروتينات والبروتينات الدهنية و RNA .

ب-) الغشاء النووي Nuclear Envelope :

وهو غشاء مزدوج يحيط بالعصير النووي اومايسمى بمحتويات النواة ويحتوي على ثقوب يتم من خلاله تبادل المواد بين النواة والسايتوبلازم .

ج-) النوية nucleolus: وهي عبارة عن جسم كروي سابح في العصير النووي وتتكون من الـ RNA والبروتينات وقليل من الـ DNA وهي تمثل مواقع لصنع RNA والبروتينات.

د-) الشبكة الكروماتينية chromatic reticulum: وهي عبارة عن نظام شبكي ذو خيوط دقيقة جدا متداخلة مع بعضها تقوم بتكوين الكروموسومات التي تحمل الجينات (أي العوامل الوراثية).



وظائف النواة :

1) نقل المعلومات الوراثية من جيل إلى آخر .

2) تتحكم في جميع العمليات الحيوية التي تحدث في الخلايا وذلك لاحتوائها على الـ RNA الذي يحدد بناء البروتينات بأنواعها المختلفة وبضمنها الأنزيمات .

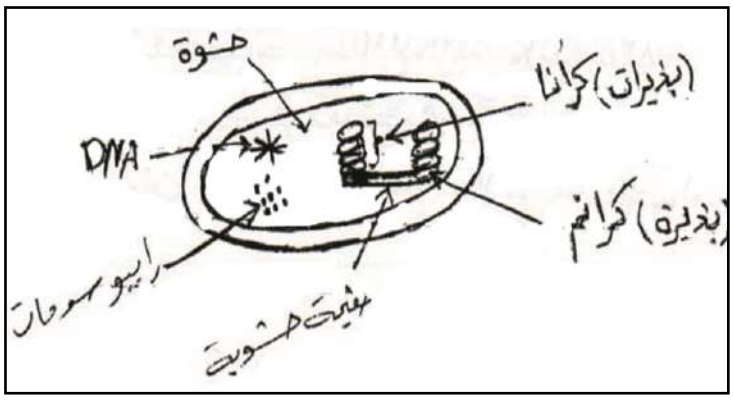
4)البلاستيدات plastids

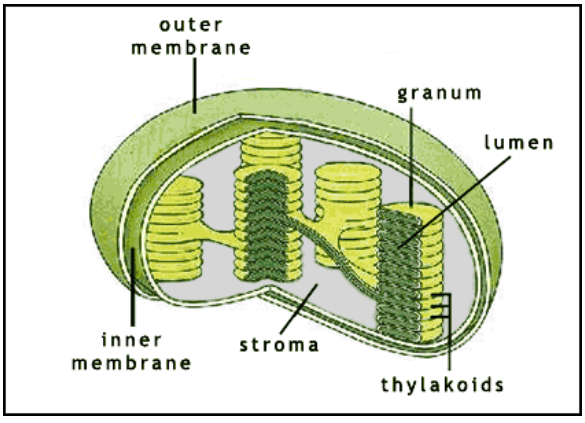
أجسام بروتوبلازمية لها القدرة على الانقسام والنمو دون أن ترتبط بعملية انقسام الخلية الموجودة فيها وتقسم حسب وجود أو عدم وجود الصبغات فيها إلى:

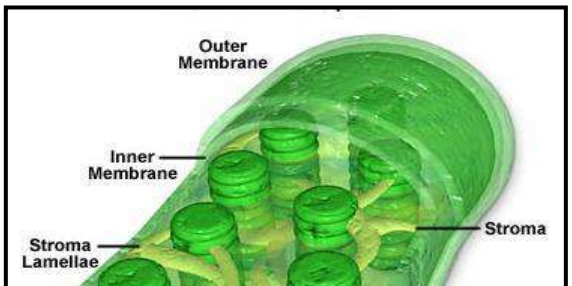
أ-**البلاستيدات عديمة اللون** : وهي بلاستيدات لا تحتوي على صبغات وتوجد في الخلايا النباتية غير المكتملة النمو وكذلك في الخلايا غير المعرضة للضوء مثل درنات البطاطا وظيفتها تكوين وخزن النشا والزيوت .

ب-**البلاستيدات الملونة**: وتكون ذات ألوان مختلفة عدا الأخضر (كالأصفر والبرتقالي والأحمر) حيث يتوقف اللون على نوع الصبغة الموجودة في البلاستيدات وكميتها .هذه البلاستيدات هي المسؤولة عن اللون في الأزهار والثمار والجذور وتلعب دور في عملية التركيب الضوئي ويعتقد بأنها تساعد في جذب الحشرات لتسهيل عملية التلقيح .

ج- **البلاستيدات الخضراء**: وتوجد في اوراق النباتات والاغصان والسيقان الخضراء وتحدث فيها تفاعلات التركيب الضوئي وتصنيع الغذاء .

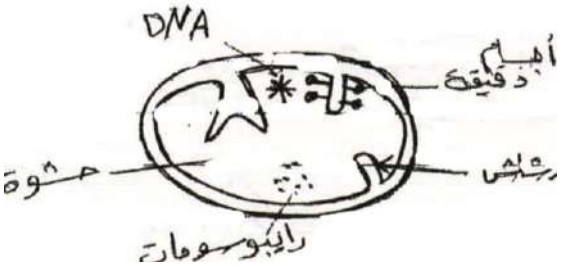






5) المايتوكندريا Mitochondria:

اجسام بروتوبلازمية لها القدرة على الانقسام والتكاثر دون ان ترتبط بعملية انقسام الخلية الموجودة فيها وتوجد مبعثرة في السايتوبلازم وتسمى ببيوت الطاقة لان الجزء الاكبر من الطاقة المستعملة في الخلية يتم تحضيرة بواسطتها حيث تتحرر الطاقة منها نتيجة الاكسدة الحيوية للكربوهيدرات والدهون والبروتينات وتخزن بشكل اواصر فوسفاتية ذات طاقة عالية مثل مركب ادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) والذي يعتبر اكثر المركبات اهمية علما بان فائدة خزن الطاقة في هذه المركبات هو امكانية تحريرها واستغلالها بسهولة عند الحاجة لها لغرض تسييرالتفاعلات التي تستهلك طاقة في الخلية.



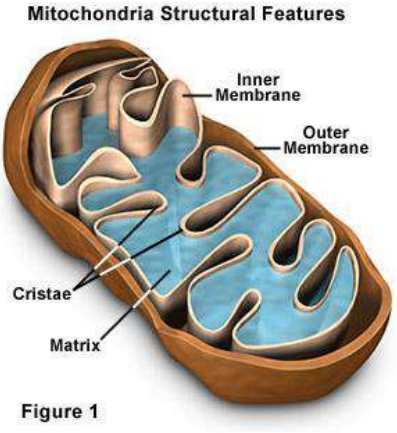


Figure 1

تحاط المايتوكندريا بغشائين الخارجي املس والداخلي تمتد فية بروزات الى الداخل لتكون مايسمى الرشاشات وعلى الرشاشات يوجد العديد من الجسيمات الدقيقة التي تحتوي الانزيمات اللازمة لتحويل مركب ادينوسين ثنائي الفوسفات ADP الى ثلاثي الفوسفات ATP والانزيمات اللازمة لدورة كربس وكذلك انزيمات نقل الالكترون وانزيمات السايتوكروم والانزيمات اللازمة لهدم الشحوم.

س) ماهي الانزيمات التي تحتويها المايتوكندريا ؟

1-الانزيمات التي تحول ADPالى ATP.

2-الانزيمات اللازمة لدورة كربس.

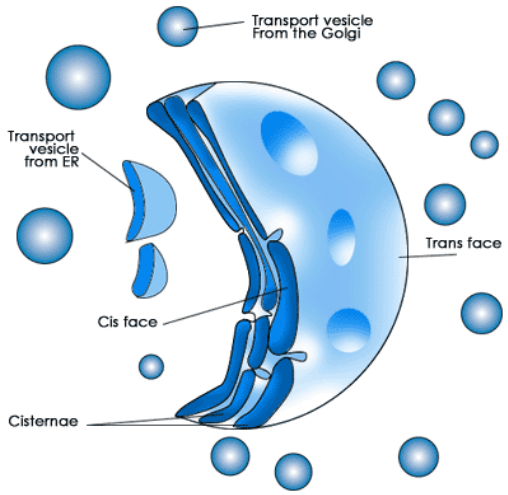
3- انزيمات نقل الالكترون .

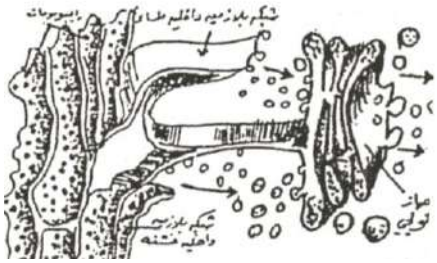
4-انزيمات السايتوكروم .

5- الانزيمات اللازمة لهدم الشحوم .

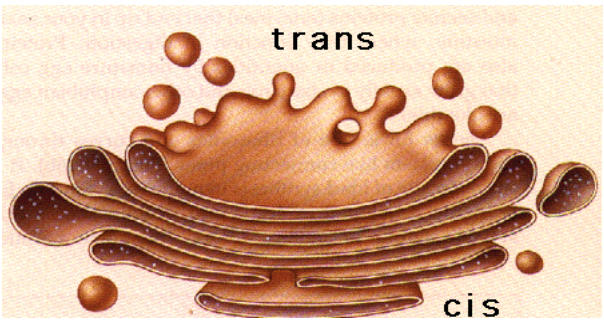
6) جهاز كولجي : Golgi Apparatus

يظهر تحت المجهر على شكل مجموعة من الاجسام تنتشر في البلازما الاساس يتكون كل منها من مجموعة اقراص جوفاء تسمى سستراني Cistranae تحتوي بداخلها مركبات عديدة كالبروتينات والكربوهيدرات والوظيفة الاساسية لجهاز كولجي هي الافراز ويعتقد بان له علاقة مع عملية بناء الغشاء البلازمي والجدار الخلوي والفجوة العصارية .





جهاز كولجي الشبكة الاندوبلازمية



7) الاجسام الكروية Spherosomes :

جسيمات بروتوبلازمية كروية الشكل تتواجد فيها انزيمات التحلل التي تعمل على تكسير الجزيئات الكبيرة كالشحوم والبروتينات والاحماض النووية ومركبات ATP .

8) الأجسام الدقيقة Microbadies :

جسيمات سايتوبلازمية كثيفة يوجد بداخلها بعض الأنزيمات التي تقوم بتحويل الدهون الى كربوهيدرات وأنزيم الكتاليز catalase الذي يحلل بيروكسيد الهيدروجين ويعتقد بأنها تلعب دور في عملية التنفس الضوئي .

9) الأنابيب الدقيقة Micro tubules :

وهي جسيمات قضيبية الشكل يعتقد بأنها تحدد مكان انقسام النواة وتؤثر في اتجاه الحركة الانسيابية للسايتوبلازم .

س) أي عضو خلوي يؤثر في اتجاه الحركة الانسيابية للسايتوبلازم ؟

ج)الأنابيب الدقيقة .

ثانيا- ب -المكونات غير االبروتوبلازمية : وتشمل:

1- **المواد غير الحية** : هي مكونات غير حية لاتدخل في تركيب البروتوبلازم بل توجد فيه بشكل ذائب وغير ذائب في عصير الفجوات او في السايتوبلازم وتشمل نواتج العمليات الحيوية ووجودها في السايتوبلازم غير مرغوب فيه لتأثيرها الضار عليه ومنها مايلي :

1.حبيبات النشا.

2. البروتينات.

3. الدهون والزيوت .

4. البلورات .

5. التانينات .

6. الصبغات .

7. القلويدات (اشباه القلويات).

2-**الفجوات** : Vasscular

تجويف او مجموعة تجاويف في السايتوبلازم مملوءة بسائل يسمى العصير الخلوي. يوجد في الخلايا المرستيمية والفتية (غير الناضجة) عدة فجوات صغيرة الحجم ويشغل السايتوبلازم معظم حجم الخلية

(يكون90% من حجم الخلية) في حين تتحد هذه الفجوات مع بعضها البعض في الخلايا البالغة لتكون فجوة واحدة كبيرة تشغل 90% من حجم الخلية.

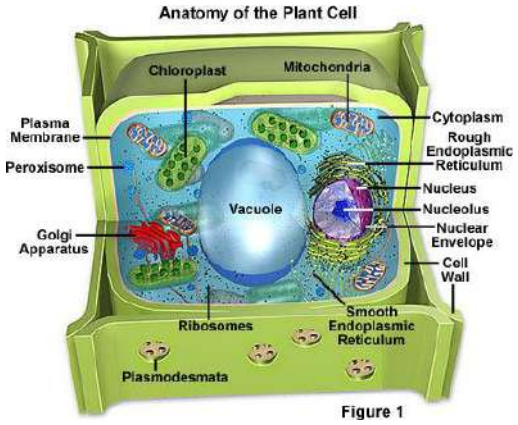


Figure 1

س) ما هو اسم السائل الموجود داخل الفجوة ؟

ج) العصير الخلوي.

وظائف الفجوة العصارية :

1- تعد المكان الرئيسي لتجمع نواتج التفاعلات الحيوية

2- تعتبر وسيلة من وسائل الافراز والاخراج .

3- تحافظ على الضغط الانتفاخي للخلية وتؤثر على الضغط الازموزي وبالتالي تلعب دور في دخول الماء وخروجه من والى الخلية وبذلك تتحكم في صلابة الخلية ومن ثم النبات .

ثانيا :الجدار الخلوي Cell wall :

هو الغلاف القوي والنصف متصلب الذي يحيط ببروتوبلاست الخلية ويعتقد بانه غير حي لكن اكتشاف بعض الاحماض الامينية كالبرولين والهايدروكسي برولين في الوقت الحاضر في مكونات الجدار الخلوي ادى الى زيادة احتمالية كونه حي ويمثل جزء من اجزاء البروتوبلازم .

تنتظم المكونات العضوية المكونة للجدر الخلوية بشكل يجعلها قوية الى حد كبير مع احتفاظها بدرجة عالية من المرونة تجعلها قابلة للتمدد والانضغاط او الانثناء دون تصدع اوتكسر ولهذا فان السيقان والاوراق والاعناق الورقية واجزاء النبات الاخرى قد تنحني بفعل الرياح الا انها تعود الى سابق شكلها دون اي تضرر.

يبدأ تكوين الجدار الخلوي في الطور النهائي Telophase للانقسام غير المباشرالميتوزي mitosis حيث تهاجر الانابيب الدقيقة واقسام من الشبكة الاندوبلازمية وجهاز كولجي في اتجاه المنطقة الاستوائية في وسط الخلية وتكون غشاء يفصل بين البروتولاستين الناشئين يعرف بالصفيحة الخلوية Cell

plate التي تتحول الى جدار بكتيني يعرف بالصفيحة الوسطى middle lamella بعد ان تترسب عليها بكتات الكالسيوم وبكتات المغنيسيوم.

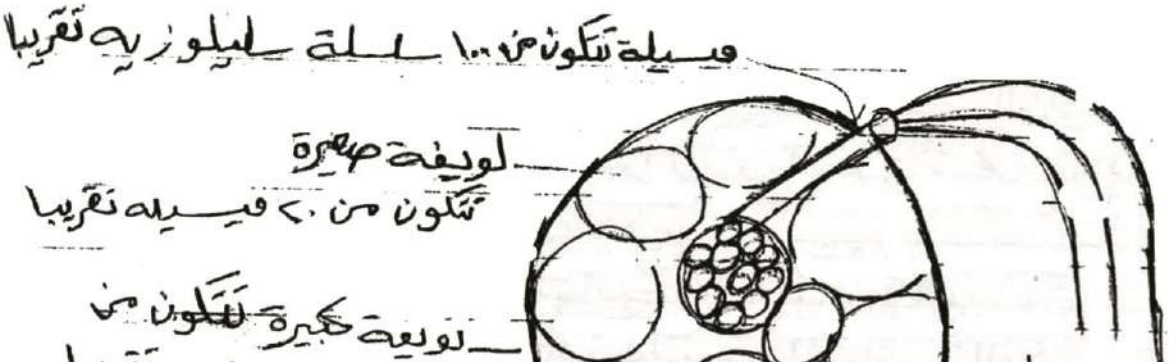
خلال نمو الخلية البنوية (البنتية) تترسب مواد أخرى عن طريق البروتوبلاست في صورة طبقات متتابعة على الصفيحة الوسطى مكونة الجدار الابتدائي primary wall والذي يتكون أساساً من السيليلوز الهيمسيليلوز والبكتين ويتميز بمرونته العالية ورقته وقابليتة على الانثناء والنمو والتمدد والتغير في السمك.

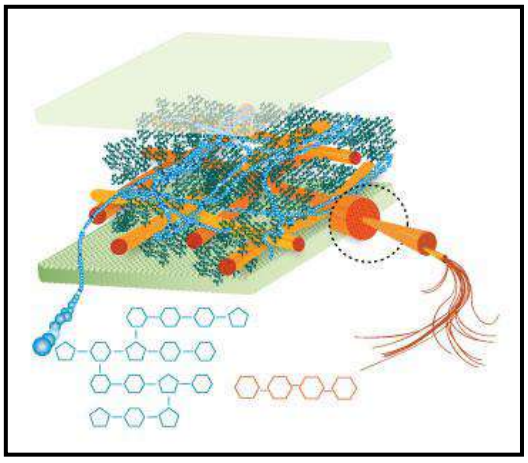
في بعض الاحيان قد يتوقف نمو الخلية بعد تكوين الجدار الابتدائي كما في حالة الخلايا البرنكيمية وفي هذه الحالة يرسب البروتوبلازم مواد اضافية في الجدار الابتدائي كالسوبرين والكيوتين لمنع تبخر الماء ونفاذيته من الخلية الا انه في الكثير من الخلايا النباتية الاخرى يترسب جدار ثانوي secondary wall بواسطة البروتوبلاست على الجدار الابتدائي بعد ان تصل الخلية الى حجمها النهائي ويتميز هذا الجدار بسمكه الذي يفوق سمك الجدار الابتدائي بعدة مرات وقلة (مرونته وقابلية انثناءه) مقارنتا مع الجدار الابتدائي.

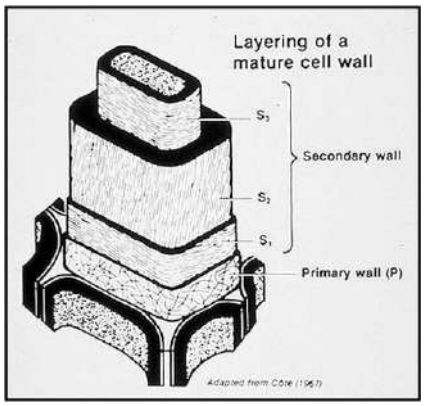
ترجع مرونة الجدر الابتدائية إلى انخفاض نسبة السيليلوز المتبلور فيها وارتفاع نسبة السيليلوز غير المتبلور وبالعكس بالنسبة للجدر الثانوية .

عادة لا يحدث ترسيب الجدار الثانوي بشكل منتظم على جميع أسطح الجدار الابتدائي مما يؤدي إلى تكوين مناطق منخفضة تسمى بالنقر على الجدر الخلوية والتي قد تنتشر على مساحات واسعة من أسطح الجدران الخلوية وتتقابل مع بعضها البعض في الخلايا المتجاورة مما يسهل اتصال هذه الخلايا مع بعضها من خلال الخيوط السايتوبلازمية التي تجتازها عبر هذه النقر .

تعزى الصفات الفيزياوية للجدر الخلوية غالبا إلى السيليلوز الذي يمثل احد المكونات الرئيسية التي تدخل في بناء هيكلها التركيبي وهو عبارة عن مادة عديدة التسكر تتكون من جزيئات متكررة من سكر الكلوكوز التي تنظم بشكل سلاسل أو خيوط حيث لوحظ بأن انتظام السيليلوز في الجدار الخلوي يتركز على زيادة التعقيد حيث يبدأ بسلسلة بسيطة من السيليلوز التي تتجمع في حزم تفصلها فراغات لتكون الميسيلة micelle ومن ثم تتجمع هذه الحزم أو الميسيلات في لويفات صغيرة micro fibril تفصلها أيضا فراغات ومن ثم تتجمع اللويفات الصغيرة في الجدر الثانوية في لويفات كبيرة macro







الشكل (1) : يوضح كيفية انتظام السيليوز في بناء الجدار الخلوي .

الفروقات ما بين جدار الخلية الابتدائي والثانوي :

مواد المقارنة	الجدار الابتدائي	الجدار الثانوي
1–المادة المكونة:		
أ–سيليلوز .	نسبة واطئة 10%	نسبة عالية 50%
ب–هيميسيليلوز.	نسبة عالية	نسبة واطئة
ج–بكتين .	نسبة عالية	نسبة واطئة
2– مدى المرونة	نسبيا عالية	نسبيا واطئة
3– تنظيم اللويفات	مبعثرة	مرتبة في طبقات وملتفة حول بعضها
4– طول سلاسل السيليلوز	قصيرة ~0.5 ما يكرون	طويلة ~5–10 مايكرون

5- طريقة إضافة مواد النمو	تراكم سطحي وتداخل	تراكم سطحي

وظائف جدار الخلية :

1- المساندة الميكانيكية للخلية بإعطائها القوة والصلابة .

2- التوسط في تبادل الايونات مابين الخلية والتربة .

3- حماية وحفظ مكونات الخلية من مؤثرات المحيط الخارجي .

4- المساعدة في نمو الخلية عن طريق مرونة جدار الخلية الاولي .

س) ما هو الفرق بين الجدار الخلوي والغشاء البروتوبلازمي ؟

الجواب :

الغشاء البلازمي	الجدار الخلوي
1-رقيق جدا لا يرى إلا تحت المجهر الالكتروني.	1-أكثر سمكا ويكمن أن يشاهد تحت المجهر الضوئي.
2-يتركب من البروتين والشحوم المفسفرة.	2-يتركب من السيللوز والهيميسيليلوز والبكتين.
3-اختياري النفاذية .	3-تام النفاذية .
4- مرن وحي .	4-غير مرن وغير حي .
5-يتواجد في الخلايا النباتية والحيوانية .	5-يتواجد في الخلايا النباتية فقط.
6-وظيفته تنظيم تبادل الماء والمواد الذائبة فيه مابين الخلية والمحيط الخارجي.	6- وظيفته الحماية والمحافظة على البروتوبلازم داخل الخلية.
7-سمكه ثابت	7- يختلف سمكه ومكوناته باختلاف النبات ومواضع الخلايا ونشاطها.

يطلب عمل تقرير عن كل مما يلي :

1- رسم الخلية النباتية مع التأشير على الأجزاء .

2- تعداد وشرح بسيط للمكونات الكيمياوية لجدار الخلية .

3- تعداد وشرح المكونات غير الحية في الخلية .

4- تعداد وشرح بسيط للنظريات التي تفسر نمو الخلية .

أهمية البروتينات للخلية النباتية د. عبد العظيم ص11

تعد البروتينات من المكونات الأكثر أهمية لأي خلية للأسباب التالية:

1) تعتبر المركب الأساسي الذي يدخل في تركيب:

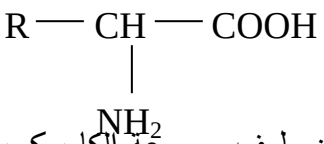
أ- السايتوبلازم، البلاستيدات، النواة، المايتوكندريا، الأنزيمات، الأغشية الخلوية وأعضاء أخرى من الخلية.

2)تعتبر من الغرويات المحبة للماء.

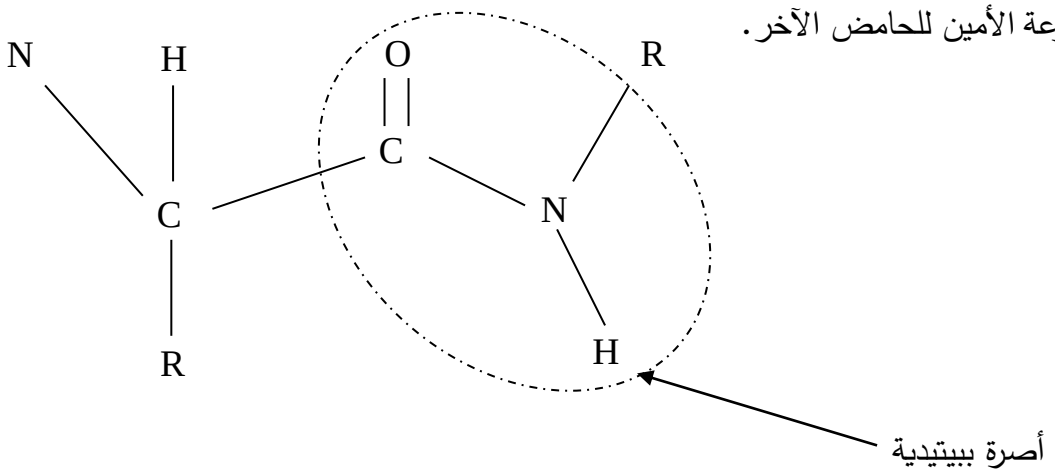
3)البروتينات الذائبة والأحماض الامينية تعتبر محاليل منظمة .

4)تلعب الأحماض الامينية دور حامض او قاعدة حسب ظروف التفاعل كونها مواد امفوتيرية .

5) تتكون جزيئة البروتين من تجمع الأحماض الامينية والتي يرمز لها:



إذ تتحد الأحماض الامينية مع بعضها من طرف مجموعة الكاربوكسيل COOH لأحد الأحماض مع الـ NH_2 لمجموعة الأمين للحامض الآخر.



المحاضرة 2
المحاليل والحموضة والمحاليل المنظمة

تحدث معظم العمليات الفسيولوجية في الخلايا الحية في اوساط مائية مختلفة الطبيعة والتركيز لذلك يجب دراسة وفهم الحالات الفيزيائية و الكيمياوية للماء في الخلية .

انواع المحاليل :
يمكن تقسيم المحاليل الى انواع وذلك حسب :

أولاً - حالات المادة الفيزيائية لكل من المذيب والمذاب وكما يلي :

	المادة المذابة	المادة المذيبة	مثال
1-	غاز	سائل	CO_2 أو O_2 في الماء
2-	سائل	سائل	الكحول في الماء
3-	صلب	سائل	سكر او ملح الطعام في الماء
4-	غاز	غاز	CO_2 أو O_2 في الهواء
5-	سائل	غاز	الضباب او الماء في الهواء
6-	صلب	غاز	غبار في الهواء
7-	غاز	صلب	هواء في التربة / هواء في قطعة تباشير
8-	سائل	صلب	حبر في ورق نشاف / ماء في خشبة متشربة
9-	صلب	صلب	السبائك / مزيج من دقائق التربة

ثانياً - حالة وجود المادة المذابة في المادة المذيبة وكما يلي :

1- **المحلول الحقيقي :** وفيه تتجزأ المادة المذابة في السائل المذيب الى جزيئات منفردة مثل السكر في الماء او تتحلل الجزيئات الى ايونات مثل (ملح الطعام في الماء) تنتشر بصورة منتظمة بين جزيئات المذيب وتختفي فيها تماماً ويكون المحلول الناتج متجانس وتكون جزيئات كل من المذيب والمذاب في حركة عشوائية كاملة .
يمتاز المحلول الحقيقي :-
أ- بثباته وعدم ترسب ذراته مهما طال الوقت .
ب - يمر خلال ورق الترشيح وذلك لصغر حجم الجزيئات او ايونات المادة المذابة و التي لا تزيد عن مليمايكرون واحد

2-المحلول المعلق (او المستحلب) : وفيه لاتتأثر المادة المذابة بالسائل أو المذيب عند خلطها به فاذا اختلط الرمل بالماء فسرعان مايتسرب لان دقائقه كبيرة الحجم (يسمى المحلول معلقا في حالة كون المذاب مادة صلبة كالرمل ومستحلب في حالة كون المذاب مادة سائلة كالزيت). يمتاز المحلول المعلق او المستحلب بأمكانية ترسبه مع الوقت وبعدم مرور جزيئات المذاب من خلال ورق الترشيح وذلك لكبر حجمها (اكبر من 200 مليمايكرون وامكانية ملاحظتها بالعين المجردة).

3-المحاليل الغروية : و فيه تتجزأ المادة المذابة الى وحدات صغيرة متوسطة الحجم مابين المحاليل الحقيقية و المحاليل المعلقة وتظل هذه الدقائق منتشرة في محاليلها و لا تترسب ابدا من تلقاء نفسها . يمتاز المحلول الغروي بعدم امكانية ملاحظة دقائقه بالمجهر العادي لكن ترى بالمجهر الالكتروني واحجامها تتراوح مابين (1- 20) مليمايكرون وهي تمر من خلال ورق الترشيح .

الحوامض والقواعد والاملاح :

ان المحاليل الحامضية والقاعدية والمتعادلة مهمة للخلايا الحية لان كثير من المواد الناتجة من العمليات الحيوية تعد مواد حامضة او قاعدية او متعادلة مثل الحوامض الامينة – الحوامض الشحمية – القواعد العضوية (pyrimidines , purines) وغيرها من المواد الشائعة في الخلايا والتي تلعب دور في تكوين البروتينات – الدهون – الاحماض النووية . يعرف الحامض بانه اي جزيئة أو ايون يمكنه منح بروتون (+ H) الى أي جزيئة او ايون اخر وتمتاز الحوامض بشكل عام بطعمها الحامض اللاذع و قدرتها على معادلة القاعدة مكونة ملح و ماء اما القاعدة فتعرف بانها أي جزيء او ايون له القدرة على تقبل بروتون وتتميز القواعد بشكل عام بطعمها المر اللاذع وقدرتها على معادلة الحوامض .

قوة الحامض والقاعدة :

مدى سهولة الحامض لاعطاء البروتونات عند تحلله يعد مقياس لقوة الحامض كما ان قوة القاعدة تعتمد على مدى تقبلها او تسلمها للبروتونات . فالحوامض القوية توهب البروتونات بسرعة اما الحوامض الضعيفة فإنها توهب البروتونات ببطئ . والقواعد القوية تكتسب البروتونات بسرعة بينما القواعد الضعيفة تكتسب البروتونات ببطئ . الحوامض والقواعد القوية عند ذوبانها في الماء تتحلل تحلل كامل بعكس الحوامض والقواعد الضعيفة التي تتحلل بقلة عند ذوبانها في الماء . من الحوامض القوية الهيدروكلوريك HCL - الكبريتيك H_2SO_4 – النتريك HNO_3 - ومن الحوامض الضعيفة حامض الخليك CH_3COOH - و H_2SO_3 - ومن القواعد القوية هيدروكسيد الصوديوم NaOH وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH والضعيفة هيدروكسيد الامونيوم NH_4OH .

المواد الالكتروليتية و غير الالكتروليتية :

هي المواد التي توصل الكهربائية عند تحللها في الماء فالتيار الكهربائي المار في المحلول المائي للمواد الالكتروليتية يسبب تحللها وتسمى هذه العملية بالتحلل الكهربائي . تعتبر الحوامض والقواعد والاملاح مواد الكتروليتية وتعزى قابليتها على التوصيل الكهربائي الى تكون ايونات ذات شحنات كهربائية عند ذوبانها في الماء اما السكريات والكحولات فانها لاتتأين عند اذابتها في الماء لذا فهي مواد غير الكتروليتية .

المواد الامفوتيرية (المرتدة) :

هي المواد التي تستطيع ان تتفاعل كحامض او كقاعدة أي تستطيع استلام او تسليم البروتون حسب محيط التفاعل . من امثلتها الماء و الاحماض الامينية .

$$H_2O + HCL \rightleftharpoons H_3O^+ + Cl^-$$

الـــماء كقاعدة

$$H_2O + NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

الماء كحامض

المحاليل المنظمة Buffer Solutions :

وهي المحاليل التي تحتوي على حامض ضعيف وملحه او قاعدة ضعيفة وملحها مثل حامض الخليك وخلات الصوديوم او هيدروكسيد الامونيوم وكلوريد الامونيوم . المحلول المنظم يمتاز بانه يقاوم أي تغير في تركيز ايونات الهيدروجين عند اضافة كميات قليلة من حامض او قاعدة تدريجياً الى المحلول . فمثلا عند اضافة كميات قليلة من هيدروكسيد الصوديوم الى المحلول المنظم المكون من حامض الخليك وخلات الصوديوم فان ايونات الهيدروكسيل سوف تتفاعل مع ايونات الهيدروجين الناتجة من تحلل حامض الخليك .

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$$

و لهذا لايتغير pH اللمحلول المنظم في اول الامر و كذلك عند اضافة كمية اخرى من NaOH لان كمية معادلة من حامض الخليك تتحلل وتعادل القاعدة ويستمر الحال حتى يتأين كل حامض الخليك وعند ذلك فان أي اضافة من NaOH تسبب ارتفاع PH لعدم وجود مايعادلها كذلك الحال عند اضافة حامض HCL فان ايونات الهيدروجين الناتجة من تحلل HCL سوف تتحد مع ايونات الخلات لتكوين حامض الخليك القليل التأين .

$$HCl + CH_3COONa \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$$

ولهذا لا يتغير pH المحلول المنظم في أول الامر و كذلك عند اضافة كمية اخرى من HCL لان كمية اخرى من ايونات الخلات تتحول الى حامض الخليك ويستمر الحال حتى تستنفذ كل الخلات وتتحول الى حامض الخليك .
ان الانظمة الحية لاتستطيع مقاومة أي زيادة كبيرة او نقص في تركيز ايونات الهيدروجين **و ذلك لان تغيير تركيز ايون الهيدروجين يؤثر على نشاط الانزيمات وعلى معدل التفاعلات التي تساهم في هذه الانزيمات وعلى اتجاه التفاعل ومن هنا تظهر اهمية الاحماض الامينية والبروتينات الذائبة في الخلايا النباتية التي تساهم بشكل فعال في الحفاظ على درجة PH الخلية وبالتالي توفر الظروف المثالية لعمل الانزيمات**

تركيز المحاليل :

يعرف التركيز للمحلول بانه نسبة كمية مادة ما في وحدة الحجم او الوزن لمادة اخرى ويستعمل الوزن الجزيئي الغرامي لتحضير المحاليل بتراكيز مختلفة . الوزن الجزيئي الغرامي لاي مادة هو وزن المادة بالغرامات وهو مساوي عدديا لوزن المادة بالوحدات الذرية فمثلاً وزن سكر الكلوكوز من مجموع الاوزان الذرية لمكوناته 180 فيكون الوزن الجزيئي الغرامي 180 غم .

$$180 = 6 \times 16 + 12 \times 1 + 6 \times 12 = C_6H_{12}O_6$$

يمكن التعبير عن تركيز المحاليل بالطرق التالية :

1- محاليل المولر أو المحاليل الجزيئية الغرامية :
ينتج عند اذابة وزن جزيئي غرامي واحد لمادة قابلة للذوبان في الماء بكمية تكفي لتكون الحجم النهائي الكلي لتر واحد من المحلول و يرمز لتركيز مثل هذا المحلول (1 M) . و عليه فأن محلول المولر لأي مادة قابلة للذوبان في الماء يحتوي على عدد أفوكادو من الجزيئات للمذاب ($6,02 \times 10^{23}$ جزيئة) بينما عدد جزيئات المذيب تكون مختلفة .

180,6 غم تكمل الى لتر واحد تعطي واحد مول (1M)

360,12 غم تكمل الى لتر واحد تعطي 2 مول (2 M)

2- **محاليل المولال :**
ينتج عند اذابة وزن جزيئي غرامي واحد في لتر واحد ماء مقطر وعليه فأن حجم المحلول في اغلب الاحيان لايكون مساوي الى لتر وفي هذه الحالة يكون عدد جزيئات المذيب والمذاب ثابت تقريبا.

محلول المولر	محلول المولال
1- الحجم النهائي للمحلول لتر واحد 2- يحتوي المحلول عدد ثابت من جزيئات المذاب يساوي عدد افوكادو. 3- عند تحضيره يكمل حجم المادة الذائبة إلى 1 لتر وذلك بإضافة الكمية اللازمة من المحلول . 4- عدد جزيئات المذيب متغير	1- الحجم النهائي للمحلول اكثر من لتر واحد . 2- يحتوي المحلول على عدد ثابت من جزيئات المذيب و المذاب . 3- عند تحضيره يضاف لتر كامل من محلول المذيب 4- عدد جزيئات المذيب ثابت .

3- محاليل النسبة المئوية :

أ- النسبة المئوية الوزنية / الحجمية : تنتج عند اذابة 1 غم من المذاب في المذيب ويكمل الحجم الى 100 مل اذ يتكون محلول تركيزه 1 ٪ .

ب – النسبة المئوية الوزنية : تنتج عند اذابة 1 غم من المذاب مع 99 من المذيب حيث يتكون خليط تركيزه 1٪ .

4- المحلول العياري :

ينتج عند اذابة الوزن المكافئ للمادة المذابة في لتر واحد من المحلول و يرمز له (1 N) وعند إذابة وزنين مكافئين في لتر واحد يتكون (2 N)

$$\text{الوزن المكافئ (غم)} = \frac{\text{الوزن الذري}}{\text{التكافؤ}}$$

الانظمة الغروية Colloidal system :

عند خلط كمية قليلة من تربة طينية مع الماء في اناء زجاجي يلاحظ تكون سائل ضبابي ذو لون بني و لو ترك السائل ليركز فسرعان مايظهر رائقا بعض الشئ وذلك بسبب ترسب الدقائق الثقيلة اولا ثم دقائق الاقل وزنا ثانية وهكذا وبعد فترة طويلة نجد ان معظم الدقائق لاتزال عالقة وتبقى كذلك لامد طويل يدعى مثل هذا الخليط بالسائل الغروي العالق ويتكون من دقائق صغيرة من التربة عالقة في الماء. أذ تمثل المادة العالقة في الماء تمثل الطور المنتشر (المذاب) اما الوسط الذي تنتشر فيه الدقائق فيدعى وسط الانتشار (المذيب) . لايشترط بوسط الانتشار ان يكون سائل بل يمكن ان يكون صلب او غاز كما يلي:

المذيب	المذاب	مثال
سائل	غاز	الضباب والسحاب
سائل	سائل	مستحلب اللبن - المايونيز
سائل	صلب	الجلاتين
صلب	غاز	غبار في دخان
صلب	سائل	طين في ماء
صلب	صلب	السبائك
غاز	سائل	مشروبات غازية

الغرويات المحبة للماء والغرويات الكارهة للماء:-

في الغرويات المحبة للماء يوجد تجاذب بين الطور المنتشر ووسط الانتشار مما يؤدي الى تميؤ تلك الدقائق (انتظام جزيئات الماء حول كل دقيقة منتشرة مكونة غلاف سمكه عدد طبقات مائية) من امثلتها الجلاتين – الاكار- النشأ - الصمغ العربي- البروتين
اما في الغرويات الكارهة للماء فلا يوجد أي تجاذب بل على العكس يوجد تنافر مابين الطور المنتشر ووسط الانتشار ويقاوم احدهما الاندماج مع الاخر ومن امثلتها المحاليل الغروية لبعض المعادن والاملاح المعدنية مثل هيدروكسيد الحديديك Fe (OH) و زرنيخات الكبريت AS_2S_3 .

خواص الانظمة الغروية:-

1- ظاهرة تندال: Tyndall phenomenon
هي ظاهرة ضوئية تتميز بها المحاليل الغروية دون المحاليل الحقيقية. فعند مرور شعاع ضوئي في محلول غروي ونظر الى المحلول من الجهة الجانبية وبشكل عمودي على اتجاه الاشعة الضوئية يلاحظ مسار الاشعة الضوئية في المحلول الغروي بسبب اعاقة وتبعثر الاشعة الضوئية وانعكاسها من قبل الدقائق الغروية .

2- الحركة البراونية :- Browaian Movement
الدقائق المنتشرة في المحاليل الغروية والمعلقات تتحرك حركة تذبذبية بصورة عشوائية وفي جميع الاتجاهات وتتسبب هذه الحركة عن اصطدام الدقائق الغروية لجزئيات وسط الانتشار (المذيب) وبقوى مختلفة من جميع الجوانب بصورة دائمية مما يؤدي الى حركة الدقائق الغروية .
زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة معدل الحركة البراونية بسبب زيادة الطاقة الحركية لجزيئات المذيب.

3- الشحنات الكهربائية :- Electrical chorges
تحمل الدقائق الغروية شحنات كهربائية معينة موزعة على سطحها وهذه الشحنات تكون موجبة او سالبة ولكنها تكون من نوع واحد في النظام الغروي الواحد. ان اصل هذه الشحنات الموجودة على الدقائق الغروية ناتج اما من تجمع سطحي للايونات الحرة الموجودة في وسط الانتشار على هذه الدقائق او من تأين او تحلل هذه الدقائق .

4- الترشيح والانتشار خلال الاغشية :-
ان الطور المنتشر لايمكن فصله عن وسط الانتشار بأستعمال ورق الترشيح الاعتيادي بيد ان الفصل يحدث بأستعمال ورق الترشيح الدقيق جدا Ultra filter:

5- الادمصاص او التجمع السطحي Adsorption
يعرف ميل الجزيئات او الايونات الى الالتصاق على اسطح المواد الصلبة او السائلة بالادمصاص .ولما كانت هذه الظاهرة ظاهرة اسطح لذا فان السعة الادمصاصية تتوقف على كمية الاسطح المعرضة وايضا على الطبيعة الكيماوية لوسط الانتشار والطور المنتشر.

6- الترسيب Precipitation
هدم او استبعاد الشحنة الكهربائية يؤدي الى تقارب وتجمع الدقائق الغروية رويدا رويدا ثم ترسيبها وهذه يمكن اجرائها بإضافة محلول الكتروليتي الذي يؤدي تحلله الى تكوين ايونات تعادل الايونات الموجودة على الاسطح الغروية وبالتالي يؤدي الى ترسيبها .

7- امكانية تحول المحاليل الغروية من حالة صلبة الى سائلة وبالعكس :-
توجد بعض المحاليل الغروية على درجة عالية من السيولة (Sol) وتكون المادة الصلبة المذابة في مثل هذا المحلول موزعة بصورة متساوية في المذيب السائل عند درجة حرارة معينة وعند تبريد مثل هذه المحاليل الى درجة اوطأ فأنها تتحول الى حالة صلبة (Gel) , تعرف عملية تحول الغروي السائل الى صلب بـ Gelationاما العملية المعاكسة بـ Solation .

8- **الضغط الازموزي Osmotic pressure**:-
تتصف المحاليل الغروية بقلة ضغوطها الازموزية مقارنة بالمحاليل الحقيقية لان عدد جزيئات المذاب في المحاليل الحقيقية اكثر مما هي عليه في المحاليل الغروية وبالتالي يكون الضغط الازموزي للمحلول الحقيقي اعلى مما في حالة المحلول الغروي.

ثبات الغرويات المائية :-

الاسباب الرئيسية لثبات الغرويات المائية يعود الى عاملين اساسيين هما :

1- **الشحنة الكهربائية** :- تتكون الشحنة الكهربائية في الدقائق الغروية نتيجة تسلمها لايون ما او من تأين او تحلل الدقائق الغروية وتتوقف نوعية الشحنة وقوتها على نوعية الدقائق الغروية وعلى الـ PH فالغرويات القاعدية مثل القلويات والصبغات القاعدية وهيدروكسيدات المعادن تكون مشحونة بشحنة موجبة عند اذابتها في الماء.اما الدقائق الطينية عندما تنتشر في الماء تشحن بشحنة سالبة في حين بعض البروتينات تكون اما سالبة او موجبة الشحنة.

2- **التميؤ** :- يقصد به استقطاب جزيئات الماء وانتظامها على السطوح المشحونة للدقائق الغروية يعتمد سمك الغلاف المائي حول الدقيقة الغروية على شدة الشحنات الواقعة على سطحها .
التميؤ يلعب دور اكبر اهمية من الشحنات الكهربائية في ثبات الغرويات لذلك فالغرويات الكارهة للماء قليلة الثبات **بسبب عدم وجود** الاغشية المائية ويمكن ترسيبها بمجرد اضافة كميات من الالكترونيات اما الغرويات المحبة للماء فلا تترسب بسهولة وتحتاج الى تراكيز عالية من الالكتروليتية لترسبهما لاحتوائها على الاغلفة المائية.

الخواص المزدوجة للانظمة الغروية البروتينية :-

تختلف الانظمة الغروية البروتينية عن بقية الانظمة الغروية بكون دقائقها مزدوجة التصرف بمعنى انها تعمل كقاعدة او حامض وتعتمد الخواص الحامضية على مجموعة الكاربوكسيل COOH اما القاعدية على مجموعة الامينو NH_2.

الحالة الغروية للخلية الحية:-

ان بروتوبلازم الخلية النباتية هو نظام غرويا معقد التركيب حيث ان معظم مكونات البروتوبلازم خاصة البروتين تكون مجزأة تجزئة دقيقة ومنتشرة في وسط الانتشار (الماء)مكونة محلولا غرويا وبذلك يكسب البروتوبلازم كثيرا من خواصها كاللزوجة والادمصاص .
تتوقف درجة ثبات البروتوبلازم على دقائق الطور المنتشر والتي تحمل كل منها شحنة كهربائية لكن هذا الثبات يمكن تغييره بأضافة احدى المواد الالكتروليتية او تغير الـ PH والذي بدوره يؤدي الى ترسيب البروتوبلازم.

الخلاصة :

امفوتيرية (المرتده) : مثل الماء يلعب كحامض او قاعدة
الالكتروليتية : مثل الحوامض – القواعد - الاملاح
غير الالكتروليتية : مثل السكريات – الكحول
غرويات محبة للماء : مثل جلاتين – اكار – نشا - صمغ عربي – بروتين
غرويات كارهة للماء : مثل زرنيخات الكبريتيد AS_2S_3- هيدروكسيد الحديديك Fe (OH)

اربط الكلمات الموجودة في القائمة أ مع مايلائمها في القائمة ب

أ	ب
مواد الكتروليتية	سكريات / كحول
مواد غير الكتروليتية	حوامض / قواعد / أملاح
مواد امفوتيرية	ماء/ الأحماض الأمينية

علل/ الغرويات الكارهة للماء قليلة الثبات ؟
ج / بسبب عدم وجود الاغشية المائية حولها.

س / ما هو الفرق مابين المولال والمولر؟

المحاضرة 3

العلاقات المائية للنبات water relation of plant

ان علاقة النبات بالماء تشمل النظم التي تحكم دخول الماء الى الخلايا النباتية وخروجه منها وحركته من خلية الى اخرى داخل النبات كما وتشمل العصارة الذائبة في الخشب من محلول التربة عبر الجذور حتى الساق والاوراق وكذلك كيفية توزيع المواد الغذائية بعد تصنيعها الى اجزاء النبات المختلفة بالإضافة الى النتح. وبشكل عام عملية امتصاص الماء من قبل الخلية النباتية لا زالت غير مفهومة بشكل متكامل الى حد الان الا انها تتضمن على الاقل عمليتين من عمليات الانتشار Diffusion هما:

أ-الازموزيةosmosis

ب-التشربImbibition

وكلاهما يحدث في الخلايا النباتية الحية والاجسام الميتة على حد سواء .

الانتشار:-

عبارة عن حركة الجزيئات من مكان تكون اكثر تركيزا الى اماكن اخرى حيث تكون اقل تركيزا(سوآءا تمت العملية بوجود غشاء او عدمه)، فمثلا اذا سقطت قطعة من السكر في كأس ماء فأن السكر يذوب ببطيء وتتحرك جزيئاته من سطح القطعة حيث التركيز عالي الى مناطق اكثر بعدا حيث التركيز اقل بعد مرور فترة من الزمن تختفي قطعة السكر وتصبح موزعة توزيعا متساويا في السائل المحيط بها ويصبح النظام في حالة اتزان وعند ذلك تستمر حركة الجزيئات لكن من دون ان يحدث اي تغير في تركيز النظام .

في النبات تساهم عملية الانتشار في نقل بعض المواد الموجودة في المحيط الخارجي للنبات الى داخله وبالعكس فمثلا يدخلCO_2 ويخرج O_2 وبخار الماء من خلال الثغور الموجودة على الاوراق بعملية الانتشار كما وتساهم هذه العملية في طرح CO_2 وبعض المركبات الاخرى من قبل الجذور وبالإضافة الى دورها المحدود في نقل ايونات الاملاح المعدنية من التربة الى داخل النبات (محدودة لان قسم كبير منها يحدث بفعل العمليات الحيوية وليس بفعل الانتشار).

أ-الازموزية Osmosis:- يعد الباحث Abbe Nollet(1884) اول من لاحظ ظاهرة الازموزية عندما ملأ مثانة خنزير بالكحول ثم ربط فوهتها ووضعها في الماء فلاحظ انتفاخها بدرجة كبيرة وبعد ذلك ملأ الباحث Dutrochet المثانة بمحلول سكري ووضعها في ماء نقي فلاحظ انتقال جزيئات الماء من الوسط الخارجي اي الماء النقي الى المحلول السكري الموجود في المثانة بمعدل اسرع من انتقالها من داخل المثانة اي المحلول السكري نحو الخارج اي الماء النقي ونتج عن ذلك ازدياد حجم المحلول في المثانة محدثا ضغط على جدرانها الداخلية من هذه التجربة تبين بأن الازموزية هي عملية انتشار لجزيئات الماء خلال غشاء اختياري النفاذية من مكان حيث طاقتها الحرة اكبر(او جهدها المائي اكبر)الى مكان حيث طاقتها الحرة اقل(او الجهد المائي الأقل)هو ذلك الذي تم تقييد حركة الماء فيه بإضافة جزيئات المذاب التي لا تنفذ خلال الغشاء وبذلك يكون صافي

الحركة من المنطقة التي تحتوي تركيز عالي للماء الى المنطقة التي تحتوي تركيز واطئ للماء أي من المنطقة التي تحتوي طاقة حرة أعلى للماء إلى المنطقة التي تحوي طاقة حرة اقل للماء .

من هنا يتضح بان الازموزية ترتبط ارتباطا وثيقا بالاغشية الاختيارية النفاذية(التي تتميز بسماحها لمرور بعض الجزيئات ومنعها لمرور جزيئات اخرى) وليس للمواد المارة خلال الغشاء.

ففي مثال السكر السابق حدث انتشار كل من جزيئات السكر في الماء والماء في السكر(بعدم وجود غشاء) وادى هذا الشيء الى امتزاجهما بالتساوي بحيث وصلت مستويات الطاقة الحرة الى حالة الاتزان في حين تضمنت ظاهرة الازموزية انتشار جزيئات الماء خلال غشاء اختياري النفاذية differentially permeable والمتمثل بمثانة الخنزير والذي يتميز بأنه غير حي وثابت التركيب في حين تتواجد في الخلية النباتية عدة أغشية حية واختيارية النفاذية وذو صفات متغيرة مثل الاغشية البلازمية ، الفجوية، الشبكة الاندوبلازمية والأغشية التي تحيط بالجسيمات السايتوبلازمية وتتواجد في داخلها والتي تلعب دورا في حركة الماء من مكان الى اخر على جانبيها ومن هنا يتبين بأن الظاهرة الازموزية هي التي تحكم حركة الماء داخل اعضاء الخلية الواحدة وما بين خلية واخرى ومابين محلول التربة وخلية الجذر الملاصقة له (بحكم وجود الأغشية الحية الاختيارية في الخلية النفاذية) حيث أن محلول التربة في الظروف العادية يحتوي على مواد مذابة اقل من العصير الخلوي اي يكون تركيز الماء فيه اعلى نسبيا مما هو عليه في العصير الخلوي وعندئذ تحدث ظاهرة الانتشار ويميل منحدر التركيز(فرق التركيز) الى التعادل اي يحدث الانتقال من التركيز العالي للماء حيث الطاقة الحركية العالية في محلول التربة الى التركيز الواطئ للماء حيث الطاقة الحركية الواطئة في العصير الخلوي.وبنفس الميكانيكية يتحرك الماء من خلية ذات تركيز ماء عالي(تركيز ذائبات قليل) الى خلية ذات تركيز ماء اقل(تركيز ذائبات اعلى).

كثيرا ما يستعمل مصطلح الجهد الازموزي Osmotic Potential للدلالة على الطاقة الحرة النسبية للماء داخل الخلية بقدر تأثرها بكمية المواد المذابة ويعبر عنه بوحدات الضغط الجوي (جو)، وهو يمثل أقصى ضغط يمكن ان ينشأ في محلول ما عند فصله عن المذيب النقي بغشاء اختياري النفاذية مسببا جذب جزيئات المذيب النقي تجاهه اي باتجاه المحلول وهو ذات قيمة سالبة وهو يعادل الضغط اللازم إحداثه على المحلول لمنع دخول المذيب اليه عبر الغشاء وهو ويعبر عنه بوحدات الجهد الازموزي للماء النقي يساوي صفر وعندما تضاف له المواد المذابة ينخفض تركيز الماء وتبعا لذلك تنخفض طاقته الحرة ويصبح الجهد الازموزي سالبا وبناءً على ذلك فأن الجهد الازموزي للعصير الخلوي ومحلول التربة يكون سالب الشحنة لاحتوائه على ذائبات وان انتقال الماء يحدث من المحاليل ذات الجهود الازموزية الكبيرة الى المحاليل ذات الجهود الازموزية الصغيرة وبما ان الجهود الازموزية للمحاليل سالبة الشحنة دائما لذا يحدث انتقال الماء من المحاليل الأقل سالبيه الى الأكثر سالبيه كما موضح في المثال التالي:

مثال:

نوع المحلول	قيمة جهد الماء ψ	اتجاه حركة الماء
ماء نقي	صفر جو	
ماء + 5 غم ملح	−5جو	
ماء +10غم ملح	−10جو	

الامتلاء Turgor :

يتميز الجدار الخلوي الذي يغلف (الخلية النباتية وغشائها البلازمي) بصلابته وتركيبه غير المطاطي والذي يسمح لها بالعيش دائما تحت مدى واسع من التراكيز الازموزية بعكس الخلية الحيوانية العديمة الجدار الخلوي والتي لا تستطيع العيش إلا في المحاليل الازموزية المشابهة تقريبا لعصيرها الخلوي لأنه عند وضعها في المحاليل المائية المخففة تمتلئ وتنفجر.

يتميز جدار الخلية النباتية بأنه منفذ لجميع المواد وعند وضع الخلية النباتية البالغة بوصفها نظاما ازموزيا في الماء وبسبب أن الجهد الازموزي للعصير الخلوي يقل كثيرا(بسبب ارتفاع تركيز الذائبات في العصير الخلوي)عن الجهد الازموزي للمحلول الخارجي فسوف يتحرك الماء الى داخل الخلية وبالتالي تمتلئ الخلية بالماء ويزداد حجمها ويحدث ان تضغط محتوياتها وخاصة غشاء البلازما على الجدار الخلوي ويسمى هذا الضغط المسؤول عن دفع محتويات الخلية باتجاه الجدار الخلوي بالضغط الانتفاخي او ضغط الامتلاء Turgor pressure.

اذاً الضغط الانتفاخي او ضغط الامتلاء:−هو الضغط الموجه من المحلول الخلوي للخلية المنتفخة على الجدار الخلوي وهذا الضغط هو الذي يساعد في المحافظة على شكل النبات ويوفر للخلايا الحديثة النمو الضغط اللازم لنموها في الحجم.

بالمقابل هناك ضغط يعاكس الضغط الانتفاخي في الاتجاه ويساويه بالمقدار وهو ضغط الجدار السليلوزي غير المرن نسبيا واتجاهه من الخارج نحو الداخل وعلى محتويات الخلية بما فيها العصير الخلوي ويسمى بالضغط الجداري wall pressure.

اذن الضغط الجداري:−هو الضغط الموجه من جدار الخلية على محتوياتها والذي يساوي بالمقدار ويعاكس بالاتجاه الضغط الانتفاخي (ضغط الامتلاء).

جهد الحشوة Matric pressure:−عبارة عن المقاومة التي يلاقيها الماء عند دخوله خلال الغشاء البلازمي الى داخل الخلية وفق العملية الازموزية نتيجة تعامله مع مركبات اخرى مثل مكونات الجدار الخلوي وغيرها مما يؤدي الى فقدان قسم من الطاقة الحرة.

بشكل عام يمكن حساب القوة المسببة لامتصاص الماء من قبل الخلية من المعادلة التالية:-

$$\psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_m \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث ان:-

(بسي) ψ_w: يمثل جهد الماء للعصير الخلوي او الطاقة الكيمياوية االكامنة لماء الخلية .

ψ_s:يمثل الطاقة الكيمياوية المتسببة عن الذائبات او الازموزية (الجهد الازموزي) وهي ذات قيمة سالبة دائما

ψ_p:تمثل الطاقة الكيمياوية المتسببة عن الضغط الجداري او الانتفاخي وهي ذات قيمة موجبة.

ψ_m:تمثل الطاقة الكيمياوية المتسببة عن التشرب او المواد التي تلتصق بالماء كالغرويات وهي ذات قيمة سالبة.

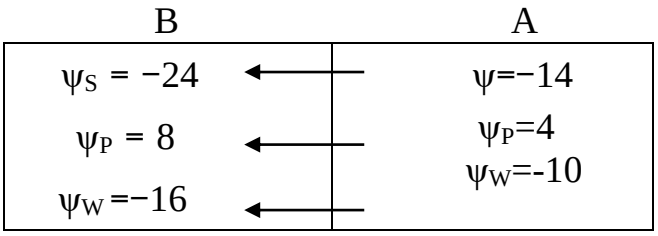
ولما كان جهد الحشوة (ψ_m) صغير القيمة ويصعب قياسه في النظم الازموزية لذلك يمكن حذفه لتصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$\psi_w = \psi_s + \psi_p \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وعلى هذا الاساس فأن دخول الماء الى الخلية النباتية يتأثر بالجهد الازموزي للعصير الخلوي الذي يعمل على زيادة معدل دخول الماء الى الخلية وبالضغط الجداري (الامتلاء) والذي يعمل على تقليل دخول الماء الى الخلية وعلى ذلك فأن الماء يدخل الى الخلية بقوة تساوي الفرق بينهما حيث يلاحظ استمرار دخول الماء الى الخلية مادام الجهد الازموزي للعصير الخلوي اكبر رقما من الضغط الجداري وعندما تصل الخلية الى حالة الامتلاء التام يتساوى كل من الجهد الازموزي والضغط الانتفاخي ويتوقف دخول الماء الى الخلية.

البلزمة plasmolysis :- اذا حدث ان انتقل الماء من الخلية الى منطقة ذات تركيز مائي(ماء)اقل ولم يكن هناك تعويض للماء المفقود فسوف يحدث تقلص ونقص في حجم البروتوبلاست والذي يؤدي الى انكماش البروتوبلازم وانفصاله عن الجدار الخلوي وبالتالي فقدان الامتلاء للخلية والانسجة وهذا مايسمى بالبلزمة. واذا استمرت البلزمة لفترة طويلة فأنها تؤدي الى موت الخلايا المتبلزمة اما اذا نقلت الخلايا او الانسجة المبلزمة بعد وقت قصير الى محيط يحوي تركيز مائي اكبر مما هو موجود فيها فسوف يتحرك الماء الى الخلايا او الانسجة المبلزمة وتعود الى حالتها الطبيعية.

الازموزية بين الخلايا:-لو تخيلنا خليتين ملتصقتين ومحميتين من اي تبخر الاولى(A) لها جهد ازموزي (14) وضغط انتفاخي او جداري (4) والأخرى (B) ولها جهد ازموزي (24) وضغط انتفاخي او جداري (8) ففي أي اتجاه سوف يتحرك الماء وماهو مقدار جهد الماء الذي عنده سوف تحصل حالة التوازن



$\psi_w = \psi_s + \psi_p$

جهد غ خ

$$\frac{-16 + (-10)}{2} = \frac{-26}{2} = -13 \text{ bar}$$

بما ان محلولي الخليتين متصلان فأن الجهود المائية لكل منهما سوف تميل للوصول الى حالة التوازن −2/26=−13جو ولذلك سوف يتحرك الماء من الخلية(A) التي تمتلك جهد ماء اكبر(اقل سالبيه) والذي يساوي

(−10) حوالى الخلية (B) التي تمتلك جهد ماء اقل(اكبر سالبيه) والذي يساوي(−16) جو.

اهمية الازموزية للنبات:

1.حفظ الأنسجة النباتية بحالة ممتلئة ونشطة.

2.تسبب دخول الماء الى داخل النبات ومن ثم نقله وتوزيعه في جسم النبات.

3.اكساب الخلايا النباتية الغضة والحديثة النمو كالقمم النامية قوة وصلابة.

4.تسهل إنبات البذور حيث تساعد على خروج الجزء الخضري فوق سطح التربة وتعمل على انتشار المجموع الجذري تحت سطح التربة.

العوامل التي تؤثر على الازموزية في النبات:-

1-تركيز محلول التربة: كلما زادت كمية الماء في التربة قلة سالبيه الجهد الازموزي للتربة مقارنة مع النبات مما يؤدي الى انتقال الماء من التربة الى النبات.

2-تركيز العصير الخلوي: ان الجهد الازموزي لخلايا النباتات الملحية يكون اكثر سالبيه بسبب عيشها في بيئة ملحية (وقد يصل الى−60جو) مقارنة مع النباتات المائية حيث يتراوح مابين−2 الى−3 جو.

3-الرطوبة الجوية: ان فقدان الماء من اوراق النبات بعملية النتح بسبب قلة الرطوبة الجوية يؤدي الى زيادة سالبيه الجهد الازموزي لأنسجة الورقة وبالتالي يؤدي الى انتقال الماء اليها من باقي اجزاء النبات .

4-الضوء:الضوء من العوامل الاساسية التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي وتساهم في صناعة السكريات التي تذوب في المحاليل الخلوية وبالتالي تؤدي الى زيادة سالبيه الجهد المائي للعصير الخلوي.

5-درجة الحرارة: تلعب نفس الدور الذي يلعبه الضوء في عملية التركيب الضوئي بالإضافة الى تأثيرها على النتح ونفاذية الغشاء الخلوي.

س 1:- ناقش علاقة العوامل اعلاه مع سالبيه الجهد الازموزي.

ب-التشرب Imbibition:-يعتبر التشرب احد صور انتشار الماء في النبات حيث يحدث تحرك الماء من التركيز العالي الى التركيز الواطئ لكن حركة الماء في هذه الحالة تتطلب وجود الجسم المتشرب الذي يمتاز بامتلاكه لقدرة امتصاصية (اي قابليته على سحب الماء تجاهه وتشربه به) ولا يوجد اي حاجة لوجود غشاء يفصل الجسم المتشرب عن الماء، اذن التشرب هو عبارة عن امتصاص سائل ما من قبل الجسم المتشرب او المادة المدمصة ودخوله فيها وعلى اسطحها مما يؤدي الى زيادة حجمه وتوليده لضغط يتجه من داخل الجسم المدمص نحو الخارج يعرف بضغط التشرب Imibibition pressure.

فمثلا عند ملامسة قطعة خشب او جيلاتين جاف للماء يحدث امدصاص لجزيئات الماء على اسطح هذه المواد وفي مساماتها مما يؤدي الى زيادة حجمها وتوليد ضغط تشرب هائل يتجه من الجسم المتشرب نحو الخارج وهذا ما استفاد منه قدماء المصريين عند بناء معابدهم ومنشأتهم حيث كانوا يضعون مادة مدمصة للماء وخاصة الخشب في حيز مغلق بين الصخور ومن ثم يسمحون لها بالتشرب بالماء مما يؤدي الى توليد ضغط هائل جدا يعمل على تكسر الصخور الكبيرة.عموما الغرويات الجافة تنتج ما مقداره (-3000) ضغط جو من ضغط التشرب في حالة وضعها بالماء اما الغرويات المشبعة بالماء فيكون ضغط التشرب فيها صفر.

لحدوث التشرب يجب توفر عاملين :-

أ- وجود فرق في جهد الماء بين الجسم المتشرب والسائل المحيط به فمثلا تظهر بعض مواد النبات الجافة سالبيه كبيرة جدا في جهودها المائية فعلى سبيل المثال بعض البذور الجافة لها جهد مائي يساوي(-900جو) وبالتالي عند وضع هذه البذور في ماء نقي يتحرك الماء تجاهها حتى يتساوى تركيزه مع الماء الخارجي وعند هذه النقطة ينشأ الاتزان ويتوقف التشرب .

ب- وجود الفة بين الجسم المتشرب والسائل المحيط به: حيث ان المادة الادمصاصية الميتة لا تتشرب بكل انواع السوائل فمثلا البذور الجافة التي تنقع بالايثر لا تنتفخ بدرجة ملحوظة الا ان المطاط يتشرب بالايثر وينتفخ بدرجة ملحوظة لكن المطاط لا يتشرب بالماء.

من الغرويات المحبة للماء والموجودة في الخلية النباتية البروتينات، اللبيدات المتعددة، الكاربوهيدرات التي توجد بصورة (سليلوز ونشأ).

س) عدد الغرويات المحبة للماء الموجودة في الخلية النباتية؟

العوامل المؤثرة على معدل ومدى التشرب:-

1-درجة الحرارة: زيادتها تسبب زيادة معدل التشرب لانها تؤدي الى تمدد المواد المدمصة وزيادة مساميتها وزيادة الطاقة الحركية للمادة المدمصة.

2-الجهدالازموزي للمادة المتشربة : كلما زادت سالبيه الجهد الازموزي للمادة المتشربة زاد معدل التشرب .

التغيرات التي تحدث عند التشرب :

عند التشرب يحدث فقدان في الطاقة وزيادة في حجم المادة الادمصاصية على الرغم من ان الحجم الكلي للنظام المتشرب (المادة الادمصاصية + السائل المحيط بها) في العادة يكون اقل بعد التشرب عنه قبل ان يبدأ التشرب والسبب في اختلاف الحجم يعود الى ان جزيئات المادة تدمص على اسطح المادة الادمصاصية بشدة وبالتالي فانهما يلتصقان مع بعضهما بشدة مما يؤدي الى نقص في حجم النظام.

س) ماهو الفرق بين الازموزية والتشرب؟

الازموزية	التشرب
1-تتطلب غشاء اختياري النفاذية.	**1- تتطلب جسم متشرب.**
2- **لايتطلب** وجود الفة	**2- يتطلب وجود الفة مابين الجسم والسائل المحيط به.**
3- يعتمد على وجود ذائبات على طرفي الغشاء.	**3- لايتطلب وجود ذائبات .**
4- تسبب جهد يسمى الجهد الازموزي وهو عبارة عن أقصى جهد تنشا في محلول عند فصله عن المذيب النقي بغشاء اختياري النفاذية مسببا جذب جزيئات المذيب النقي تجاهه أي باتجاه المحلول.	**4- يسبب ضغط يعرف بضغط التشرب يتجه من داخل الجسم المدمص نحو الخارج .**
5-تحدث الازموزية الاختيارية في الخلايا الحية فقط.	**5- يحدث في الخلايا الحية والميتة .**

النفاذية permeability:

ان حركة الماء على جانبي الاغشية الخلوية او البلازمية لاتعتمد فقط على فرق الجهد المائي بين طرفي الغشاء بل ايضا وبشكل اساسي على حالة مرور الذائبات على جانبي الغشاء وذلك لان الاغشية الخلوية من النوع الاختياري النفاذية فهي تسمح لمرور بعض الذائبات من خلالها دون اخرى ولهذا فان التوازن النهائي على جانبي الغشاء الخلوي لايعتمد على الجهد المائي (او الطاقة الكيمياوية الكامنة للماء) فقط بل على حالة مرور الذائبات من والى الخلية .

تقسم الاغشية حسب قابلية نفاذيتها الى :-

1- الغشاء النفاذ : يسمح لجزيئات كل من المذيب والمذاب بالمرور خلاله مثل ورق الترشيح.

2- الغشاء غير النفاذ : لايسمح لجزيئات كل من المذيب والمذاب بالمرور خلاله مثل الزجاج .

3- الغشاء النصف الناضح : هو الغشاء الذي يسمح لجزيئات المذيب بان تمر خلاله فقط ومن أمثلته غشاء المثانة ، ورق السيلوفان .

4-غشاء الخلية النباتية يسمح لمرور بعض المواد المذابة بالإضافة للمذيب ويسمى بالغشاء الاختياري النفاذية Differentially Permeable Membrane .

العوامل المؤثرة على نفاذية الغشاء البلازمي :

1- النشاط الفسيولوجي للخلية :الخلايا الفعالة او النشطة تمتص او تستهلك كميات كبيرة من المواد الغذائية (ذائبات) مقارنة مع الخلايا غير النشطة وبذلك يحدث اختلاف في تركيز الذائبات داخل وخارج الخلية مما يؤدي الى دخول الماء الى الخلية .

2- المواد المخدرة او السامة : تؤثر هذه المواد كالكلوروفورم سلبيا على حساسية الخلية وتنفسها وكلما كان ذوبانها في الدهن كبير كان تأثيرها على نفاذية الغشاء كبيرا(لان الغشاء الخلوي يتكون من الدهون و البروتين).

3- تأثير الإشعاع : بصورة عامة الاشعاعات تقلل من نفاذية الاغشية ولايعرف بالضبط هل ان الاشعاع يغير فتحات الغشاء البلازمي ام يغير النظم الانزيمية التي تسيطر على نقل الدقائق خلال الغشاء .

4- درجة الحرارة :وجد بان ازدياد درجة الحرارة يسبب زيادة النفاذية حتى حدود معينة وعندما ترتفع الحرارة اعلى من هذا الحد يحصل فقدان النفاذية بسبب فقدان الخصائص البيولوجية للغشاء . وتسمى مثل هذه الدرجة الحرارية بالدرجة المميتة lethal temperature.

5- تأثير الPH: ارتفاع او انخفاض الPH يؤثر على تأثير المواد المارة خلال الغشاء وكذلك على هيئة وتركيب بروتوبلازم الغشاء البلازمي وبالتالي على نفاذيته.

6- ظاهرة التضاد او تأثير الايونات :يعتقد بان الغشاء البلازمي يتحول من حالة غروية معينة الى حالة غروية اخرى تحت تأثير الايونات التي تدخل من البيئة المحيطة بالخلية فمثلا عند وجود الايونات الايونات الاحادية الموجبة الشحنة يحدث تضرر للغشاء البلازمي وتنفذ الايونات من خلاله بسرعة في حين وجود الايونات الاخرى تجعل نفاذية الغشاء البلازمي طبيعية ومن هنا يتبين بان الايونات المختلفة تغير من التركيب الكيمياوي للغشاء وبالتالي نفاذيته .

س) ناقش تأثير ما يلي على النفاذية ؟

النشاط الفسيولوجي للخلية , المواد المخدرة ,.....

قواعد النفاذية العامة:

1- وجد بان نفاذية المواد تزداد بزيادة قابلية ذوبانها بالدهون وذلك لسهولة اختراقها للأغشية الحاوية على المواد الدهنية بسبب ذوبانها فيه.

2- زيادة القطبية تسبب قلة الذوبان في الدهون وبالتالي قلة النفاذية والمقصود بالقطبية ان يتركب جزيء المادة بطريقة تجعل فيه طرفان احدهما له شحنات موجبة والاخر سالبة والمركبات القطبية هي التي تحتوي

على مجاميع قطبية مثل(الهيدروكسيل OH– الالديهايدCHO– الكاربونيل CO– الكاربوكسيل COOH– الامين NH_2– الاميد $CONH_2$– والسلفات المهدرجة SH) حيث ان وجود المجاميع السالفة الذكر في المركبات تؤدي الى زيادة القطبية Polarity وبالتالي قلة القابلية على الذوبان بالدهون مما يؤدي الى انخفاض نفاذية الاغشية الخلوية وسبب ذلك يعود الى تكوين هذه المجاميع لأواصر هيدروجينية مع الماء مما يؤدي الى احاطتها بأغشية مائية تزيد من حجمها وتقلل من سرعة نفاذيتها وهذا هو سبب بطئ نفوذ السكريات والاحماض الامينية (بسبب احتوائها على مجاميع NH_2 وOH وCOOH....)

3– زيادة طول السلاسل الكربونية للمركبات بسبب قلة القطبية وبالتالي زيادة قابلية الذوبان في الدهون ومن ثم النفاذية (السلاسل الطويلة لها مجموعة قطبية واحدة ،السلاسل الاقصر لكي تكون بنفس الطول يجب ان تمتلك اكثر من مجموعة قطبية).

4– المواد المتأينة لاتنفذ عبر الأغشية الخلوية بسهولة بسبب كونها مواد قطبية ولما كانت درجة التأين تعتمد على الPH للمحاليل الموجودة في بيئة الخلية لذلك فان اي تغيير في ال PH والذي تؤدي نتيجته الى قلة التأين سوف يؤدي الى زيادة قابلية الذوبان في الدهون وبالتالي الى زيادة النفاذية وهذا الكلام ينطبق على كل من الاحماض العضوية والهرمونات النباتية .

4– المواد الالكتروليتية (كالحوامض والقواعد والاملاح) لاتنفذ خلال الاغشية الخلوية بسهولة بسبب تأينها الى ايونات حاملة لشحنات كهربائية وان وجود هذه الشحنة يعرقل نفوذ الايونات وكلما كانت شحنة الايون قوية او تكافؤه عالي تقل احتمالية دخوله الى الخلية عبر الغشاء وعلى هذا الاساس ايونات الصوديوم والبوتاسيوم (K^+, Na^+) تنفذ اسرع من ايونات المغنيسيوم والكالسيوم (Mg^{++} , Ca^+) والاخبرة اسرع من الحديديك (Fe^{+3}) وكذلك الحال بالنسبة للايونات السالبة فالكلور (Cl^-) والنترات (No_3^-) تدخل اسرع من الكبريتات (So_4^{-2}).

السبب الاخر لبطؤ نفوذ الالكتروليتات الى الخلية هو تميؤ الايون اي احاطته بغلاف مائي بسبب قابلية ارتباطه مع جزيئات الماء بأواصر هيدروجينية وينتج عن هذا تكون دقائق اكبر من الايونات نفسها.

س1) سلسل الايونات حسب سرعة دخولها في الاغشية مع توضيح السبب ؟

س2) عدد فقط (مع الشرح البسيط) اربع من قواعد النفاذية ؟

6– توجد علاقة عكسية مابين معدل النفاذية وحجم الجزيئات المارة ضمن حدود معينة حيث كلما زادت حجم الجزيئات قلت نفاذيتها عبر الاغشية الخلوية .

المحاضرة الرابعة : امتصاص الماء

(امتصاص الماء)

يقصد بامتصاص الماء دخول الماء وما فيه من ذائبات إلى النبات من البيئة المحيطة به. والذي غالبا مايكون عن طريق المجموع الجذري كما قد يحدث عن طريق المجموع الخضري وذلك في بعض النباتات الأرضية وكل النباتات المائية.

أولا:امتصاص الماء من قبل الجذور:-

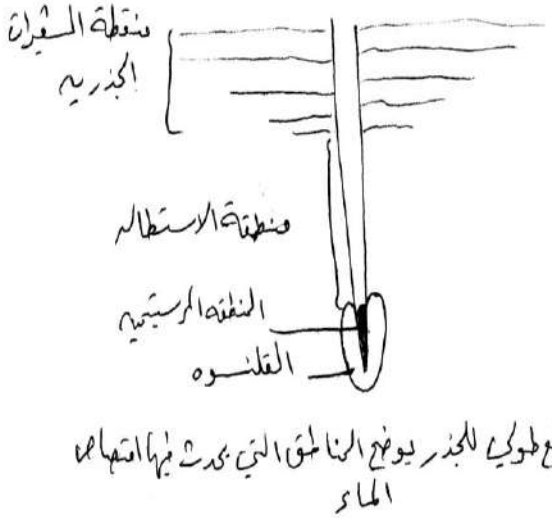
يحدث معظم امتصاص الماء والاملاح المعدنية من قبل الاجزاءالقمية للجذور والتي تتألف من أربع مناطق مميزة وهي:

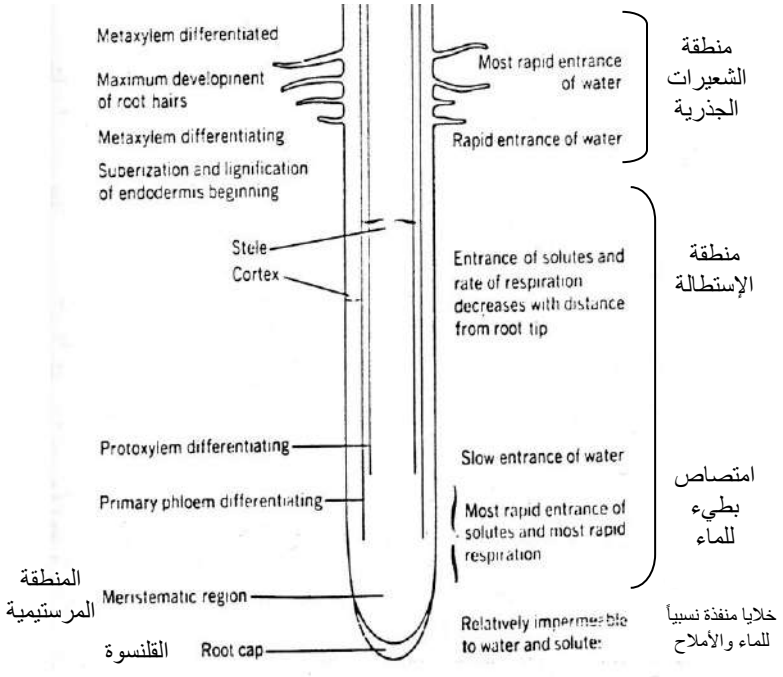
أ-**القلنسوة**:وهي منطقة قصيرة جدا بيضاء اللون وتحيط بالمنطقة التي تليها.

ب-المنطقة المرستيمية :تلي القلنسوة وتكون مغطاة جزئيا بالقلنسوة ولا يزيد طولها عن 1و0ملم ويكون لونها مصفرو خلايا هذه المنطقة في حالة انقسام خلوي ونمو.

ج- **منطقة الاستطالة**:تلي المنطقة المرستيمية ويبلغ طولها بضع مليمات.

ء- منطقة الشعيرات الجذرية:يختلف طولها باختلاف الأنواع النباتية وظروف نمو الجذر.





شكل رقم (1) مقطع طولي للجذر يوضح مناطق امتصاص الماء والمواد المذابة.

يحدث الامتصاص الاكبر للماء في منطقة الشعيرات الجذرية ثم منطقة الاستطالة اما كمية الماء الممتصة خلال القلنسوة والمنطقة المرستيمية فقليلة.

ان ميكانيكية امتصاص الماء بما فيه من العناصر الغذائية عن طريق الجذور لازالت مدار نقاش وجدل علمي حتى يومنا هذا لكن عموما يقترح وجود نوعين من الامتصاص هما:-

أ-**الامتصاص السالب (الحر) للماء Passive Water Absorbtion**

بموجبه يحدث دخول الماء الى الجذور نتيجة فعالية الجزء الخضري (الاوراق خاصةً) في حين تقوم الجذور نفسها بدور سطح الامتصاص والقناة الناقلة فقط وبموجب هذه الطريقة يتم دخول الجزء الاعظم من الماء الى النبات. إذ ان تبخر الماء من خلايا الاوراق عن طريق الثغور يؤدي الى زيادة سالبيه الجهد الازموزي وقلة الضغط الانتفاخي في خلايا الورقة وبالتالي تصبح الطاقة الحرة للماء(جهد الماء) في خلايا الورقة أقل أي اكثر سالبيه وعندئذ تمتص خلايا الورقة الماء من الخلايا المجاورة والاخيرة من خلايا حامل الورقة وهكذا حتى يمتص الماء من خلايا الساق فالجذر ثم محلول التربة وعلى الرغم من ان فقدان الماء في عملية النتح هو السبب الرئيسي للقوة السالبة الا ان فقدان الماء باي طريقة اخرى كدخوله في التفاعلات الحيوية وعمليات النمو يؤدي إلى حدوث الامتصاص السالب للماء.

ب-**الامتصاص النشط (الفعال) للماء** Active Water Absorption

يحدث امتصاص الماء بموجب هذه الطريقة بسبب نشاط فعالية خلايا المجموع الجذري للنبات ويتطلب صرف طاقة حيوية يتم تجهيزها من عملية التنفس ويسير اما بآلية ازموزية او غير ازموزية ويكون استخدام الطاقة فيه بشكل مباشر او غير مباشر وكما يلي:-

1-**الآلية غير الأزموزية** :-

حسب الآلية ينتقل الماء بما فيه من ذائبات من محلول التربة الى خلايا الجذر بمساعدة الطاقة المتحررة من عملية التنفس ويكون اتجاه حركته بعكس منحدر التركيز اي من التركيز الواطئ للماء الى التركيز العالي للماء وهذا يتطلب تجهيز طاقة بشكل مباشر للتغلب على قوانين الانتشار التي تسير بموجب منحدر التركيز وتحدث هذه الحالة عند العطش الشديد للنبات او جفاف التربة الذي يسبب الذبول المؤقت للنبات او كلاهما.

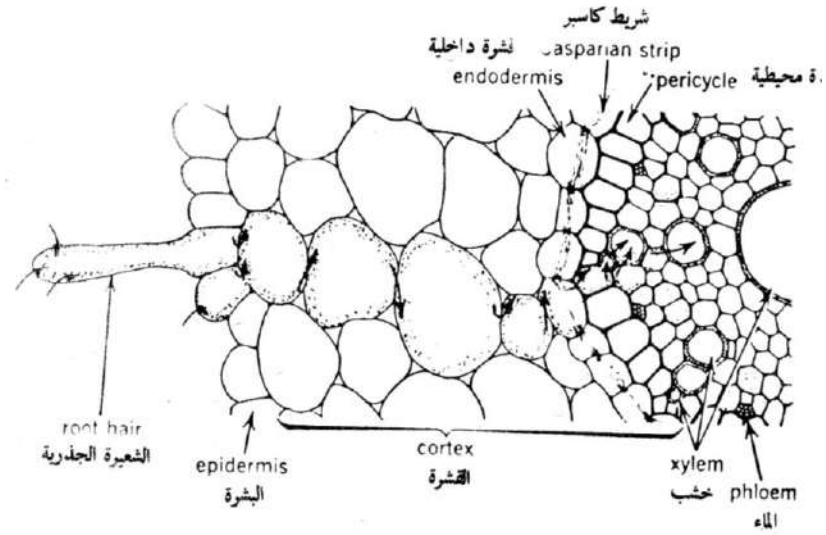
2-**الالية الازموزية:**

يتم بموجب هذه الطريقة استخدام الطاقة لكن بشكل غير مباشر حيث ان الماء بمافيه من ذائبات ينتقل من التربة الى الاجزاء الداخلية من الجذر طبقا للألية الازموزية أي من التركيز العالي للماء الى التركيز الواطئ أي الماء ينتقل من خلال بشرة الجذر بمافيها من شعيرات الى القشرة

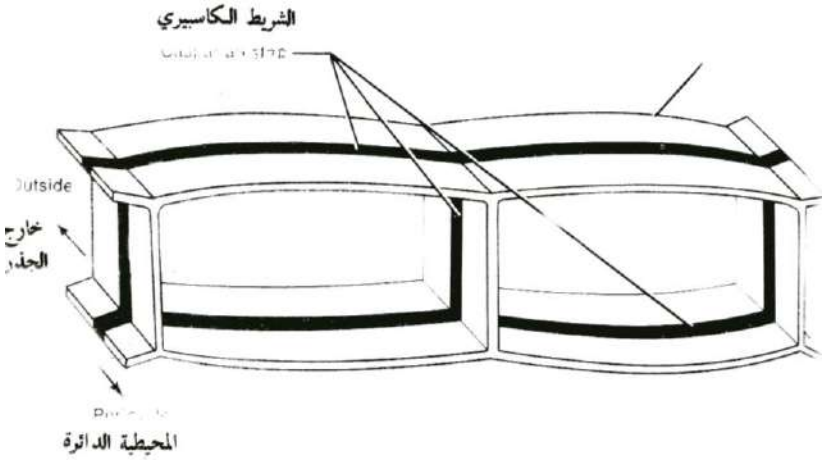
فالقشرة الداخلية ثم الاسطوانة الوعائية فأنسجة اللحاء وأخيرا الى الخشب نتيجة ازدياد تركيز الذائبات كلما تقدمنا نحو الخلايا الداخلية للجذر وكما موضح بالمخطط والرسم المرفقان ادناه.

الشعيرات الجذرية وخلايا ← انسجة ← القشرة الداخلية (الاندوديرمز)
البشرة القريبة منها القشرة الحاوية على شريط كاسبر.

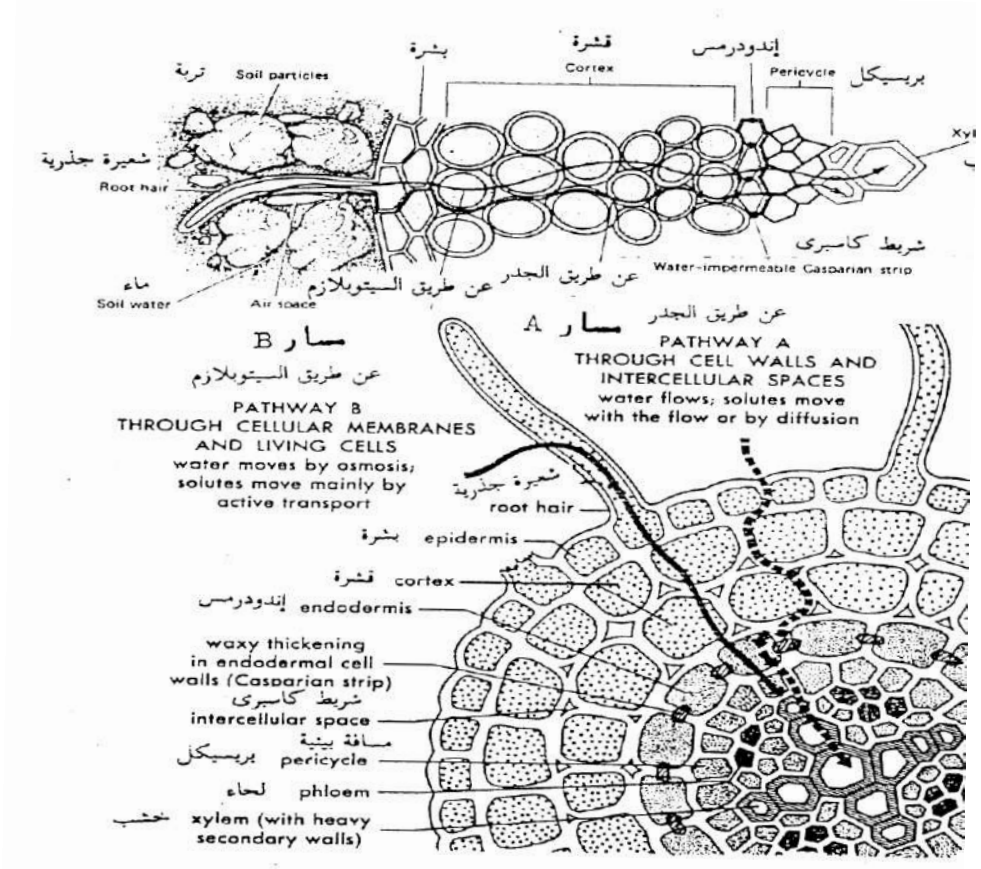
خشب ← اللحاء ← الاسطوانة الوعائية
الدائرة المحيطة (البريسايكل)



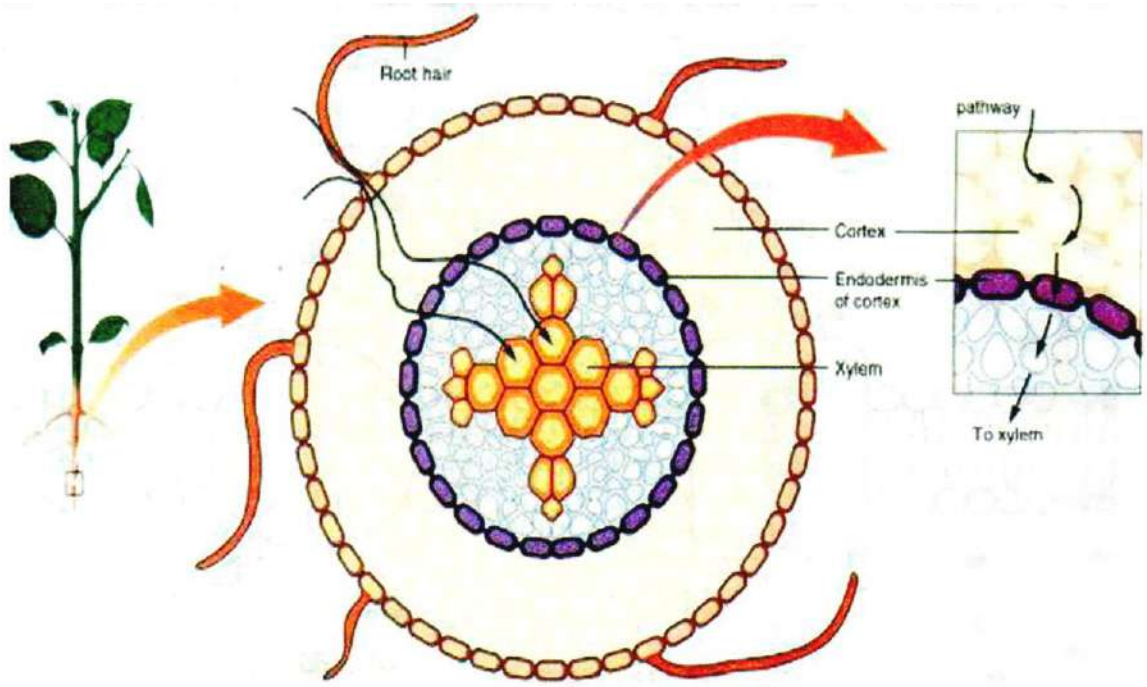
شكل رقم (2)مقطع عرضي للجذر يوضح حركة الماء والأيونات من التربة إلى الأوعية الخشبية وكيفية عبور الشريط الكاسبري.



شكل رقم (3) مظهر الشريط الكاسبري في خلايا القشرة الداخلية.



شكل رقم (4) مسار الماء في الجذر بموجب نظام Apoplast (مسار A)
وSymplast (مسار B)



السؤال المحير حتى يومنا هذا هو لماذا يكون تركيز الأملاح في الخلايا الداخلية للجذر أعلى مما في الخلايا الخارجية علما بان امتصاص الذائبات والاحتفاظ بها في خلايا الجذر يتطلب طاقة حيوية وهذه الطاقة تكون على اقلها في المنطقة الداخلية للجذر وخاصةً قرب القنوات الخشبية بسبب نقصان تركيز الأوكسجين وزيادة تركيز ثاني أوكسيد الكاربون مقارنةً مع الخلايا الخارجية للجذر وخاصةً خلايا القشرة التي تحتوي على مسافات بينية واسعة يتخللها الهواء وكما موضح بالشكل رقم (2). إن عملية فقدان الأملاح من الخلايا الداخلية للجذر بسبب قلة الطاقة وانتشارها نحو القشرة مرة ثانية أمر مستحيل او صعب جدا بسبب وجود الشريط الكاسبري في خلايا القشرة الداخلية (والذي يمثل صف من الخلايا الحاوية على تغلظ سوبريني في جدرها العرضية والقطرية وليس التماسية والذي يعيق رجوع الماء للخارج لهذا سوف يتحرك الماء دائما نحو فراغات أوعية الخشب والى حد ألان لا يعرف بالضبط كيف يجري الماء بصورة قطرية من نسيج البشرة حتى أنسجة الخشب لكن النظرية الأكثر قبولا هي نظرية أنظمة الـ Apoplast-Symplast والتي بموجبها يمثل:-

الـ Apoplast: نظام نقل الماء عبر المسافات البينية بين الخلايا(الفراغات) وجدران الخلايا والأوعية القصبية للخشب المملوءة بالماء أو الهواء والتي تساهم بنقل الماء حتى شريط كاسبر ومن ثم بعد شريط كاسبرخلال الأوعية الخشبية.

في حين يمثل الـ Symplast نظام نقل الماء عبر محتويات السايتوبلازم للخلية الواحدة ولمجموع الخلايا المتجاورة من خلال القنوات السايتوبلازمية التي تربط الخلايا مع بعضها البعض وبموجبه ينتقل الماء من القشرة الداخلية الحاوية شريط كاسبرحتى أوعية الخشب.

ثانيا:امتصاص الماء عن طريق الأوراق:-

تستطيع اغلب النباتات امتصاص الماء بالحالة السائلة أو البخارية عن طريق الأوراق ومدى امتصاص الماء بهذه الطريقة يعتمد على:-

1.جهد الماء (الطاقة الحرة أو الكامنة) لعصير خلايا الورقة.

2.مدى نفاذية طبقة الكيوتين للماء.

بعض الباحثين يعتقد بان امتصاص الماء يحدث من ثغور الأوراق ولما كانت معظم النباتات تغلق ثغورها ليلا فان كمية الماء الممتصة عن طريق الثغور تكون قليلة اولاتحدث أساسا وذلك لأنه خلال النهار تكون الثغور مفتوحة لحدوث عملية فقدان الماء بالنتح وليس امتصاصه.

س) ما هي العوامل التي تؤثر على مدى امتصاص الماء من الأوراق ؟

العوامل المؤثرة على امتصاص الماء من قبل النبات:-

1-**درجة حرارة التربة**: عند درجة الحرارة الواطئة للتربة ينخفض معدل الامتصاص لان الماء يكون أكثر لزوجة عند مثل هذه الدرجات وبالتالي اقل قابلية على الحركة كما وان البروتوبلازم يصبح اقل نفاذية بالإضافة إلى ضعف نمو الجذور أو توقفها.

2. **تهوية التربة** : تمتص جذور النباتات الماء من التربة ذات التهوية الجيدة بمعدل أسرع من الترب ذات التهوية المتوسطة أو الرديئة. يعتقد بوجود عدة أسباب لقلة امتصاص الماء من الترب الرديئة التهوية منها:

أ- قلة الأوكسجين في التربة يعمل على خفض معدل التنفس وقلة إنتاج الطاقة في خلايا الجذور وبالتالي انخفاض العمليات الحيوية للجذر وقلة امتصاص الماء.

ب- تراكم ثاني أوكسيد الكاربون في التربة الرديئة التهوية يؤدي إلى ضرر النبات بسبب زيادة لزوجة سايتوبلازم خلايا الجذر وقلة نفاذية الماء مما يؤدي إلى انخفاض معدل امتصاص الماء من قبل الجذور.

ج- يعتقد أن تجمع ثاني أوكسيد الكاربون في الترب قد يؤدي إلى حدوث تسمم وتوقف عمل الأنزيمات.

3. **تركيز محلول التربة:** قلة تركيز محلول التربة مقارنا مع تركيز العصير الخلوي يؤدي الى دخول الماء الى النبات بشكل اكبر.

4. **معدل النتح في النبات:** كلما ارتفع النتح في النبات تزداد سالبية الجهد المائي او الطاقة الحرة للعصير الخلوي في النبات وخاصة الاوراق وبالتالي يزداد معدل امتصاص الماء.

5. **خصائص المجموعة الجذرية** :تختلف المجموعة الجذرية للنباتات المختلفة اختلافا كبيرا في المظهر ومدى اختراقها للتربة فمثلا بعض المجاميع الجذرية تخترق التربة عمقا بينما مجاميع أخرى تألف شبكة كثيفة من الجذور المتفرعة التي لا تستطيع اختراق التربة عمقا ولكنها تغطي مساحات كبيرة من التربة وبعمق اقل ولكل منها قدرة معينة على امتصاص الماء لا تشابه الاخرى.

6. **كمية ماء التربة القابلة للامتصاص** :ليس جميع الماء الموجود في التربة يمكن ان يمتصه النبات فعادة النباتات تمتص الماء من التربة اذ كان محتوى التربة من الماء يقع بين السعة الحقلية ونقطة الذبول اما اذا قل المحتوى المائي القريب من الجذور عن هذا الحد فسوف يصبح امتصاص الماء صعبا بسبب تغلب القوى الطبيعية التي تمسك الماء مع دقائق التربة على القوى المسببة لدخول الماء الى النبات.

العصارة الصاعدة في الخشب(النسغ الصاعد)(Xylem Translocation) (انتقال الماء واملاح العناصر الغذائية في الخشب):

لقد عرف منذ أكثر من قرن أن الأنسجة الخشبية هي التي تقوم بنقل الماء والمواد الذائبة فيه وسميت العملية التي يتحرك فيها الماء والمغذيات إلى الأعلى بالنسغ الصاعد.

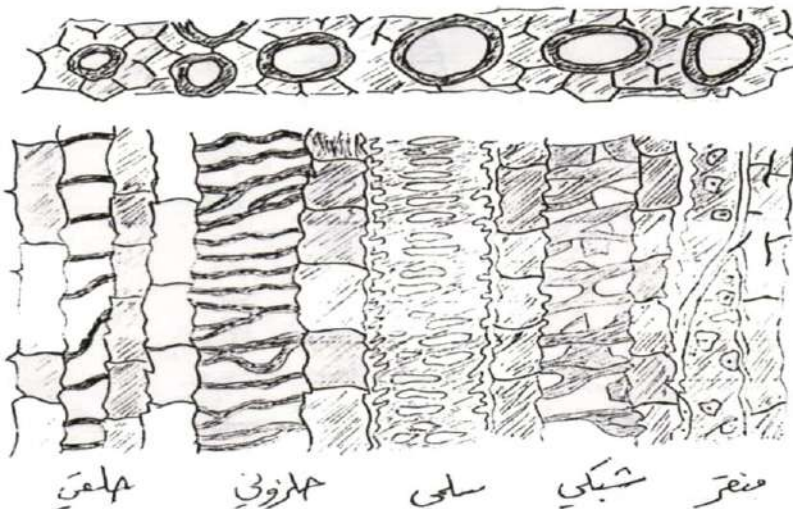
نسيج الخشب(Xylem tissue):

نسيج معقد يشمل عدة انواع من الخلايا يموت بعضها بعد النضج بينما يبقى الاخر حيا. يقوم نسيج الخشب بنقل الماء والاملاح الممتصة من التربة عبر الجذر فالساق فالأوراق حيث يتم صنع الغذاء كما يقوم بوظيفة ميكانيكية اذ يكسب الاعضاء النباتية دعما وقوة لاحتوائه على الألياف Fibers و وصلابة جدران الاوعية Vessels والقصيبات Tracheids الموجودة فيه والتي تمثل عناصر النقل في النسيج الخشبي.

يتركب نسيج الخشب في معظم مغطاة البذور من الاوعية القصبية والقصيبات والنسيج الحشوي الخشبي والياف الخشب في حين تغيب الأوعية القصبية في نباتات عاريات البذور:

اولا": الاوعية القصبية xylem vessels:

وهي تراكيب انبوبية متعددة الخلايا وظيفتها الرئيسية نقل الماء والأملاح المذابة. يتركب الوعاء من سلسلة طويلة من الخلايا يتصل بعضها ببعض عند نهاياتها مكونة تركيبا أنبوبيا ويطلق عليه الوعاء القصبي أو الخشبي ويطلق على الخلايا المشتركة في تكوينه بوحدات الوعاء الخشبي وتكون الجدران النهائية لهذه الوحدات مثقبة او ذائبة كليا. عند نضج الوعاء تموت الخلايا المكونة له، وتختفي المحتويات البروتوبلازمية الموجودة فيها، وعندها يصبح الوعاء قادرا على القيام بوظيفة النقل. تتثخن الجدران الثانوية للأوعية البالغة بمادة اللكنين الذي يضاف بشكل يؤدي الى حصول طرز مختلفة من التثخنات الجدارية كالحلقي ، الحلزوني، السلمي، الشبكي، المنقر. شكل (4)

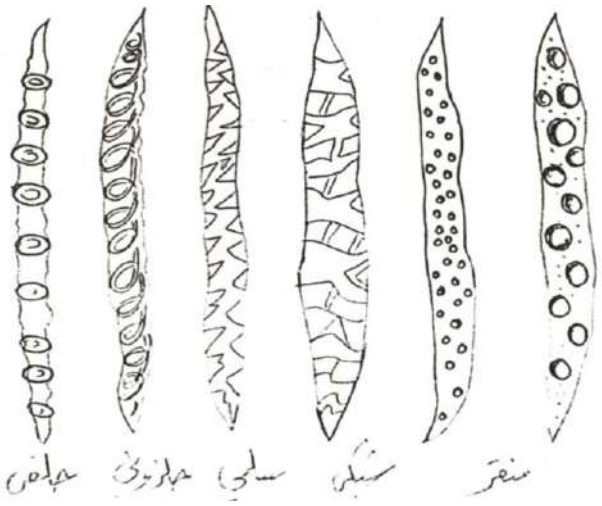


شكل رقم (4) طرز التثخنات في الأوعية الخشبية

يختلف طول الاوعية باختلاف النباتات وغالبا ما يصل طولها بضعة سنتمترات، الا انها قد تصل الى عدة امتار في بعض الاشجار كالكروم. ويعتبر وجود الاوعية صفة مميزة لخشب نباتات مغطاة البذور التي تضم ذوات الفلقتين، ونباتات ذوات الفلقة الواحدة ولكنها معدومة في خشب معظم عاريات البذور كالصنوبر.

ثانيا: القصيبات Tracheids

وهي خلايا طولية الشكل مدببة الطرفين يموت بروتوبلازمها عند النضج وظيفتها الاساس نقل الماء والاملاح .وتمثل كل قصبة خلية واحدة تحوي جدرانها النهائية والقطرية التي تفصل بعض القصيبات المتجاورة على نقر، وبذلك يتم انتقال الماء والاملاح من قصيبة الى اخرى. كما هو الحال في الاوعية فأن الجدران الثانوية لهذه الخلايا تتشخن بمادة اللكنين. وبطرز مختلفة او طرزا مختلفة مشابهه لتلك التي ذكرت في الاوعية شكل (5). توجد القصيبات في خشب نباتات مغطاة البذور وعاريات البذور.



القصيبات:
1-كل قصيبة تمثل خلية.
2- الاتصال عبر النقر.

شكل رقم (5) أنواع الترسبات في القصيبات

ثالثا":النسيج الحشوي الخشبي Xylem Parenchyma

وهي خلايا حشوية حية موجودة ضمن نسيج الخشب، وموزعة بين عناصره كالاوعية والقصيبات او قد تكون موجودة على شكل صفوف قطرية مكونة ما يعرف بأشعة الخشب rays Xylem في حالة الخشب الثانوي .ان وظيفة الخلايا الحشوية الخشبية النقل الجانبي للماء والمواد الغذائية وكذلك قد تخزن المواد الغذائية احياناً.

رابعا": الياف الخشب Xylem fibers

وهي خلايا طولية مستدقة وذات جدران ثانوية متثخنة باللكنين تموت عند نضجها. توجد الألياف ضمن نسيج الخشب الابتدائي وتقوم بوظيفة تقوية النبات ميكانيكياً.

الخشب الابتدائي والخشب الثانوي:

يتميز الخشب بالنسبة الى نشوئه الى خشب ابتدائي وخشب ثانوي وفيما يلي شرح موجز لكلا النوعين:

الخشب الابتدائي Primary Xylem:

وهو الخشب الذي يشتق مباشرة من الكمبيوم الاولي Procombium خلال فترة النمو الابتدائي، ويبقى الخشب الوحيد في نباتات ذوات الفلقة الواحدة وبعض نباتات ذوات الفلقتين العشبية اذ لايتكون خشب ثانوي في مثل هذه النباتات.

الخشب الثانوي Secondary Xylem

وهو الخشب الذي يكونه الكمبيوم الوعائي Vascular Combium خلال عملية النمو الثانوي ويتكون عادة في سيقان وجذور معظم نباتات ذوات الفلقتين وعارية البذور اضافة الى الخشب الابتدائي الموجود فيها اصلاً.

معدل صعود العصارة

إن معدل حركة العصارة الخشبية يختلف بإختلاف النباتات والظروف البيئية. ففي نباتات عارية البذور الخالية من الأوعية القصبية يكون معدل صعود العصارة قليل ويقارب 1,5 م/ساعة أما في نباتات مغطاة البذور الحاوية على الأوعية القصبية المفتوحة نسبياً بالإضافة إلى القصيبات فإن معدل حركة العصارة يكون عالياً يتراوح ما بين 50– 150 م/ساعة.

ميكانيكية صعود العصارة الخشبية في النبات :

أ- الضغط الجذري Root Pressure:

يقصد به الضغط الذي يتولد في العناصر الناقلة للخشب نتيجة الفعاليات الايضية للجذور ويعمل على دفع العصارة الخشبية الى اعلى النبات حيث يلاحظ عند قطع الساق النباتي انسياب العصارة الخشبية نتيجة الضغط الجذري وبشكل عام يبلغ مقدار الضغط الجذري 2 ضغط جو او اقل باستثناء القليل من الحالات. مع إن الضغط الجذري يفسر تحرك جزء من الماء الى الاعلى في بعض انواع النباتات وفي ظروف معينة الى ان هناك عدة اسباب تحول دون اعتباره العملية الآلية الأساسية لحركة الماء خلال النبات منها ما يلي:

1. لم تلاحظ ظاهرة انسياب العصارة في أنواع كثيرة من النباتات.
2. مقدار الضغط الجذري صغير وغير كافي لرفع الماء الى الارتفاعات التي تصل اليها معظم الاشجار.

3. لم تسجل اي ضغوط جذرية في معظم المخروطيات (معرات البذور) التي تعتبر من اطول الاشجار.

4. ان معدل انسياب العصارة ابطئ بكثير من معدل النتح وان العصير الخشبي في الظروف الاعتيادية يكون تحت تاثير شد وليس تحت تأثير ضغط.

ب- النظرية الحيوية Vital Theories:

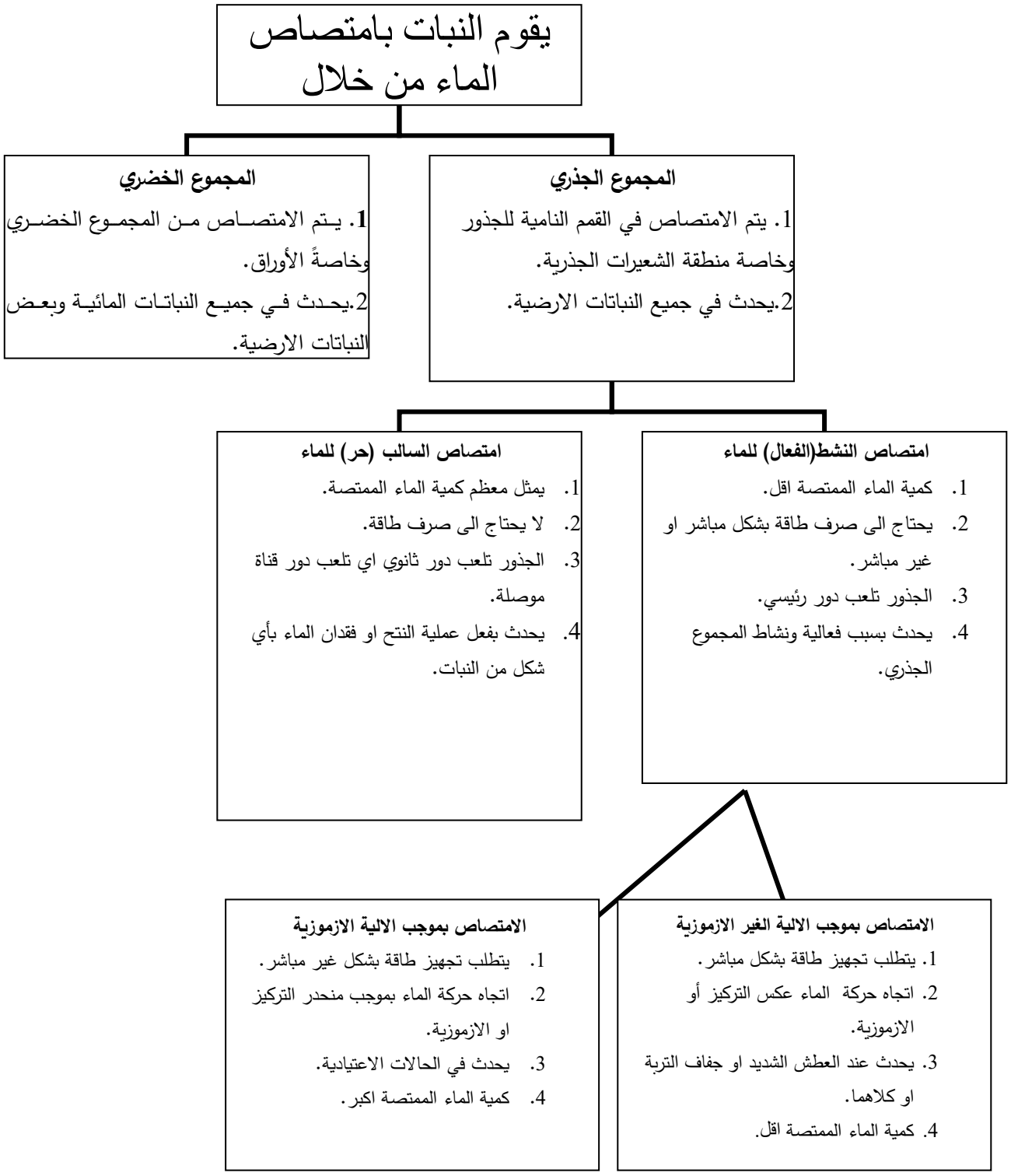
يعتقد بعض الباحثين بان سبب انتقال الماء الى الاعلى في النبات يعود الى تأثير فعاليات حيوية (اي فعاليات تحتاج الى طاقة) يتم تجهيزها في خلايا برنكيما الخشب الحية الا انه لاتوجد ادلة تعزز هذه النظرية بالاضافة الى انه لوحظ عند قتل الخلايا الحية الموجودة في الساق لم يحدث توقف ارتفاع الماء.

جـ -نظرية سحب النتح والتماسك ولتلاصق :

خلاصتها بان الماء وما فيه من ذائبات يرتفع بشكل اعمدة مائية متصلة في انسجة الخشب نتيجة لقوى التماسك بين جزيئات الماء داخل العمود وقوى التلاصق بين الماء وجدران الاوعية وتداخلها مع قوى السحب المتولدة في الاوراق نتيجة النتح .بموجب هذه النظرية من المفروض بان حدوث اي كسر في اعمدة الماء في الخشب ودخول فقاعة هوائية فيها سوف يسبب توقف حركة الماء خلال الانسجة الخشبية لكن يلاحظ بان حركة الماء تستمر في النبات على الرغم من تكسر غصن او اكثر ودخول فقاعة هوائية فيه كما لوحظ بان ادخال احدى المواد الغريبة داخل الغصن المقطوع لا يؤثر على سير العصارة الخشبية وان معدل النتح لا يتغير. فضلاً عن أنه في الشتاء تتجمد العصارة الخشبية ويبقى الهواء المذاب بشكل فقاعات في الجليد وعند ذوبان الثلج تبقى الفقاعات الهوائية وتعرقل حركة العصارة في حين جريان العصارة في الربيع يحدث ويستمر كذلك فان أعمدة الماء قد تنكسر بسبب حدوث اهتزاز النبات بالرياح او غيره من العوامل ويتوقف ارتفاع الماء لكن يلاحظ استمرار ارتفاع الماء في النبات على الرغم من تعرضه لتاثير الرياح .

الخلاصة :

اكبر امتصاص للماء يحدث من خلال الجذور وخاصةً في منطقة القمة النامية وبالذات في منطقة الشعيرات الجذرية ثم الاستطالة. الامتصاص السالب هو الافضل لأنه يحدث من دون الحاجة الى صرف طاقة إذ تلعب الجذور دور القناة الموصلة ويحدث بموجبه امتصاص اكبر كمية من الماء مقارنتا مع طرق الامتصاص الاخرى .


يقوم النبات بامتصاص الماء من خلال
المجموع الجذري
1. يتم الامتصاص في القمم النامية للجذور وخاصة منطقة الشعيرات الجذرية.
2.يحدث في جميع النباتات الارضية.
المجموع الخضري
1. يتم الامتصاص من المجموع الخضري وخاصةً الأوراق.
2.يحدث في جميع النباتات المائية وبعض النباتات الارضية.
امتصاص النشط(الفعال) للماء
1. كمية الماء الممتصة اقل.
2. يحتاج الى صرف طاقة بشكل مباشر او غير مباشر.
3. الجذور تلعب دور رئيسي.
4. يحدث بسبب فعالية ونشاط المجموع الجذري.
امتصاص السالب (حر) للماء
1. يمثل معظم كمية الماء الممتصة.
2. لا يحتاج الى صرف طاقة.
3. الجذور تلعب دور ثانوي اي تلعب دور قناة موصلة.
4. يحدث بفعل عملية النتح او فقدان الماء بأي شكل من النبات.
الامتصاص بموجب الالية الغير الازموزية
1. يتطلب تجهيز طاقة بشكل مباشر.
2. اتجاه حركة الماء عكس التركيز أو الازموزية.
3. يحدث عند العطش الشديد او جفاف التربة او كلاهما.
4. كمية الماء الممتصة اقل.
الامتصاص بموجب الالية الازموزية
1. يتطلب تجهيز طاقة بشكل غير مباشر.
2. اتجاه حركة الماء بموجب منحدر التركيز او الازموزية.
3. يحدث في الحالات الاعتيادية.
4. كمية الماء الممتصة اكبر.

المحاضرة الخامسة

فقد الماء من النبات

على الرغم من أن النباتات تحتاج إلى الماء بكميات كبيرة لتحافظ على حياتها وسير العمليات الحيوية , إلا أن الدراسات دلت على أن كمية الماء المفقودة كبيرة وقد تصل إلى 95٪ من كمية الماء الممتص في حين لا تزيد الكمية المستعملة عن 5٪ من كمية الماء الممتص، وبشكل عام لكي تحافظ النباتات على محتواها المائي يلزمها أن تمتص كميات من الماء أكثر مما تفقد وتحتفظ بالفرق لبناء الأنسجة الجديدة وقد لا تحدث هذه الحالة في كثير من الأحيان، بل أن معدل فقدان الماء قد يفوق في بعض الحالات معدل امتصاصه ويحدث نوع من الذبول في النبات.

طرق فقدان الماء من النبات:

يحدث فقدان الماء من النبات بطرق مختلفة منها ما يلي:

1.الإفراز Secretion:- فقدان الماء السائل بشكل محاليل من الغدد الإفرازية وخاصة الغدد الرحيقية أو الصمغية.

2.الإدماء Bleeding:-فقدان الماء بصورة سائلة(عصارة)من الجروح التي تحدث في النبات.

وبشكل عام كمية الماء التي تفقد بموجب هاتين العمليتين قليلة ولا تعتبر ذات أهمية.

3.الإدماع Guttation :- فقدان الماء بصورة سائلة وعلى شكل قطرات من الثغور المائية hydathodes التي تتواجد عند قمم عروق الأوراق وتحدث عادة تحت الظروف الدافئة الرطبة حيث يكون معدل امتصاص الماء اكبر من فقدانه بالنتح، ومن العوامل التي تحفز الإدماع هي:-

أ-الامتصاص العالي للماء.

ب-الضغط الجذري العالي.

ج-انخفاض أو انعدام النتح: حيث انه تحت هذه الظروف يفوق امتصاص الماء النتح وبالتالي يندفع الماء إلى الأعلى عبر أوعية الخشب ويخرج من خلال الثغور المائية. الماء المفقود بهذه الطريقة يحوي العديد من المواد الذائبة كالسكريات والأملاح المعدنية والحوامض والقواعد والفيتامينات.

شكل (1): فقدان الماء بعملية الإدماع.

4.النتح Transpiration:-فقدان الماء من النبات بشكل بخار من خلال الادمة او العديسات او الثغور وكما موضح أدناه:-

أ-النتح الادمي .Guticular T: هي عملية انتشار بخار الماء خلال طبقة الادمة والتي تمثل بطبقة شمعية من الكيوتين او الكيوتكل تغطي سطح الورقة وتعيق فقدان الماء بشدة وبدونها من المستحيل ان يبقى الماء في النبات .

مدى النتح الادمي يختلف باختلاف الأصناف والأنواع وعمر النبات او الورقة فهو كبير في الاوراق الحديثة التكوين وبشرة السيقان الغضة الفتية لعدم اكتمال تكوين طبقة الأدمة أو كونها رقيقة في حين يقل في الاوراق الكبيرة او البالغة.كما وان طبقة الكيوتين تكون اسمك في الاوراق المعرضة لضوء الشمس المباشر ونباتات البيئة الجافة بالمقارنة مع أوراق نباتات الظل والبيئة الرطبة.

ب-النتح العديسي .Lenticular T:- هي عملية فقدان بخار الماء عن طريق عديسات Lenticel السيقان والأفرع والتي تمثل فتحات دقيقة في الأنسجة الفلينية التي تغطي أسطح السيقان والأفرع. وعلى الرغم من ان هذا النوع من النتح ضئيل الأهمية مقارنة مع أنواع النتح الآخر إلا انه يزداد أهمية في حالة سقوط أوراق بعض النباتات عند حلول فصل الشتاء لفقدان النبات قدرته على النتح الثغري.

ج- النتح الثغري .Stomatal T:- هو تبخر الماء من النباتات عن طريق الثغور الموجودة على الأوراق ويعد من أهم أنواع النتح إذ تصل كمية الماء المفقودة بهذه الطريقة إلى 95٪ او أكثر من مجموع ما يفقده النبات من الماء.

ان كمية الماء المفقودة بواسطة النتح الادمي والعديسي غير ذي قيمة مقارنة مع الكمية المفقودة بالنتح الثغري الا انه تحت ظروف الجفاف الشديد والتي تسبب غلق الثغور يمكن اعتبار الماء المفقود خلال الأدمة والعديسات ذات قيمة.

المدى الكمي للنتح:- إن كمية الماء المستعملة فعلا من قبل النبات صغيرة جدا بالمقارنة بكميات الماء المفقودة بعملية النتح فمثلا وجد بان معدل النتح للنباتات العشبية عالي جدا لدرجة انه يتم استبدال جميع الماء الموجود داخل بعض النباتات في اليوم الواحد إذا كانت الظروف مشجعة للنتح. كما قدر مقدار النتح لنبات واحد من الذرة ولموسم نمو واحد فقط بلغ 216 لتر في حين وجد بأن ما تفقده غابة واحدة من الماء بلغ 8000 غالون ماء/ايكر في اليوم الواحد.

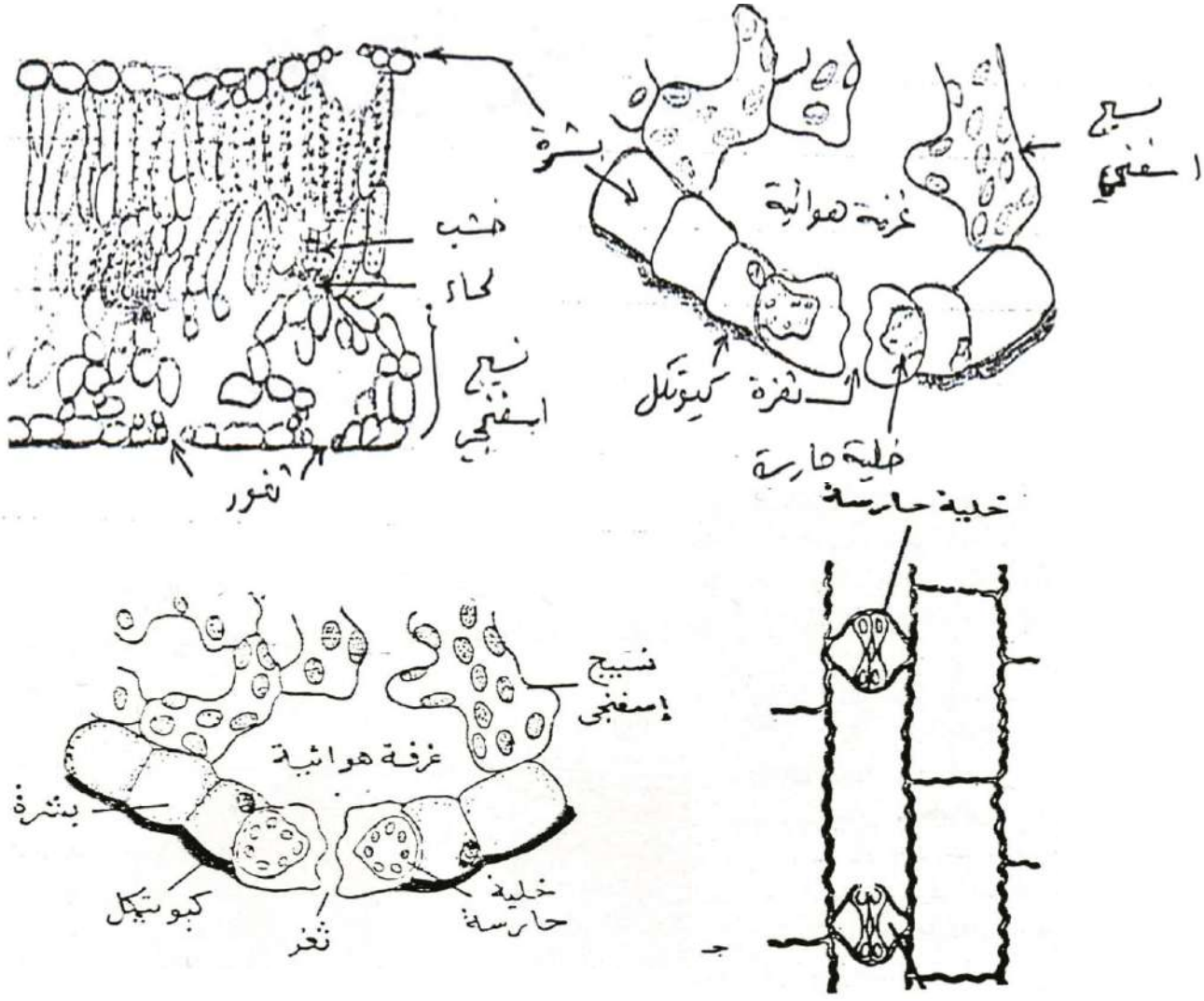
الايكر=4840 ياردة = 4046,24م^2 فدان=4200م^2

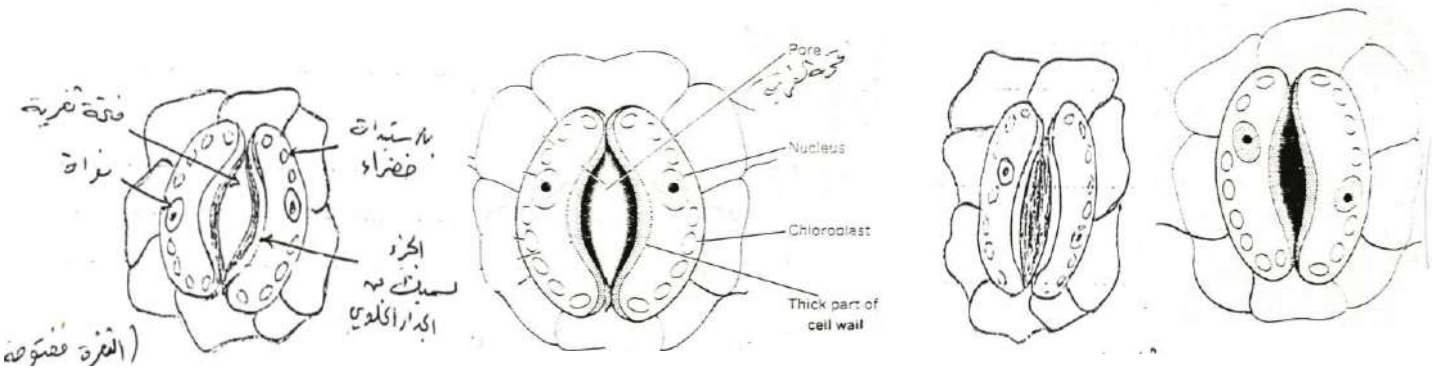
تشريح الجهاز الثغري:

يتكون الجهاز الثغري من ثلاث عناصر رئيسية هي:

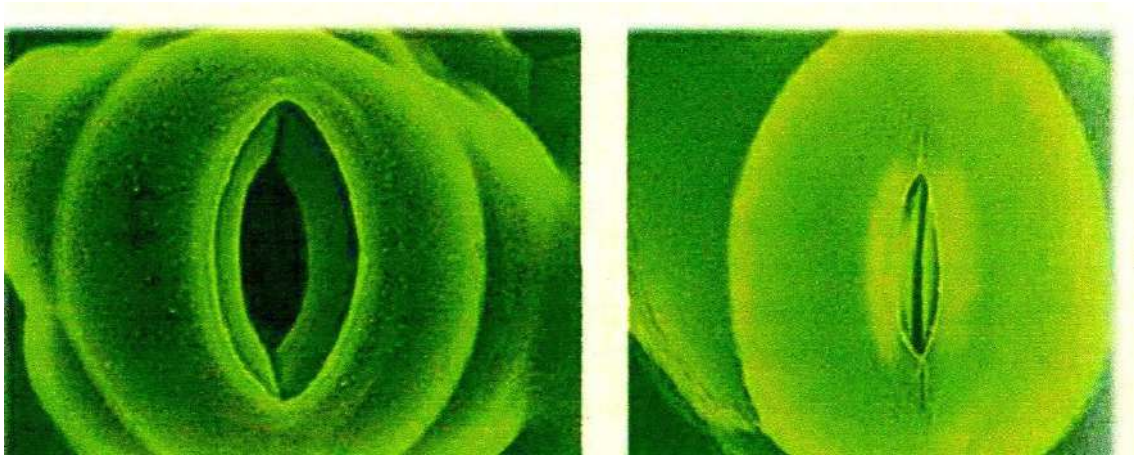
أ-الخلايا الحارسة Guard cell:

هي خلايا محورة من خلايا البشرة إذ تختلف في الشكل عن خلايا البشرة الاعتيادية المجاورة لها وذلك باختلاف درجة تثخن جدرها في المواقع المختلفة مما يتيح لها قابلية الحركة التي بنتيجتها تفتح أو تغلق الثغور،حيث يكون جدار الخلية المجاورة للثغرة أثخن واقل مرونة من الجدار المجاور لخلايا البشرة العادية (شكل 2). تتواجد الخلايا الحارسة بشكل أزواج متقابلة وتتميز باحتوائها على بلاستيدات خضراء مما يتيح لها القدرة للقيام بعملية التركيب الضوئي وصنع الغذاء.





ثغور مغلقة ثغور مفتوحة



ثغرة مقفلة ثغرة مفتوحة

شكل (2): مكونات الجهاز الثغري

ب- الفتحات الثغرية Pores or stomatal opening: فتحات مجهرية توجد على سطح الورقة وبأعداد كبيرة وتمثل القناة المنفذة لبخار الماء من المحيط الداخلي للورقة إلى المحيط الخارجي للنبات.

ج-الغرف الهوائية Supstomatal chamber:

فسح أو فراغات هوائية توجد مابين خلايا النسيج المتوسط للورقة وتتميز بكبر مساحتها وبكونها دائمة الابتلال بسبب ما تتشرب به من ماء من الخلايا المجاورة ذات الجدر الرقيقة.

فعند ازدياد المحتويات الازموية في الخلايا الحارسة بسبب صنعها للغذاء لاحتوائها على البلاستيدات الخضراء يصبح جهد الماء في الخلايا الحارسة أكثر سالبية مما في الخلايا المجاورة وينتشر الماء إلى داخل الخلايا الحارسة من خلال الخلايا المساعدة التي تجاور الخلايا الحارسة وبالتالي تفتح الثغور ويحدث العكس تماما عند قلة المحتويات الازموزية في الخلايا الحارسة ويخرج الماء منها إلى الخلايا المساعدة والمجاورة لها وتنكمش الخلايا الحارسة وتغلق الثغور. ولقد وجد بان فتح الثغور يستغرق حوالي ساعة بينما غلقها يستغرق اقل من ساعة.

توزيع الثغور:

توجد الثغور عادة على السطح السفلي للورقة النباتية وهناك نباتات كثيرة توجد فيها الثغور على السطح العلوي لأوراقها في حين هناك أنواع ثالثة توجد الثغور فيها على كلا السطحين لكن يكون عددها في السطح السفلي اكبر من العلوي عادة.في النباتات ذات الفلقتين يبلغ متوسط عدد الثغور لكل سم^2 حوالي 10000 في حين للنباتات النجيلية وذات الفلقة الواحدة يتراوح مابين1000–2000. وبشكل عام تقدر مساحة الثغور مجتمعة وهي مفتوحة على اقصاها بحوالي 1–2٪ من المساحة السطحية للورقة.

تسبب بعض العوامل المحيطة بالنبات تأثيرا كبيرا على فتح وغلق الثغور من خلال تأثيرها على الجهد الازموزي منها:

1–الضوء:– عادة تفتح الثغور الورقية عند تعرضها للضوء وتستمر مفتوحة تحت ظروف الإضاءة المستمرة ما لم تصبح بعض العوامل الأخرى محددة وتشذ عن هذه القاعدة بعض النباتات مثل الصبير والبصل والبطاطس والقرع العسلي حيث تفتح ثغورها ليلا.

وكلما زاد الضوء الذي تمتصه الأوراق كلما زادت فتحة الثغري الاتساع علما بان بعض الأنواع النباتية لها القدرة على النتح حتى تحت ضوء القمر الساطع أو تحت تأثير الضوء الصناعي. يعتقد بان الضوء يلعب احد الأدوار التالية في فتح وغلق الثغور:

أ– يساعد وجود الضوء على حدوث عملية التركيب الضوئي في الخلايا الحارسة وتراكم السكريات فيها مما يؤدي إلى زيادة المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة ونتيجة لذلك تمتص الماء وتنفتح ويحدث فتح الثغور. من الانتقادات الموجهة إلى هذا التفسير هو أن السكر المتكون في الخلايا الحارسة ليس بتلك الدرجة الكبيرة التي تولد جهداً ازموزيا يستطيع سحب الماء إليها.

ب– يرجح بان الطاقة الضوئية التي يمتصها النبات تتحول إلى طاقة كيمياوية بشكلATPتستعمل لضخ الايونات(مثلK^+) من الخلايا المجاورة للخلايا الحارسة إلى داخل الخلايا الحارسة مما يؤدي الى زيادة المحتويات الازموزية فيها وبالتالي سحبها للماء وفتح الثغور.

ج–تحول النشا إلى سكر:

$$\text{نشأ} \xrightleftharpoons[\text{PH(5) ظلام (ليل)}]{\text{أنزيم Phosphorylase، ضوء (نهار) PH(7)}} \text{سكر}$$

يعتقد بان CO_2 المتجمع في الخلايا الحارسة ليلا (بسبب حدوث عملية التنفس وتوقف التركيب الضوئي) يذوب في الماء مكونا حامض الكاربونيك.($CO_2+H_2O \longrightarrow H_2CO_3$)الذي يسبب

انخفاض الـ PH أي زيادة حموضة المحيط في حين عند حلول النهار أو الضوء يستخدم CO_2 في التركيب الضوئي ونتيجة لذلك يرتفع PH ويتحول الوسط إلى متعادل او قاعدي ومثل هذه الظروف ملائمة لعمل أنزيم الفسفورليز الذي يحول النشأ إلى سكر وبالتالي تزداد المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة وتسحب الماء إليها وتفتح الثغور.

2- الحرارة:-تبقى الفتحات الثغرية مقفلة غادة عندما تكون درجات الحرارة منخفضة او قريبة من التجمد وتزداد فتحة الثغر اتساعا بزيادة الحرارة حتى 20-30م°.

3- المحتوى المائي للنبات والأوراق:- تتأثر حركة الثغور بكمية الماء الموجودة في النباتات وخصوصا في الأوراق فعندما يقل المحتوى المائي للنبات تغلق الثغور حيث وجد بان فقد الماء الشديد من الخلايا الحارسة ينشط التفاعلات الكيمياوية المؤدية إلى تكوين النشأ بكميات كبيرة وبسرعة واضحة مما يؤدي إلى قلة سالبية الجهد الازموزي للخلايا الحارسة وبالتالي غلق الثغور.

الجفاف الفسيولوجي Physiological drought:

حالة ذبول فسلجية تحدث للنبات عندما تكون كمية الماء الممتصة اقل من كمية الماء المفقودة بالنتح وتحدث هذه الحالة عندما تكون الارض مغمورة بالماء ومشبعة به او عند استخدام كميات كبيرة من السماد.

العوامل المؤثرة على معدل النتح:-

اولا: العوامل البيئية:-

1-الضوء:- يعمل على فتح الثغور وحدوث النتح. لقد وجد بان شدة الإضاءة المناسبة للنتح تتراوح مابين 100-600شمعة/قدم. علما بان هناك عدد من الأنواع النباتية تفتح ثغورها حتى تحت ضوء القمر الساطع ومن الدراسات المختلفة تبين بان كل من الضوء الأحمر (650مليمايكرون) والأزرق (440مليمايكرون) يؤثران على حركة الثغور لكن الأخير هو الأكثر تأثيرا. عموما يمكن القول بأنه كلما ازداد الضوء الذي تمتصه الأوراق زادت فتحة الثغر اتساعا.

2-الرطوبة النسبية الجوية(رطوبة الهواء):- أن قلة الرطوبة الجوية تزيد من النتح حيث يكون الهواء داخل الغرف الهوائية للأوراق النباتية في حالة تشبع تام بينما يحمل الهواء الجوي الخارجي كمية اقل من بخار الماء وتكون النتيجة خروج الماء من الغرف الهوائية حيث الضغط البخاري عالي إلى الهواء الخارجي حيث الضغط البخاري اقل.

3-درجة الحرارة:-عندما تكون جميع العوامل الأخرى ثابتة فان الزيادة في درجة الحرارة ضمن الحدود الفسيولوجية يؤدي إلى زيادة النتح بسبب تأثيرها على حركة الثغور(من خلال تغير الازموزية والطاقة الكيمياوية) وفرق الضغط البخاري . عموما تغلق الثغور عندما تقترب درجة الحرارة من صفر °م وتزداد اتساعا عند ارتفاع الحرارة حتى درجة20[5]م.

4–الرياح:– لها تأثير معقد على النتح فقد تعمل على زيادته نتيجة استبدال الهواء المشبع الموجود حول الورقة بهواء غير مشبع أو قد تعمل على تقليل النتح لأنها تعمل على غلق الثغور الورقية وخاصة في حالة السرع العالية للرياح.

5– توافر ماء التربة وكفاءة امتصاصه: يقل النتح عند عدم توفر ماء التربة أو عند ضعف إمكانية امتصاصه أو للسببين معا وبالعكس.

ثانيا: العوامل النباتية:

1– نسبة المجموع الجذري إلى الخضري: يزداد النتح بزيادة هذه النسبة وبالعكس.

2– المساحة السطحية للأوراق(المساحة الورقية): ذات تأثير معقد فمن المفروض أن يزداد النتح كلما زادت المساحة الورقية للنبات من الناحية النظرية لكن هذه الحالة ليست ذات علاقة طردية دائما لان عمر الأوراق يلعب دور كبير أيضا في هذا المجال وذلك لان الأوراق الحديثة في السن بشكل اكبر من الكبيرة السن تنتح وذلك لعدم اكتمال تكوينها.

3– تركيب الأوراق: يلعب تركيب الأوراق دور مهم في تأثيرة على النتح وهذا ما يظهر خاصة في النباتات الصحراوية حيث تظهر تحورات في تراكيبها الورقية خاصة تساعدها على العيش في مثل هذه الظروف ومن هذه التحورات ما يلي :

أ– تكوين كيوتكل سميك.

ب– تكوين خلايا ميزوفيل ذات جدر سميكة وذات نمو جيد ومتطور.

ج– تكوين ثغور غائرة.

د– امتلاكها لشعيرات ميتة تغطي البشرة.

دور النتح في نمو وتطور النبات:

إن دور النتح في نمو وتطور النبات لازال غير واضح لجميع النباتات فقد لوحظ بان بعض الأنواع النباتية تستطيع النمو في بيئة ذات رطوبة نسبية 100٪ حيث يكون النتح فيها قليلا أو معدوما في حين نباتات أخرى تنمو بنجاح في بيئة يحدث فيها النتح ومع ذلك يوصي بعض العلماء بوجود فوائد للنتح ولخصوها بالتالي:

1– يساعد على امتصاص الماء بما فيه من ذائبات من التربة.

2– يلعب دور في تبريد الأوراق لنباتية وبالتالي النبات ككل.

3– المحافظة على انتفاخ الخلايا.

4– يعتقد بأنه يلعب دور في نمو وتطور النبات.

طرق حفظ الماء في النبات(وسائل تقليل فقد الماء من النبات):

1– استئصال الحشائش والنباتات التي تنافس المحصول الرئيسي.

2– زرع مصدات الرياح حول الحقول الزراعية لتقليل تأثير الهواء الجاف

3- استعمال مضادات النتح Antitranspirations: وهي عبارة عن مواد أو معاملات مختلفة لها القدرة على تقليل النتح عندما تطبق على أجزاء من النبات أو النبات ككل ومنها ما يلي:

أ- لف النباتات أو العقل بالقش أو الطحالب الرطبة لتقليل النتح وحمايتها من الجفاف.

ب- رش المجموع الخضري للنباتات ببعض المواد الكيمياوية التي تعمل على عكس(إرجاع) الأشعة الضوئية وبالتالي تقلل من تأثير درجات الحرارة والنتح .

ج- تغطية الأوراق بمستحلبات من الشمع أو المواد البلاستيكية لتكون غطاء رقيق يمنع فقدان الماء.

د- رش النباتات بمواد كيمياوية تمنع تفتح الثغور جزئياً أو كليا وبالتالي تقلل النتح علما بان بعض هذه المواد قد تعيق دخول CO_2 أيضا وبالتالي تقلل من كفاءة التركيب الضوئي ومنها ما يلي:

1- Phenyl mercuric acetate (PMA) يقلل من النتح الى حد كبير وذات تأثير بسيط على التركيب الضوئي.

2- Monomethayl ester of decenyl succinics acid وهي مادة فعالة في غلق الثغور.

المحاضرة السادسة

العصارة اللحائية (النسغ النازل)

انتقال المواد الذائبة Translocation Of Solutes :

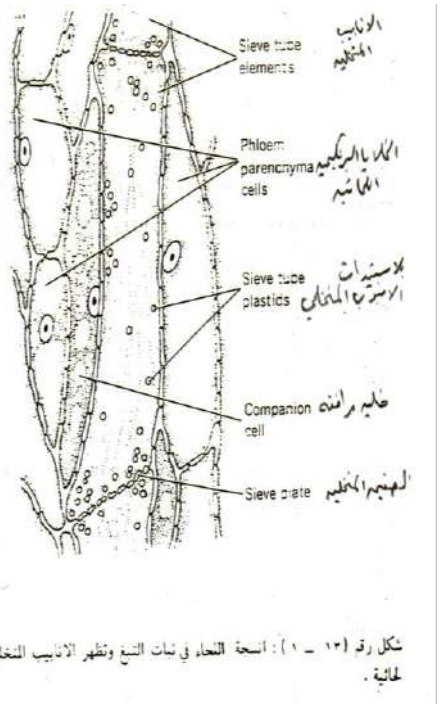
لقد عرف منذ زمن بعيد ومن تطور علم فسيلوجيا النبات بان الماء والمواد الذائبة فيه تنتقل من خلال الانسجة الوعائية الخشبية واللحائية ولمسافات طويلة داخل النبات ولكن انتقال المواد العضوية الذائبة بأنواعها المختلفة خلال الأنسجة اللحائية والخشبية بقي اكثر تعقيدا او اقل فهما الى حد الان من انتقال الماء والأملاح المعدنية خلال الأنسجة الخشبية .

تشريح انسجة اللحاء :

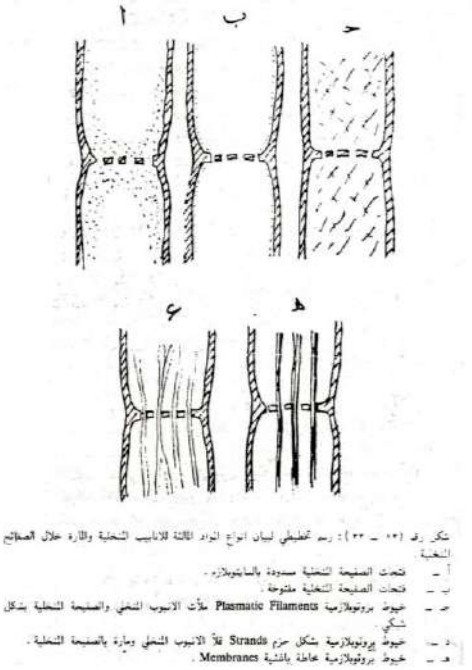
تتكون أنسجة اللحاء من:

1- الأنابيب المنخلية أو الغربالية Sieve Tube Elements :

خلايا على درجة عالية من التخصص , تنتظم فوق بعضها البعض لتكون عمود قائم وتتحور الجدر العرضية الفاصلة بين الأنابيب أو الخلايا إلى مناطق متخصصة تسمى بالصفائح المنخلية والتي تقوم بربط الأنابيب المنخلية بعضها مع بعض حيث تمر الشرائط السايتوبلازمية من خلالها وبذلك يكون الارتباط السايتوبلازمي مستمرا أو متصلا في جميع أجزاء الأنبوب الغربالي وكما موضح بالرسم :



شكل رقم (١٣ ـ ١) : انسجة اللحاء في نبات التبغ وتظهر الانابيب المنخلية والخلايا المرافقة وخلايا حشو لحائية .



شكل رقم (١٣ ـ ٢) : رسم تخطيطي لبيان انواع المواد الثلاثة للانابيب المنخلية والمارة خلال الصفائح المنخلية

أ ـ فتحات الصفيحة المنخلية مسدودة بالسايتوبلازم .

ب ـ فتحات الصفيحة المنخلية مفتوحة .

حـ ـ خيوط بروتوبلازمية Plasmatic Filaments ملأت الانبوب المنخلي والصفيحة المنخلية بشكل شبكي

د ـ خيوط بروتوبلازمية بشكل حزم Strands ملأ الانبوب المنخلي ومارة بالصفيحة المنخلية .

هـ ـ خيوط بروتوبلازمية محاطة بالغشية Membranes .

خصائص الأنابيب المنخلية

1–الأنابيب المنخلية الناضجة تكون عديمة النواة وذات غشاء خلوي رقيق كما انها لا تحتوي على غشاء للفجوات Tonoplast مما يؤدي الى امتزاج السايتوبلازم بعصير الفجوات .

2–قلة عدد المايتوكوندريا وصغر حجمها كما ان الشبكة الاندوبلازمية تكون منحلة ومجزئة الى أجزاء قريبة من غشاء البلازما.

3–الانبوب المنخلي يكون حيا عندما يقوم بوظيفته.

4–قلة حيوية الانبوب المنخلي الناضج.

5–تكون الأنابيب المنخلية بصورة عامة قصيرة العمر فهي تعمر لفصل نمو واحد بصورة عامة وفي بعض النباتات قد تعمر لأكثر من فصل نمو واحد.

6–الأنبوب المنخلي يكون حساس جدا للمؤثرات الميكانيكية والكيمياوية والحرارة لخلوه من النواة.

7–حدوث ترسبات مادة الكالوس Callose على جوانب الأنبوب المنخلي وفي الصفيحة المنخلية مما يؤدي الى غلق بعض فتحاتها.

8–يعتقد بعض الباحثين بوجود ظاهرة الانسياب السايتوبلازمي في الأنبوب المنخلي الناضج.

9–يمكن بلزمة Plasmolysis الأنبوب المنخلي لكن بصعوبة بسبب انتشار البروتوبلازم.

10–توجد بعض البلاستيدات في الأنبوب المنخلي الناضج.

11–قلة وجود المواد الدهنية في الأنابيب المنخلية بسبب رقة الغشاء البلازمي وانعدام الغشاء الفجوي.

2– الخلايا المرافقة Companion Cell :

توجد في مغطاة البذور وتكون مرافقة للأنابيب المنخلية في حين توجد الخلايا الزلالية او الالبومينية Albuminous Cell في النباتات عارية البذور والذي يعتقد بانها تقوم بنفس الدور الذي تقوم به الخلايا المرافقة.تمتلك كل من الخلايا المرافقة والزلالية نواة بعكس الانابيب المنخلية التي تفقد نواتها عند النضج وتساعد هذه الخلايا الانابيب المنخلية في عملية نقل المواد الغذائية والدليل على ذلك عند موت الخلايا المرافقة تفقد الانابيب المنخلية القدرة على تنفيذ وظائفها . اذ ان الخلايا المرافقة والأنابيب المنخلية يتعاونان كوحدة وظيفية واحدة من خلال تأثير نواة الخلية المرافقة على الانبوب المنخلي العديم النواة من جهة واستخدام الطاقة المتكونة في الخلايا المرافقة لعمليات النقل التي تحدث في الأنبوب المنخلي خاصة وان مثل هذه العلاقة قد تم تأييدها بواسطة المجهر الالكتروني حيث ظهر بان الاتصال شديد مابين الخلايا المرافقة والأنبوب المنخلي من خلال القنوات السايتوبلازمية بالإضافة الى قلة أعداد المايتوكندريا في الانبوب المنخلي مقارنة مع الخلية المرافقة .

3- الخلايا الحشوية اللحائية Phloem Parenchyma والاشعة اللبية Ray Cells:

ان هذه الخلايا تقوم بوظيفة الخزن ونقل المواد الغذائية جانبيا بالاضافة الى دورها الضئيل في تكوين بعض المواد العضوية المهمة للنبات .

بعض الباحثين يعتقد بان الخلايا الحشوية اللحائية تعمل عمل المضخة في تجهيز الطاقة لضخ المغذيات في الأنابيب المنخلية من منطقة (المصدر او المنبع Sourse)الى (منطقة المستهلك او المصب Sink). كما تحتوي الخلايا البرنكيمية لنسيج اللحاء الموجود في الاوراق والسيقان الخضراء على البلاستيدات الخضراء ولهذا تزود الانابيب المنخلية بالسكر مباشرة .

س) عدد وظائف الخلايا البرنكيمية اللحاء ؟

4-الياف وانسجة الاسكلريدات اللحائية :

تقوم بوظيفة تقوية انسجة اللحاء ميكانيكيا .

المواد المنقولة في اللحاء:

1-ايونات العناصر المعدنية :

تمتص من محلول التربة بواسطة الشعيرات الجذرية ثم تنتقل خلال الأنسجة الوعائية الخشبية إلى باقي أجزاء النبات وخاصة إلى الأجزاء المرستيمية والأجزاء التي يحدث فيها عمليات النمو السريع كالأوراق الجديدة والثمار النامية وأثناء ذلك يحدث لها انتقال جانبي من الأوعية الخشبية إلى الأوعية اللحائية من خلال النقر الموجودة ما بين جدران الخلايا.

كذلك تنتقل هذه الايونات من الأوراق القديمة التي بدأ عليها علامات الشيخوخة خلال اللحاء إلى الأوراق الحديثة النمو أو إلى القمم النامية للنبات أو البراعم التي بدأت فيها عمليات النمو والتفتح أي تنتقل هذه الايونات إلى الأسفل أو الأعلى حسب حاجة أجزاء النبات لها .

2- الكاربوهيدرات :

تشكل القسم الأكبر من المواد التي تنتقل في اللحاء وتمثل حوالي (90%) من المواد المنقولة وتكون بصورة سكريات أو نشا حيث أن السكريات تتكون خلال عملية التركيب الضوئي داخل الخلايا الحاوية على البلاستيدات الخضراء الموجودة في بعض الأجزاء النباتية كالأوراق والسيقان الفتية الخضراء) وبعدما تأخذ الخلايا المصنعة احتياجاتها من السكريات للبناء والتركيب تنتقل البقية خلال الأوعية اللحائية إلى الأجزاء الأخرى غير الخضراء لتجهيزها بمصادر الكاربون الضرورية للتمثيل والتنفس.

كذلك يحدث انتقال السكريات من الخلايا الخازنة للنشا الى الاجزاء الاخرى التي تكون بحاجة اليها فمثلا عندما يقل معدل التركيب الضوئي وتكون خلايا النبات بحاجة الى السكريات تتحلل جزيئات النشا في الخلايا المخزنة لها الى سكريات بسيطة وتنتقل منها بواسطة انسجة اللحاء الى باقي الخلايا الاخرى

نحو الاعلى او الاسفل من موقع التوزيع. فمثلا اثناء نمو البادرات يتحلل النشا الموجود في الفلق او الاندوسبيرم الى سكريات بسيطة تنتقل لتغذي بقية اجزاء البادرة.

التجارب الحديثة اثبتت بان سكر القصب السكروز sucrose يكون الجزء الرئيسي من السكريات المنقولة خلال الاوعية اللحائية لمعظم الانواع النباتية, في حين وجد في انواع نباتية معينة نسبة ملحوظة من السكريات المضاعفة Oligosaccharides والتي يشترك فيها سكر الكلاكتوز كوحدة متكررة مع سكر العنب الفركتوز وتشمل :

أ) سكر الرافينوز: يتكون من (18) ذرة كاربون وينتج من ارتباط جزيء فركتوز مع جزيء كلاكتوز.

ب) سكر الستاكيوز: يتكون من (24) ذرة كاربون وينتج من ارتباط جزيء فركتوز مع(2) جزيء كلاكتوز.

ج) سكر الفيرباسكوز: يتكون من (30) ذرة كاربون وينتج من ارتباط جزيء فركتوز مع(3) جزيء كلاكتوز.

وعلى الرغم من وجود السكريات الفوسفاتية السداسية كالكلوكوز والفركتوز في العصير اللحائي بكميات قليلة لكن وجد من التجارب بأنها لاتنتقل خلال نسيج اللحاء وانما تكون ناتجة من تحلل السكروز. كذلك وجد في عصير اللحاء سكريات كحولية مثل السوربيتول والمانيتول .

3 – المركبات النيتروجينية والاحماض الامينية :

ان نسبة وجود الحوامض الامينية في العصير اللحائي لايزيد في معظم الاحيان عن 1% وعادة تنتقل الأحماض الامينية والاميدات من الاوراق المسنة والهرمة (بسبب ارتفاع نسبة الانزيمات المحللة للبروتينات فيها) خلال الانسجة اللحائية الى الاجزاء المرستيمية والاوراق الحديثة التكوين في النبات , ولذلك فان تركيز المركبات النتروجينية في العصارة اللحائية يتأثر بالمرحلة التطورية للنبات ويزداد اواخر فصل النمو.

علل : يزداد تركيز المركبات النتروجينية اواخر فصل النمو.

ج) بسبب ارتفاع نسبة الانزيمات المحللة للبروتينات في هذا الموعد في الاوراق المسنة والهرمة .

4- هورمونات النمو:

كالاوكسينات , السايتوكانينات , الجبرلينات.

5- الصبغات :

كالكلوروفيل , الكاروتين , الزانثوفيل.

6- الفيتامينات :

. B_{12} , B_1 , A

7- الانزيمات .

8- مبيدات الاعشاب .

اتجاه حركة النقل في اللحاء

لقد استنتج الباحثون بان اتجاه حركة النقل في اللحاء يعتمد على متطلبات النمو وتوفر المواد الغذائية . حيث ان انتقال الذائبات يمكن ان يحدث من الاعلى الى الاسفل وبالعكس في نفس الوقت ولنفس النبات.

وبصورة عامة اتجاه حركة العصارة اللحائية يكون من مناطق (الشحن او المصدر او التصدير Sourse) الى (مناطق الاستهلاك Sink) ولهذا فقد تكون حركة العصارة الى الاعلى لتغذي الاوراق الفتية والبراعم والازهار والثمار وهذا مايعرف بـAcropetal او الى الاسفل لتغذي الجذور والدرنات الجديدة وهذا مايعرف بـ Basipetal .وتشمل اماكن الشحن او المصدر Sourse مايلي:

1) الاوراق الناضجة القائمة بعملية التركيب الضوئي .
2) الجذور المخزنة للمواد الغذائية .
3) درنات البطاطا عندما تكون في مرحلة الانبات .
4) الاندوسبرم والفلق الموجودة في البذور عندما تكون في حالة انبات

اما اماكن التسلم او الاستهلاك Sink فتشمل :

1) البراعم والاوراق الفتية والحديثة النمو الى حين ان تعتمد على نفسها.
2) الازهار .
3) الثمار والبذور المتطورة على النبات .
4) الجذور النامية والجذور التي في طور خزن المواد الغذائية .

العوامل المؤثرة على النقل في اللحاء :

1. درجة الحرارة:

تأثيرها على النقل في اللحاء معقد الى حدما بسبب تأثيرها على العمليات الفسيولوجية الاخرى المتعلقة بالنقل اللحائي كالتركيب الضوئي وتحرير الطاقة بالتنفس الخ , وهذا ما يؤثر بصورة غير مباشرة على معدل النقل في اللحاء.عموما وجد بأن النقل في اللحاء يبطيء عند ارتفاع وانخفاض الحرارة عن الحد الفسيولوجي, كما وجد بأن ارتفاع درجة الحرارة يسبب تكون الكالوس Callose الذي يسبب غلق الانابيب المنخلية.

2.الاوكسجين:

قلة الاوكسجين تبطئ عملية النقل في اللحاء وقد يعود سبب ذلك الى قلة تحرير الطاقة من التنفس وهذا يدل على ان النقل اللحائي عملية حيوية.

3.الضوء:

زيادة شدة الضوء تسبب زيادة معدل التركيب الضوئي أي تمثيل ثاني أوكسيد الكربون وكذلك نسبة المجموعة

الجذرية الى المجموعة الخضرية مما يدل على ان عملية النقل الى المجموعة الجذرية تنشط بزيادة شدة الضوء.

4. المواد المثبطة:

لقد وجد بأن المواد المثبطة تعرقل انتقال الكاربوهيدرات ولايعرف بالضبط ما اذا كانت المثبطات تؤثر على العمليات الحيوية في الانسجة الناقلة نفسها او انها تؤثر على الخلايا المصدرة او المستهلكة.

5. منحدر التركيز:

لقد وجد بأن نقل العصارة اللحائية يكون متجها من الجهة ذات التركيز العالي للسكريات والمواد الذائبة الى الجهة الواطئة التركيز .كما لوحظ بأن ازالة الاوراق من النباتdefoliation يؤدي الى قلة جريان العصارة لأنه يسبب اختفاء فرق التركيز.

6.الهرمونات النباتية:

من المعلوم بأن الهرمونات النباتية تشجع نمو الخلايا والانسجة النباتية وهذا يتطلب امدادا او نقلا للنواتج الايضية(أي نقل لحائي) بدرجة كبيرة لتلبية متطلبات النمو والطاقة(أي تنشط النقل اللحائي).

7.نقص العناصر المغذية:

ان اهم البحوث المتعلقة بدور العناصر المعدنية في نقل العصارة اللحائية تتضمن البورون, فلقد وجد بان امتصاص وانتقال السكروز من قبل ورقة نبات الفاصوليا او الطماطم الغاطسة في محلول السكروز ينشط في حالة توفر البورون مع المحلول السكري ويرجح بان البورون يكون مع السكروز مركبا معقد يستطيع اختراق الاغشية الخلوية بسهولة مقارنة مع السكروز لوحده. أو ان البورون يقلل التحول الانزيمي لمادة (Glucose-1-P)الى النشأ مما يؤدي الى زيادة تركيز السكريات القابلة للنقل في اللحاء , وبالتالي يُنَشِط النقل اللحائي. وكذلك لوحظ بان البورون يشجع انتقال منظمات النمو مثل -2,4,5 T,IAA,NAA و2,4-D عند إضافتها مع السكروز الى اوراق نبات الفاصوليا.

ميكانيكية انتقال العصارة الغذائية في اللحاء:

لقد وضعت عدة فرضيات لتفسير ميكانيكية انتقال العصارة اللحائية ولا توجد فرضية واحدة تقدم الأدلة الكافية لكيفية سريان العصارة اللحائية ومن أهم الفرضيات المعروفة هي:

اولا: فرضية النقل الكتلي Mass flow :

تفترض بأن زيادة الضغط الانتفاخي في خلايا الورقة والتي تعد مصدرا Source نتيجة الفعاليات الحيوية وتجمع المواد السكرية فيها وسحب الماء تجاهها وانخفاضه كثيرا في الأنسجة المستهلكة Sinks

والموجودة في بقية أجزاء النبات يسبب انتقال المواد الغذائية المصنعة والماء من اماكن لتصديرٍ Source إلى أماكن الاستهلاك Sinks خلال الأنابيب المنخلية وتساعد هذه الحركة الفعاليات الحيوية التي تجري في الخلايا المرافقة للأنابيب المنخلية.

الأدلة المؤيدة:

1- وجود فرق في تركيز المحاليل (أي الجهود الازموزية) مابين المصدر والمستهلك في النبات

2- حدوث النضج اللحائي عند عمل جرح في اللحاء أو عند غمس مجس الحشرات فيه.

3- وجود اتصال مابين المصدر والمستهلك والمتمثل بالأنابيب المنخلية.

الانتقادات:-

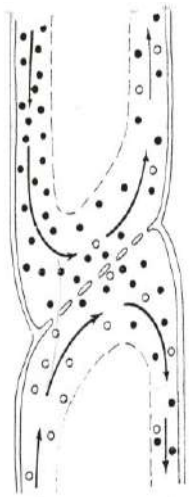
1.بموجب هذه النظرية يحدث النقل اللحائي في اتجاه واحد في حين ثبت علميا بان النقل اللحائي يحدث في اتجاهين متعاكسين أحدها للأسفل والآخر للأعلى.

2.لقد وجد بان النقل اللحائي يتوقف عند وجود مواد مثبطة كالسيانيد KCN وهذا يعني ان عملية النقل تعتمد على عمليات حيوية فسيولوجية بصورة رئيسية وليس على وجود فرق في الضغط الازموزي والانتفاخي بين المصدر والمستهلك .

3. الانابيب المنخلية تحتوي على شرائط سايتوبلازمية تمر خلال ثقوب الصفائح المنخلية الضيقة اوالشبه مغلقة او المغلقة بمادة الكالوس فهل تستطيع العصارة الجريان حقيقة في مثل نظام الربط هذا، وهل الضغط المتولد كافي لدفع العصارة اللحائية ضمن هذه الثقوب.

ثانيا : فرضية الانسياب البروتوبلازمي protoplasmic streaming :

تفترض بان المواد المذابة تنساب مع بروتوبلازم الأنابيب المنخلية ومن خلية منخلية الى أخرى وعندما تصل هذه المواد الى منطقة الصفائح المنخلية فإنها تنتقل خلالها الى الانبوبة المنخلية المجاورة بواسطة الانتشار البسيط او بواسطة الانتقال الفعال وكما موضح بالرسم:



شكل رقم (١٣ - ٢٣): رسم تخطيطي يوضح ظاهرة الانسياب البروتوبلازمي Protoplasmic (Streamin

الادلة المؤيدة:

1.الانتقال باتجاهين متعاكسين في ان واحد.

2. هذه الفرضية تتطلب ان تكون الخلايا حية وان تحدث فيها التفاعلات الحيوية لتفي باحتياجات الخلية للطاقة اللازمة لعملية النقل.

الانتقادات :

ان حركة الانسياب السايتوبلازمي تحتاج الى سايتوبلازم فعال في حين سايتوبلازم الانابيب المنخلية خال من النواة ويعد غير فعال من الناحية الحيوية.

مقارنة مابين جهازي النقل الوعائي في النبات

ت	اوعية القصب والقصيبات	الانابيب المنخلية
1	تكون ميتة عند نضجها وعملها	تكون حية عند نضجها وعملها
2	منفذة للماء والذائبات	شبه منفذة
3	تركيز العصارة منخفض	تركيز العصارة مرتفع
4	لايوجد ضغط امتلاء (قليلة)	ضغوط امتلاء عالية (1–34 جو)
5	عادة تمتص الماء اوالهواء عندما تنقطع	تنضج اذا ماقطعت
6	تنقل المذيبات والذائبات	تنقل الذائبات فقط
7	تصل سرعتها 75سم/دقيقة	تصل سرعتها 5سم/دقيقة

س) بعض الباحثين يتحفظ على تسمية العصارة اللحائية بالنسغ النازل.

س) ماهي اسباب غلق الانابيب المنخلية ؟

ج)1–ترسبات مادة الكالوس في فتحاتها.

2–ارتفاع درجة الحرارة الذي يشجع تكون مادة الكالوس.

المحاضرة السابعة

التغذية المعدنية للنبات

علم تغذية النبات :

هو العلم الذي يختص بدراسة كيفية حصول النباتات على المركبات الغذائية اللازمة للقيام بالعمليات الحيوية المختلفة، إذ قسمت الكائنات الحية المختلفة بالنسبة لنوع تغذيتها إلى قسمين رئيسين هما:

أ- غير ذاتية التغذية (Heterotrophic):

وهي الكائنات التي تحتاج إلى المواد العضوية (كربوهيدرات , بروتينات , دهون) والعناصر المعدنية في غذائها وهي لاتستطيع بناء غذائها العضوي بنفسها بل تصنعه خارج جسمها بالاعتماد على كائنات حية أخرى ومن أمثلتها الحيوانات وبعض النباتات عديمة الكلوروفيل كالبكتريا وبعض الفطريات والنباتات الزهرية المتطفلة .

ب- ذاتية التغذية (Autotrophic):

هي الكائنات الحية التي تستطيع تصنيع غذائها العضوي بنفسها بعد حصولها على الغذاء المعدني فقط من خلال أما :-

1 - استخدام الطاقة الناتجة من أكسدة المواد المعدنية لغرض بناء المواد العضوية كما في بعض أنواع البكتريا .

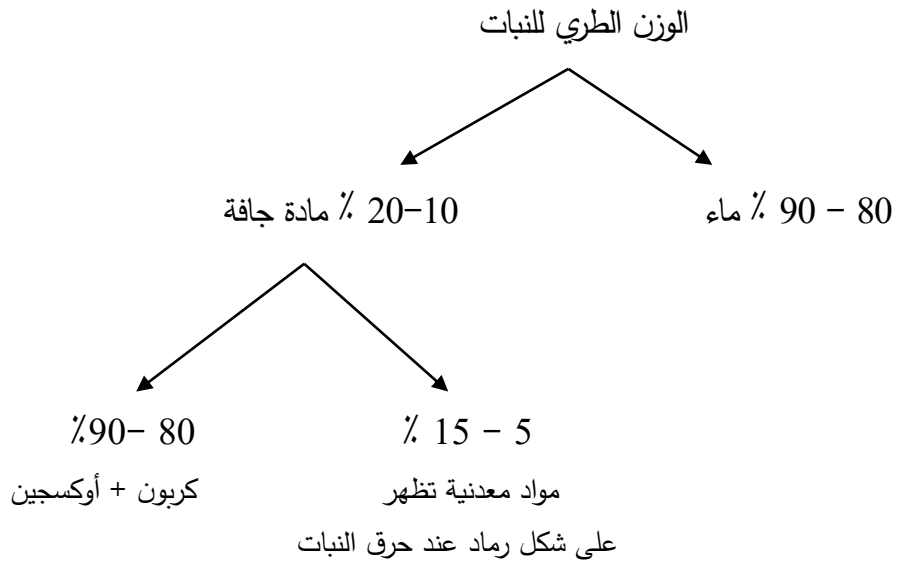
2 - استخدام الطاقة الضوئية لاختزال ثاني أوكسيد الكاربون إلى مركبات عضوية كما في النباتات الخضراء .

من هنا يتضح بان تغذية النباتات الخضراء هي غير عضوية (معدنية) وتسمى المواد التي يحصل عليها النبات باستثناء (الكربون , الهيدروجين , الأوكسجين) بالعناصر الغذائية المعدنية ويحصل عليها النبات من الأملاح الذائبة في التربة وقد يحصل على بعض العناصر المعدنية من الجو بكميات ضئيلة. أما عنصر النتروجين (N) فعلى الرغم من انه غاز فإن النباتات تحصل عليه من التربة.

مكونات النباتات غير العضوية :

يكون الماء 80 - 90 ٪ من وزن النبات الطري وتكون المادة الجافة 10 - 20 ٪ وتكون مركبات الكربون والأوكسجين 80 - 90 ٪ من المادة الجافة.اما المواد المعدنية التي تظهر عند الحرق بشكل رماد فتكون 5 - 15 ٪ من المادة الجافة علماً أن هذه النسبة تختلف من نبات إلى آخر.

الوزن الطري للنبات(الوزن الرطب للنبات) = 80 – 90 ٪ ماء + 10–20 ٪ مادة جافة .



تقسم العناصر المعدنية الموجودة في النبات إلى :

أولاً :– العناصر الضرورية لنمو النبات :

وتمتاز بثلاث صفات أو مميزات هي :

1– نقص العنصر يسبب عدم اكتمال دورة حياة النبات .

2 – لا يمكن أن يقوم عنصر آخر محل العنصر الضروري في أداء وظيفته فمثلاً الصوديوم له خواص مشابهة للبوتاسيوم لكنه لايمكن أن يحل محل البوتاسيوم تماماً .

3– أن يدخل العنصر مباشرة في عمليات التحول الغذائي للنبات وفي حالة نقصه يولد أعراض مرضية لا تزول إلا بإضافته إلى النبات .

تقسم العناصر الضرورية حسب الكميات التي يحتاجها النبات لنموه إلى ما يلي :–

1 – المغذيات الكبرى :

وتشـــــمل الكربون,الهيدروجين,الأوكسجين,النتروجين,الفسفور,البوتاسيوم,الكبريت,الكالســـــيوم , المغنيسيوم والتي يحتاجها النبات بكميات تزيد عن 100 جزء بالمليون لغرض حدوث النمو الطبيعي.

2 – المغذيات الصغرى :

وتشـمل الحديد,الزنك,المنغنيز,الكلور,البورون,النحاس,المولبيـدنوم,الكوبلت والتـي يحتاجهـا النبـات بكميـات قليلـة جداً تتراوح بـين 1 – 100 جـزء بالمليون,علماً بـأن البـاحثون كـانوا يستعملون مصـطلح (الثانوية أو الاثرية أو النادرة) على هذه العناصر غير أن هذه التسمية غير صحيحة للأسباب التالية:–

1 – انها غير ثانوية في تأثيرها الفسيولوجي لان نقصها يؤدي إلى توقف نمو النبات .

2 – انها غير نادرة أو اثرية في وجودها بل تتوفر في التربة بكميات مناسبة ولكن احتياج النبات لها يكون قليل .

ثانياً :- العناصر غير الضرورية :

وهي العناصر التي توجد في بعض النباتات ولكن لم تثبت ضرورتها للنبات لحد ألان فقد يكون لها تأثير منشط لبعض العمليات الحيوية كالصوديوم, السليكون, اليود, الألمنيوم, السلينيوم, الفلور, الفناديوم وغيرها من العناصر كما يحتمل أن يكون احد هذه العناصر عنصراً اساسياً لنمو نبات دون الاخر اوقد يحتاجه ذلك النبات بكمية ضئيلة جداً بحيث يمكن أن يحصل عليه من الشوائب الموجودة في بيئة الجذور.

امتصاص العناصر المغذية :

من اهم طرق الامتصاص التي يعتقد بها في الوقت الحاضر مايلي :

أ- الامتصاص الحر (السالب أو الفيزياوي) Passive Absorption

يحدث الامتصاص الحر اثناء تلامس الجذور مع محلول التربة, وتتميز هذه العملية بأنها :-

1 – تبادل الايونات يُحدث في ما يسمى بالفراغ الحر أو الخارجي Free space or outers space أي في جدران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا.

2 – لا تحتاج إلى طاقة .

3 – الامتصاص غير متخصص جداً بالنسبة للايونات .

4 – الايونات تصل في النهاية إلى حالة توازن ديناميكي بين خارج وداخل الخلية (أي ما بين جدران الخلايا والمسافات بين الخلايا).

5- يحدث الامتصاص الحر بعدة وسائل منها :

1 – الانتشار :-

وهو مرور المواد الغذائية من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الاقل تركيزاً فمثلاً عند نقل نبات ما من محلول مغذي مخفف إلى آخر مركز يحدث انتقال الايونات من المحلول إلى الانسجة النباتية حتى تحدث حالة التوازن بين المحلول المغذي في الفراغ الحر والمحلول الخارجي .

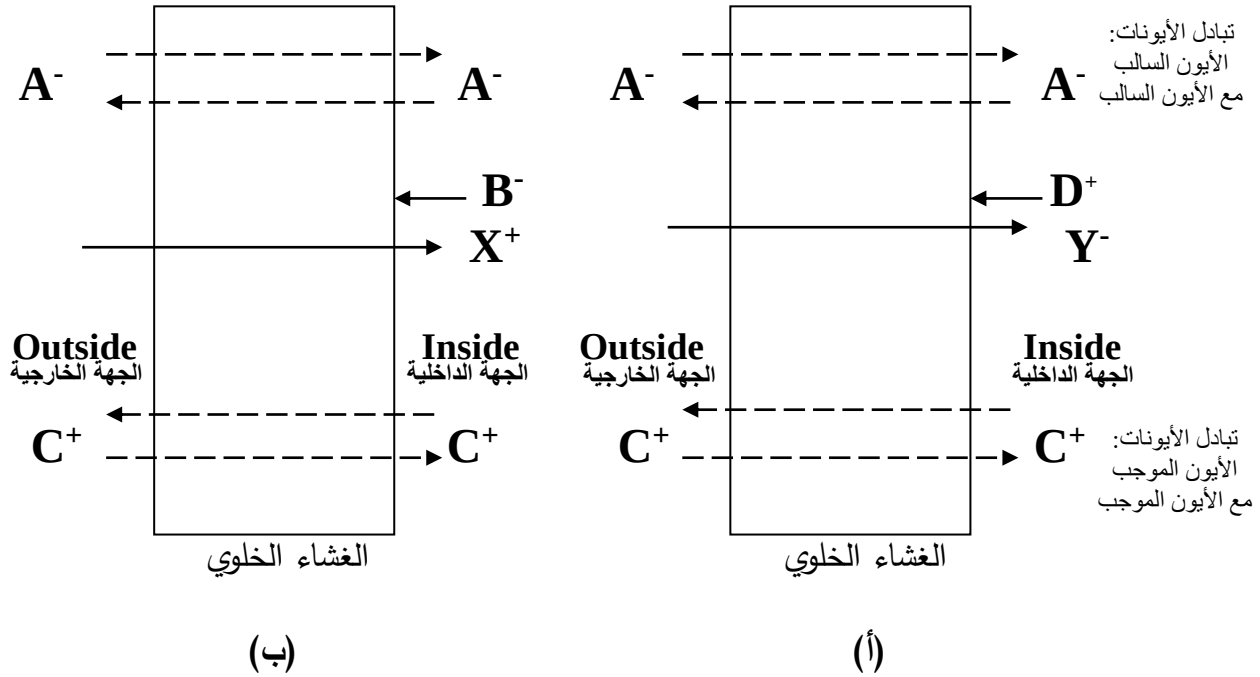
2 – تبادل الايونات :-

وهي أن الايونات الموجودة في محلول التربة أو دقائق التربة الغروية قد تمر إلى داخل الخلايا أو الفراغ الحر في الخلايا وتحل محل ايونات اخرى ملتصقة على سطح الاغشية الخلوية أو جدران الخلايا فمثلاً K^+ يتبادل مع H^+ والنترات NO_3^- مع ايونات الهيدروكسيل OH^-.

3 – اتزان دونان Donan Equilibruim :-

حالة اتزان تحدث في الخلايا تؤدي إلى تراكم الايونات داخل الخلايا أكثر مما في خارجها وتحدث ضد منحدر التركيز ومن دون اشتراك أو مساهمة الطاقة الحيوية . تحدث حالة الاتزان هذه من تأثير وجود ايونات غير منتشرة في وسط الانتشار, بل مثبتة على الجهة الداخلية للغشاء الخلوي(أي تتواجد في

الخلية لكنها لاتؤثر في تبادل الايونات لكونها مثبتة).فمثلاً لو كان هناك ايونات سالبة مثبتة في الخلية على الجهة الداخلية للغشاء الخلوي فعند انتشار أعداد متكافئة من الايونات السالبة والموجبة إلى داخل الخلية سوف يؤدي إلى توزيع غير متساوي للايونات على جانبي الغشاء إذ يكون تركيز الايونات السالبة داخل الخلية أكثر من خارجها ولأجل أن يتم التوازن الكهربائي يجب أن تمر ايونات موجبة إضافية عبر الغشاء الخلوي لمعادلة الايونات السالبة المثبتة في داخل الخلية وبذلك يكون تركيز الايونات الموجبة الذائبة الفعالة في الخلية أكثر من خارجها بينما تركيز الايونات السالبة الفعالة في الخلية اقل مما في خارج الخلية .



شكل (1): توضيح فكرة اتزان دونان

أ–الغشاء الخلوي غير منفذ للايونات الموجبة D^+ (أي الايونات الموجبة مثبتة داخل الخلية) مما يؤدي إلى عبور ايونات سالبة إضافية إلى داخل الخلية و بذلك يكون تركيز الايونات السالبة في الخلية أكثر مما في خارجها .

ب – الغشاء الخلوي غير منفذ للايونات السالبة B^- (أي الايونات السالبة مثبتة داخل الخلية) مما يؤدي إلى عبور ايونات موجبة إضافية الى داخل الخلية و بذلك يكون تركيز الايونات الموجبة في الخلية أكثر مما في خارجها .

4 – النقل الكتلي :-

يفترض بعض الباحثين بأن الايونات قد تتحرك إلى الجذور مع الماء بعملية الجريان الكتلي وان أي زيادة في النتح ستسبب زيادة في معدل الامتصاص ولايعرف بالضبط إن كان تأثير النتح مباشر أو غير مباشر .

ب :- الامتصاص الحيوي أو النشط Active Absorption or A.Transport:

يحدث داخل الخلايا النباتية وعبر أغشيتها مثل غشاء البلازما وغشاء الفجوة وتعد الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فيه الايونات المختلفة الموجبة والسالبة وبكميات متكافئة كهربائياً ويمتاز هذا النوع من النقل أو الامتصاص بعدة صفات هي:

1 – تحدث العملية في الجزء الداخلي من الخلية Inner space كالأغشية الخلوية والسايتوبلازمية أو غشاء الفجوة .

2- يتطلب صرف طاقة حيوية لدفع الايونات إلى داخل الخلية ولهذا يتطلب توفر الأوكسجين وهو حساس للمواد المثبطة (السامة) كما ويتأثر بارتفاع وانخفاض درجات الحرارة ويقل في الظلام لأنه خلال الضوء يحدث تركيب ضوئي وتزداد الطاقة .

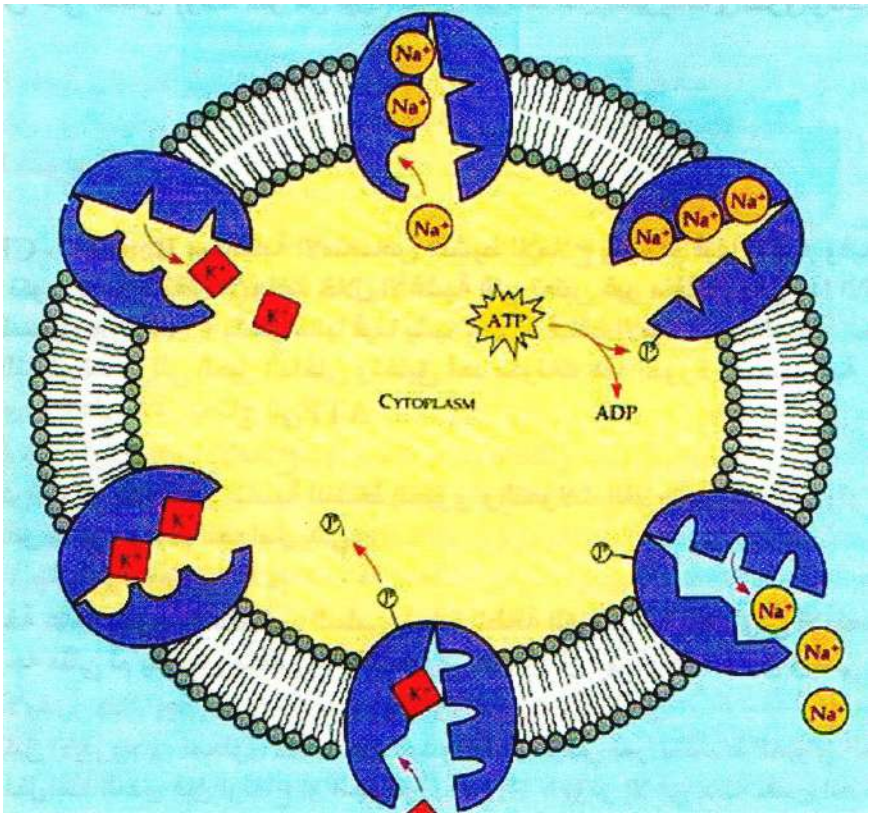
3 – تتخصص العملية بامتصاص بعض الايونات بكميات اكبر من ايونات أخرى أي أن امتصاص العناصر يكون متخصص وليس عاماً.

4 – تمتاز العملية بتجمع ايونات في الخلية أكثر مما في خارج الخلية أي في النهاية لايتم الوصول إلى حالة التوازن الديناميكي بين خارج وداخل الخلية , وتكون عملية تجمع الايونات داخل الخلايا مستمرة حتى ولو كان تركيز الايونات في الخلايا أكثر مما هو في محلول التربة بمئات المرات أو أكثر .

5 – غالباً ما يطلق على عملية الامتصاص الحيوي أو النشط بنظرية الحامل لأنها تفترض بأن الايونات أو الجزيئات المنقولة (بمساعدة الطاقة) تتحد مع مركب حامل لها وهو احد مكونات غشاء الخلية إذ تُكَوِّنْ معه مركب معقد يمر عبر الغشاء الخلوي إلى داخل الخلية ومن ثم يتحلل المركب المعقد ليترك الايونات أو الجزيئات داخل الخلايا ويعود إلى هيئته الأولى ومن ثم يخرج خارج الغشاء ليتم تزويده بالطاقة الحيوية مرة أخرى ليكون جاهزاً لتكرار نفس الدورة مرة أخرى (شكل 2).

س: أيهم أكثر أهمية في نقل العناصر الغذائية ، الامتصاص الحر أم الامتصاص الحيوي ؟

ج:- الامتصاص الحيوي أكثر أهمية لأنه يوصل العناصر الغذائية إلى البلاستيدة الخضراء مباشرة إما الحر فيوصلها إلى الأغشية الخلوية .



شكل (1): المتصاص الحيوي (النشط) بنظرية الحامل.

العوامل المؤثرة في امتصاص الأملاح العناصر المعدنية:

1 – درجة الحرارة :-

بصورة عامة يزداد معدل امتصاص أملاح العناصر الغذائية (بطريقة الامتصاص الحر أو النشط) بازدياد درجة الحرارة من الصفر المئوي حتى 40 مْ وبعد تلك الدرجة ينخفض معدل الامتصاص وهذا ما يفسر عدم استطاعة النبات النمو في الدرجات المتطرفة .

2- الفرق في تركيز الايونات :-

كلما كان الفرق في تركيز الايونات بين محلول التربة والخلية عالياً ازدادت عملية نفوذ الايونات باتجاه التركيز الواطئ .

3 -تفاعل التربة (PH) :- يؤثر بعدة طرق منها :

أ – التنافس بين ايونات العناصر الغذائية أثناء عملية الامتصاص , فمثلاً عندما يكون تفاعل التربة حامضي فأن ايونات الهيدروجين تقلل من امتصاص الايونات الموجبة الأخرى بينما تزيد من امتصاص الايونات السالبة وبالعكس بالنسبة لمجموعة الكاربوكسيل السالبة الشحنة .

ب – التأثير على توفر العناصر الغذائية للنبات من خلال تأثيره على ذوبانها وجاهزيتها .

جـ – التأثير على عمل الأنزيمات والحوامل .

د – التأثير على بناء الغشاء البلازمي وخاصة على بروتينات الغشاء .

4 – الضوء :

أن تأثير الضوء في فتح وغلق الثغور وعملية التركيب الضوئي تؤثر على امتصاص المغذيات بصورة غير مباشرة حيث يظن بأن فتح الثغور يؤدي إلى زيادة الحركة الكتلية للماء بسبب سحب النتح وبالتالي يزداد امتصاص المغذيات كما أن الطاقة الضوئية المتحولة إلى طاقة كيمياوية بعملية التركيب الضوئي تسهل امتصاص المغذيات حيوياً .

5 –الهواء (الاوكسجين) :

يقل امتصاص المغذيات النشط عند قلة الاوكسجين و يزداد بتواجده .

6 – التأثيرات المتبادلة بين الايونات :

لقد وجد بأن امتصاص احد الايونات المغذية قد يتأثر بوجود الايون التابع لمغذي آخر .

7 – مرحلة النمو :

إن معدل امتصاص النبات للعناصر المغذية يختلف باختلاف عمر النبات أو مرحلة نموه فقد يمتص النبات العنصر المغذي بكميات كبيرة اثناء وقت النمو الخضري ثم يقل بعد ذلك .

8 – حجم جزيئات المادة :

كلما كبر حجم الجزيئة يبطئ نفوذها إلى داخل الخلية و بالعكس .

9 – الاضرار الميكانيكية :

يزداد نقل المواد الغذائية عند حصول الاضرار الطبيعية مثل كشف وقطع الجذور .

التأثير الضار لزيادة تركيز العناصر الغذائية :

1 – أن زيادة احد العناصر الغذائية قد يتسبب عنه بطئ امتصاص عنصر آخر وبالتالي يعاني النبات نقص العنصر الآخر فمثلاً زيادة الكالسيوم يبطئ امتصاص البوتاسيوم وبالعكس وتسمى هذه الظاهرة بالتضاد (Autagonism) ومن خلال الدراسات وجد أن :

أ – زيادة الفسفور تسبب نقص البوتاسيوم والزنك .

ب – زيادة البوتاسيوم تسبب نقص الكالسيوم والمغنيسيوم .

جـ – زيادة النحاس والمنغنيز تسبب نقص الحديد .

2 – أن زيادة احد العناصر قد تسبب ضرراً للسايتوبلازم وتفقده الفعالية الحيوية مما يؤدي إلى موت الخلايا .

3 – أن زيادة تركيز العناصر الغذائية في التربة تسبب نقص امتصاص الماء من قبل الجذور .

الوظائف الفسيولوجية للعناصر الغذائية وأعراض نقصها :

1 – الكاربون :

يدخل في تركيب المواد العضوية بتفاعله مع الهيدروجين والأوكسجين مكونا الكربوهيدرات والبروتينات والدهون وبعض المركبات العضوية الاخرى كالصبغات النباتية وهو يكون حوالي 45% من الوزن الجاف للنبات .

2 – الهيدروجين :

يدخل في اغلب المركبات الموجودة في النبات كما يكون القوة الاختزالية (قوة البناء) في معظم العمليات الحيوية في النبات وهو يكون حوالي 5% من الوزن الجاف للنبات .

3 –الاوكسجين :

يشترك في العمليات التأكسدية (الهدم أو الحرق) الجارية في النبات وهو يكون حوالي 45% من الوزن الجاف للنبات .

4 –النتروجين :

يكون 1 – 15 % من الوزن الجاف للنبات واهميته تتلخص بالتالي :–

أ – يدخل في تركيب البروتينات والانزيمات .

ب– يدخل في تركيب الاحماض الامينية الحرة .

ج– يدخل في تركيب بعض الهرمونات النباتية مثل IAA .

هـ–يدخل في تركيب الكلوروفيل والسايتوكرومات .

و– يشترك في تركيب بعض الفيتامينات .

ي– يشترك في تركيب القلويات العضوية .

ط– يشترك في تركيب مرافقات الانزيمات $NADP^+$, NAD^+ **.مهم**

5 – الفسفور :

أن اهمية الفسفور للنبات كثيرة ومنها :–

أ – يشترك في تنشيط السكريات مثل Glucose -6-p و Glucose -1-p و Fructose -1-6-p

ب – يدخل في تركيب البروتينات المفسفرة (Phospholipids) المهمة في الأغشية الخلوية .

جـ – يدخل في تركيب المركبات الناقلة للطاقة مثل ATP (Acetyl phosphate) .

د – يدخل في تركيب الاحماض النووية RNA , DNA .

هـ – يشترك في تركيب البروتينات النووية .

و – يشترك في تركيب مرافقات الانزيمات مثل NAD^+ , $NADP^+$, FAD .

ي – يعمل على تنظيم ال PH .

ط – يلعب دور مهم في عمليات انبات البذور وزيادة عدد الازهار وعقد الثمار , يبكر نضج الثمار والبذور , يزيد من نمو الجذور وزيادة تفريعها .

6 – البوتاسيوم :

يُظن بأن البوتاسيوم يلعب دور العامل المساعد في كثير من العمليات الحيوية كالتركيب الضوئي , تكوين البروتينات , تكوين الكلوروفيل , تمثيل الكربوهيدرات , امتصاص اوراق النبات للماء والمحافظة على امتلاء الخلايا وانتفاخها وميكانيكية فتح وغلق الثغور وتنظيم المحتوى المائي عن طريق عملية النتح.

7 – الكبريت :

اهمية الكبريت :

أ – يدخل في تركيب الاحماض الامينية .

ب– يدخل في تركيب بعض مرافقات الانزيمات .

جـ–يدخل في تركيب بعض الفيتامينات .

د – يدخل في تركيب البروتينات الحيوية .

هـ–يدخل في تركيب بعض الزيوت التي تعطي الصفات الحرفية في البصل والثوم والخردل والفجل .

8 – المغنيسيوم :

يدخل في تركيب الكلوروفيل ويساهم في تمثيل الكربوهيدرات وهو مهم لتجميع جسيمات الرايبوسوم ويعد مهماً في تكوين البذور الحاوية على نسبة عالية من الدهون .

9 – الكالسيوم :

يدخل في تركيب الصفيحة الوسطى وهو ضروري لعملية الانقسام للخلايا المرستيمية واستطالة الخلايا وهو مهم في المحافظة على نفاذية الاغشية الخلوية ووحدة فعاليتها .

10 – الحديد :

يعد احياناً من المغذيات الكبرى واحياناً اخرى من الصغرى و تختلف كميته بأختلاف النبات و تتراوح بين 1 – 200 ppm , يدخل الحديد كعامل مساعد في تكوين الكلوروفيل وتركيب بروتينات السايتوكروم (المهمة في عملية التركيب الضوئي والتنفس والامتصاص النشط) وكذلك يشترك في تركيب بروتين ال Feredoxin (المهم في عملية التركيب الضوئي) وكذلك في تثبيت النتروجين حيوياً واختزال النترات إلى الامونيا وكذلك في تكوين الاحماض الشحمية غير المشبعة من المشبعة .

11 – الكلور :

يحفز تفاعلات الضوء في التركيب الضوئي .

12 – المنغنيز :

يحفز الانزيمات المتعلقة بتكوين الاحماض النووية والدهنية وانزيمات التنفس وكذلك يدخل في تفاعلات الضوء في التركيب الضوئي كما وانه يوازن نسبة الحديدوز إلى الحديديك في النبات لأنه اذا زادت نسبة الحديدوز تسبب تسمم النبات واذا زادت نسبة الحديديك تؤدي إلى ترسب الفوسفات والمواد الاخرى .

13 – البورون :

له دور مهم في حفظ الكالسيوم بصورة ذائبة وتنظيم امتصاص الكالسيوم والبوتاسيوم وكذلك يساهم في نقل الكربوهيدرات ولاسيما السكروز .

14 –الزنك (الخارصين) :

يساهم في تكوين بعض الهرمونات النباتية مثل IAA ويشترك في تركيب بعض الانزيمات منها الكاربوكسليز Carboxylase الذي يسبب تثبيت ثاني أوكسيد الكاربون في الخلية .

15 – النحاس :

يلعب دور مهم في عمليات الأكسدة والاختزال في التنفس الهوائي وكذلك يشترك في تركيب بعض الأنزيمات التأكسدية كما يدخل النحاس في تركيب المركب البروتيني (Plastocyanim) الفعال في تفاعلات الضوء في التركيب الضوئي كما أن له دور مهم في عملية تثبيت النتروجين .

16 – المولبدنيوم :

له دور فعال في عملية اختزال النترات إلى الامونيا ويساهم في تثبيت النتروجين حيوياً .

تقسم العناصر المعدنية حسب قدرتها على الحركة والانتقال إلى :

أ – عناصر سهلة الحركة وتضم :. P , N , Cl , Mn , Mg , K .

ب – عناصر بطيئة الحركة وتضم :. Mo ,B , Zn , Cu , Fe , S , Ca.

ولذلك فان أعراض نقص العناصر السهلة الحركة تظهر على الأوراق القديمة لسهولة حركتها في حين على العكس من ذلك تظهر أعراض نقص العناصر البطيئة على الأوراق الحديثة.

صلاحية العناصر الغذائية :

بإمكان النبات الاستفادة من جزء قليل لاتتجاوز نسبته 2٪ من المحتوى الكلي لأي عنصر غذائي في التربة وذلك متعلق بشكل ارتباط المادة الغذائية وحسب ذلك يمكن تمييز العناصر الغذائية إلى:

أ –عناصر غذائية متحركة وتشمل :

– العناصر الغذائية المنحلة بالماء , وهي عناصر غير مرتبطة .

– العناصر الغذائية القابلة للتبادل وهذه عناصر مدمصة وقابلة للامتصاص.

ب – عناصر غذائية مرتبطة سواءً أكانت ضمن مركبات عضوية أو لا عضوية وهذه العناصر تكون دائماً في حالة احتياط .

أن العناصر الغذائية غير المرتبطة تتوفر بصورة ايونات في محلول التربة وتكون قابلة للامتصاص من قبل النبات .

عناصر موجبة Cations	عناصر سالبة Anions
أ – العناصر الكبرى :– K , Ca , Mg .	N , P , S
ب– العناصر الصغرى :– Fe , Mn , Zn , Cu .	Cl , B , Mo

الأعراض الـعامة لنقص العنـــاصر الغذائية على النــباتات:

أولا : أعـراض نقص تظهر على النبات كلـه:

أ– إذا كانت الأوراق في الجزء العلوي من النمو الخضري خضراء اللون وتتحول إلى اللون الأصفر عند النزول إلى الأسفل في حين تكون الأوراق السفلية بنية اللون مع ملاحظة أوراق ميتة على الأرض فيكون ذلك نقص عنصر النتروجين أو يرجع الاصفرار إلى هدم الكلوروفيل وقد يظهر اللون الأرجواني على الأعناق بعد اختفاء الكلوروفيل بسبب سيادة صبغات الانثوسيانين على الكلوروفيل .

ب– إذا كانت الأوراق في الجزء العلوي من المجموع الخضري ذات لون اخضر داكن مع وجود نقط حمراء يليها على النبات أوراق ذات لون بني مخضر وبالنزول أكثر يصبح لون الأوراق اسود مع ملاحظة موت وسقوط الأوراق المسنة على الأرض فتكون هذه أعراض نقص الفسفور .

ثانيا : أعراض نقص تظهر على الأوراق السفلى وتظل الأوراق العليا سليمة:

أ– إذا كانت الأوراق العلوية سليمة والسفلية صفراء وعليها بقع بنية من أنسجة ميتة فأن نقص العناصر يتوقف على مكان البقع الميتة وكما يلي :

1– إذا كانت البقع البنية الميتة على حواف الورقة يكون النقص في عنصر البوتاسيوم .

2– إذا كانت البقع البنية الميتة بين عروق نصل الورقة يكون النقص هو عنصر الزنك .

ب – إذا كانت الأوراق السفلية صفراء بدون بقع ونصل الورقة ملتف على بعضها وتأخذ الأوراق شكل الطبق فيكون النقص في عنصر المغنيسوم .

ثالثا : أعراض نقص تظهر على الأوراق العليا وتظل الأوراق السفلية سليمة:

أ – تظهر الأعراض على الأوراق العلوية والبرعم يظل حيا:

1– إذا كانت الأوراق خضراء داكنة مع ذبول الأوراق العلوية بدون اصفرار والنصل منحني فتكون هذه أعراض نقص النحاس .

2– إذا كانت الأوراق صفراء مع تواجد بقع متحللة بوضع منتظم في شطري الورقة . فيدل ذلك على نقص المنغنيز.

3– إذا كانت الأوراق صفراء وبدون بقع والعرق الوسطي اخضر فاتح فيكون النقص للكبريت.

4- إذا كانت الأوراق صفراء وبدون بقع والعرق الوسطي اخضر داكن فيكون النقص الحديد.

ب – تظهر الأعراض على الأوراق العلوية والبرعم الطرفي ميت:

1- إذا كانت الأوراق الطرفية تأخذ شكل خطاف مع تفصيص النصل فتكون الأعراض لنقص الكالسيوم.

2- إذا كانت الأوراق الطرفية سليمة أما قاعدة نصل الورقة تأخذ اللون الأخضر الغامق وعليها نقط حمراء نتيجة ظهور صبغة الانثوسيانين نتيجة ضعف عمليات التمثيل الكربوهيدراتي فيكون ذلك أعراض نقص البورون .

أهم الوظائف الفسيولوجية للعناصر الغذائية

ت	العنصر الغذائي	وظيفته الفسيولوجية
1	**الكربون**	يدخل في تركيب المواد العضوية .
2	**الأوكسجين**	يشترك في العمليات التأكسدية .
3	**الهيدروجين**	يكون القوة الاختزالية في معظم العمليات الحيوية .
4	**النتروجين**	يدخل في تركيب البروتينات ,الانزيمات , الاحماض الامينية ,القواعد العضوية , السايتوكرومات , مرافقات الانزيمات , كلوروفيل .
5	**الفسفور**	يشترك في تنشيط السكريات , يدخل في تركيب الاغشية الخلوية , يدخل في تركيب المركبات الناقلة للطاقة ATP, يدخل في تركيب البروتينات المفسفرة (Phospholipids).
6	**البوتاسيوم**	يلعب دور عامل مساعد في عمليات التركيب الضوئي , تكوين البروتينات , تكوين الكلوروفيل , تصنيع الكربوهيدرات , تنظيم المحتوى المائي للنبات عن طريق السيطرة على فتح وغلق الثغور .
7	**الكبريت**	يدخل في تركيب بعض الزيوت التي تعطي الصفات الحرفية في البصل والثوم .
8	**المغنيسيوم**	يدخل في تركيب الكلوروفيل .
9	**الكالسيوم**	يدخل في تركيب الصفيحة الوسطى وهو مهم في عملية انقسام الخلايا واستطالتها .
10	**البورون**	يساهم في نقل الكربوهيدرات ولاسيما السكروز .
11	**الكلور**	يحفز تفاعلات الضوء في التركيب الضوئي .
12	**المنغنيز**	يوازن نسبة الحديدوز إلى الحديديك ويحفز الانزيمات المتعلقة بتكوين الاحماض النووية والدهنية وانزيمات التنفس وكذلك يدخل في تفاعلات الضوء .
13	**الحديد**	يدخل كعامل مساعد في تكوين الكلوروفيل , السايتوكروم الفيريدكسين Feredoxin .
14	**الزنك**	يساهم في بناء ال IAA وكذلك انزيم ال Carboxy lase الذي يساعد على تثبيت ال CO_2 في الخلية .
15	**النحاس**	يلعب دور مهم في عمليات الأكسدة والاختزال خلال التنفس الهوائي, يدخل في تركيب المركب البروتيني البلاستوسيانين(Plastocyanin) المهم في تفاعلات الضوء الخاصة بالتركيب الضوئي .

المحاضرة الثامنة

الأنزيمات Enzyme

مركبات عضوية بروتينية معقدة التركيب, تتأثر بالحرارة وتفرز من قبل البروتوبلازم داخل الخلايا الحية. تؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل الكيماوي في الخلايا الحية وتوجيهه من دون أن تُستَهلك في التفاعل ودون أن تصبح جزءاً من نواتجه.

فائدة الأنزيمات :

تحدث في الخلايا الحية تفاعلات كيمياوية كثيرة مثل تحلل أو بناء المواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية والأحماض النووية. بعض هذه التحولات تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة لاتتحملها الخلايا والى مواد كيمياوية لا توجد في الخلية. ومثل هذه الظروف توفرها الأنزيمات(وبذلك تعمل على التقليل من طاقة التنشيط أو الطاقة اللازمة لحدوث التفاعل من دون أن تسبب أي ضرر للخلية).

لقد أصبح من المُسَلمْ به الآن أن كل تفاعل من التفاعلات الكيمياوية الكبيرة في الخلايا الحية إنما يتم بواسطة الأنزيمات والتي تنتشر في البروتوبلازم وفي العصير الخلوي وتساعد على إتمام عمليات البناء والهدم, وينتج عن الهدم عادة انطلاق طاقة, تستخدم في نمو كافة الظواهر الأخرى, التي تمتاز بها الكائنات الحية.

إذ تساعد الأنزيمات على زيادة سرعة تفاعلات كيمياوية كثيرة طاردة للطاقة (منتجة للطاقة) exergonic reactions تتحول فيها مركبات معقدة التركيب إلى مركبات ابسط منها, وفي أثناء ذلك تنطلق الطاقة: يفقد النبات جزء منها ويحتفظ بجزء آخر في صورة روابط غنية بالطاقة مثل ATP ويدخل جزء آخر من الطاقة في تفاعلات ماصة للطاقة, **4.** وفي عمليات حيوية أخرى تحتاج إلى طاقة مثل اختراق الجذور للتربة ورفع السويقة الجنينية لما يعلوها من التربة أثناء الإنبات, وحمل السيقان لأفرعها, وأوراقها, وامتصاص الأملاح وتراكمها والانسياب السايتوبلازمي وغيرها من العمليات .

تعمل معظم الأنزيمات في النباتات الراقية داخل الخلايا حيث يتم بنائها وتسمى بالأنزيمات الداخلية Intercellular enzymes ويعمل بعض الأنزيمات خارج الخلايا التي تقوم بإفرازها وتسمى الأنزيمات الخارجية Extracellular enzymes ومن أمثلتها الأنزيمات التي تفرزها أنواع كثيرة من البكتريا والفطريات في الوسط الذي تعيش فيه .

خصائص الأنزيمات Properties of enzymes:

1- الأنزيمات تؤدي عملها بتراكيز واطئة جداً وطبيعي كلما زاد تركيز الانزيم ازداد معدل التفاعل الحيوي .

2- تعد الأنزيمات عوامل مساعدة وتبقى غير متأثرة بالتفاعل الذي تساعد في انجازه. فعند تفاعل الأنزيم مع مادة التفاعل يتكون مركب وسطي معقد ثم يتحلل ذلك المركب الوسطي وتتكون مادة جديدة هي ناتج التفاعل مع بقاء الأنزيم على حالته الأصلية.

3- الأنزيم يسرع في إنهاء التفاعل الحيوي. بمساعدة طاقة التنشيط للتفاعل المساعد بالأنزيم مقارنةً بالتفاعل غير المساعد بالأنزيم.

4- الأنزيم يُظهر نوعاً من الخصوصية Specificity للتفاعل الذي يحدث وللمواد الداخلة في التفاعل **أي** أن كل أنزيم يعمل على مادة واحدة داخلة في التفاعل أو مجموعة مواد متفاعلة متقاربة ومتعلقة بالتفاعل.

5- الانعكاسية: من المعلوم أن الأنزيمات تؤثر على معدل التفاعل الذي ينتهي بحدوث التوازن الكيمياوي بين المواد المتفاعلة والناتجة من التفاعل **أي** أن التفاعلات التي تساهم فيها الأنزيمات هي انعكاسية عادةً من اجل تحقيق التوازن الكيمياوي. لكن في بعض الاحيان تكون غير انعكاسية وهذا ما يحدث في حالة كون الطاقة الكيمياوية للمواد المتفاعلة عالية مقارنة بالمواد الناتجة وبعض الحالات الأخرى القليلة.

تركيب الأنزيمات :

بدراسة التركيب الكيمياوي للأنزيمات بعد استخلاصها, وتنقيتها تبين أن بعضها مكون من بروتينات بسيطة Simple proteins مثل اميليز amylase الذي يحلل النشا, وبعضها الأخر يتكون من بروتينات مرتبطة Conjugated proteins تتركب من (جزء بروتيني وآخر غير بروتيني) وكما يلي:

أ - الجزء البروتيني (Apoenzyme) ويمتاز بأنه:

1.غير فعال **2.**ويتكون من الأحماض الامينية فقط **3.** وعادة يتأثر ويتجمع بالحرارة **4.**وهو ذو وزن جزيئي عالي **5.**وغير قابل للانتشار الغشائي بعملية الفرز الغشائي للذائبات (Dialysis).

ب- الجزء غير البروتيني (Cofactor) ويمتاز بأنه:

1. فعال **2.** وهو لا يتأثر بدرجة الحرارة **3.** وهو ذو وزن جزيئي صغير **4.** وقد يتحد بشدة مع الجزء البروتيني (يبقى مع بروتين الأنزيم حتى في حالة عزل الأنزيم أي لايمكن فصله بالفرز الغشائي للذائبات) أو قد يتحد بلين مع بروتين الأنزيم ويمكن فصله عنه وعندئذ يفقد الأنزيم فعاليته.

أطلق بعض الباحثين على الجزء غير البروتيني اصطلاح العوامل المشاركة وهي تشمل ثلاث مجاميع رئيسية وكما موضح في (الشكل 1) وهي :-

A- المجموعة المتصلة Prosthetic group:

وهي مجموعة عضوية أو مركب يتصل اتصالاً وثيقاً مع بروتين الأنزيم ومن الأمثلة عليه:

- مجموعة Porphyrin وهي مجموعة عضوية (أو مركب) ذات صبغة.
- مجموعة FAD (Flavin Adenine Dinucleotide) .

B- مجاميع مرافق الأنزيم أو قرين الأنزيم Coenzymes:

هي مجاميع عضوية اصغر من تلك المكونة للمجموعة المتصلة وثابتة اتجاه درجة الحرارة وترتبط بليونه مع بروتين الأنزيم ولذلك يسهل فصلها بالفرز الغشائي للذائبات Dialysis وتعد المرافقات الأنزيمية الجزء الفعال من الأنزيم لأنه عند فصلها عن الأنزيم يفقد الأنزيم فعاليته وهي تشمل عدة أنواع منها:-

1- مرافقات أنزيمية تنقل الهيدروجين مثل :

- (NAD^+): Nicotineamide adenine dinucleotide .
- ($NADP^+$): Nicotineamide adenine dinucleotide phosphate .

2- مرافقات أنزيمية تنقل الفوسفات مثل :

- (ATP): Adenosine triphosphate .

3- مرافقات أنزيمية تنقل مجموعة السكريات مثل :

- ADPG : Adenosine diphosphate glucose .

4- مرافقات انزيمية تنقل ذرة أو اكثر من الكاربون مثل :

Coenzyme A :(أو Co ASH أو Co A) .

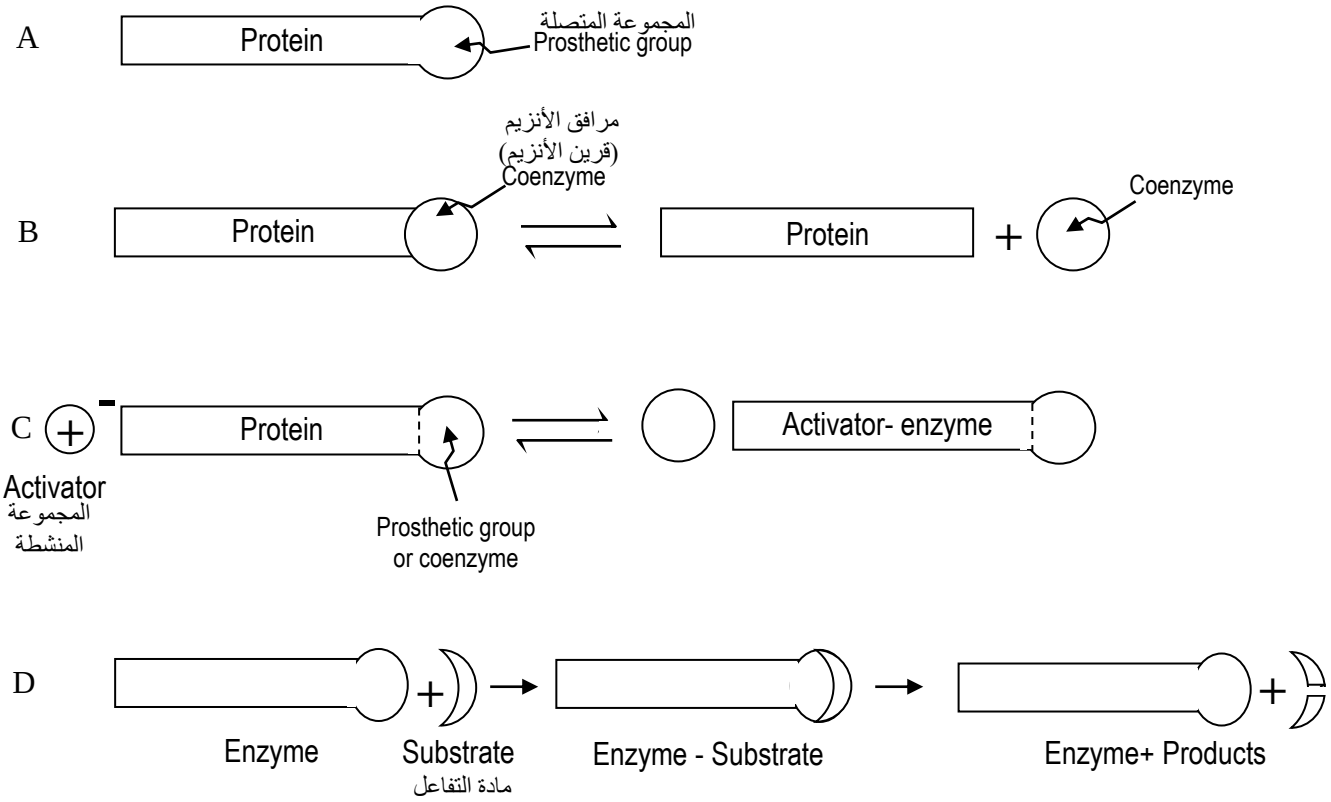
5- مرافقات أنزيمية تنقل مجموعة الأمين amine من حامض أميني إلى حامض كيتوني α -Keto acid) مثل:

Pyridoxine phosphate .

س/ ما هي مرافقات الأنزيم (قرين الأنزيم) وما هي أنواعه عددها فقط أو عددها مع الأمثلة:

C- مجاميع بشكل ايونات العناصر الغذائية Metal activators :

وتسمى أحياناً هذه المجاميع بالمنشطات activator وذلك لحاجة الأنزيم لها للقيام بعمله وفي حالة غيابها لا يعمل الأنزيم وتشمل: ايونات البوتاسيوم والمغنيسيوم والمنغنيز والكالسيوم والحديد والكوبلت والتي قد ترتبط بشدة أو بليونة مع بروتين الأنزيم. تسمى الأنزيمات التي تتطلب المعادن لنشاطها بالـ Metalloenzyme.



الشكل (1) : رسوم تخطيطية توضح أنواع المجاميع المتصلة ببروتين الأنزيم

A-المجموعة المتصلة (Prosthetic) التي لا تنفصل من بروتين الأنزيم .

B-مرافق الأنزيم أو قرين الأنزيم (Coenzyme) التي يمكن أن تنفصل من بروتين الأنزيم.

C-المجموعة المنشطة (Activator) التي يمكن أن تنفصل من بروتين الأنزيم وفي أنزيمات أخرى قد لا تنفصل من بروتيناتها.

D-إتحاد الأنزيم مع مادة التفاعل وتكوين المركب الوسطي الذي يتحلل إلى ناتج تفاعل الأنزيم.

تسمية الأنزيمات :

كانت الأنزيمات قديما تسمى بدون نظام معين أما حاليا فيشتق اسم الأنزيم من :-

أ- مادة التفاعل سواء كانت مركبا بسيطا أو مجموعة من المركبات ومن ثم يضاف في نهاية اسم مادة التفاعل المقطع ase فمثلاً إذا كانت المادة المتفاعلة واحدة كالسكروز فيسمى الانزيم Sucrase وإذا كانت مجموعة مركبات كالبروتين فيسمى الانزيم Protease أو Proteinase .

ب- من أسماء التفاعلات التي تساعد في انجازها فالأنزيم :

- Oxidase يساعد في تفاعلات الأكسدة Oxidation .
- Hydrolase يساعد في انجاز تفاعلات التحلل Hydrolysis .
- Carboxylase يساعد في انجاز تفاعلات إضافة CO_2.

تصنيف الأنزيمات:

يصعب تصنيف الأنزيمات لكثرتها وتعقيد تركيب الجزء البروتيني من الأنزيم ولهذا تقسم الأنزيمات بصورة تقريبية على أساس نوع التفاعل الذي تساعد في انجازه إلى ما يأتي :

1- **الأنزيمات الهاضمة (أو المحللة مائياً) Hydrolytic enzymes :**

تساعد في إضافة أو فصل جزيئات الماء إذ تحلل المركبات المعقدة تحليلاً مائياً إلى جزيئات بسيطة وبما أن معظم تفاعلات التحلل المائي هي عكسية لذا قد تكون الأنزيمات المحللة أنزيمات بناءة (مجمعة).

وهذه الأنزيمات بدورها تشمل عدة أنواع :-

أ- **الأستريز(Esterases)**: وهي الأنزيمات التي تحلل الاسترات من أمثلتها اللاييز Lipase , الفوسفاتيز Phosphatase , البكتينيز Pectase والكلوروفيليز Chlorophyllase .

ب- **الكاربوهيدريز (Carbohydrases)**: وهي الأنزيمات التي تحلل أواصر الكلوكوساید Glucosides بين جزيئات السكر التي تتكون منها المواد الكربوهيدراتية المعقدة ومنها :.

الأميليز Amylases والكلوكوسايديز Glucosideses والسليليز Cellulases والبكتينيز Pectinases .

جـ- **البروتيز(Proteases)**:وهي الإنزيمات التي تحلل الأواصر الببتيدية (Peptides)

$$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\overset{\overset{H}{|}}{N}-$$

التي تربط الأحماض الامينية المكونة للبروتينات ومن أمثلتها أنزيم البروتيز Proteinases و أنزيم الببتيديز Peptidases .

د- **الأميديز (Amidases)**: وهي الأنزيمات التي تؤثر على الأواصر الأميدية (Amide)

$$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2$$

من أمثلتها أنزيم الأمينيز Aminases أو أنزيم أسيل اميديز Acyl amidases.

2- أنزيمات الأكسدة والاختزال Oxidation reduction Enzymes :-

وهي الأنزيمات التي تساعد عمليات الأكسدة والاختزال وذلك بإضافة أو إزالة الهيدروجين والأوكسجين أو الالكترونات من والى مادة التفاعل التي تعني الأكسدة أو الاختزال. أن هذه الأنزيمات توجد بكثرة في الخلايا لأهميتها من الناحية الحيوية ومن أمثلة هذه الأنزيمات :-

أ- أنزيمات الديهايدروجينيز Dehydrogenases: وهي الأنزيمات التي يأخذ فيها المرافق الأنزيمي الهيدروجين أما المادة الأصلية العضوية للأنزيم فهي التي تهب الهيدروجين ويتم انتقال الهيدروجين من المادة المانحة للهيدروجين إلى المادة المتسلمة للهيدروجين خلال مادة تسمى حامل الهيدروجين.

ب- أنزيمات الوكسديز Oxidases: وهي الأنزيمات المؤكسدة التي تكون المادة المكتسبة للهيدروجين هي الأوكسجين وليست مادة عضوية وقد تدخل في عملية التنفس في حالات معينة.

3- أنزيمات الفسفرة Phosphorylases Enzymes :

وهي الأنزيمات التي تساعد في إضافة الفوسفات وقد يحدث التفاعل عكسياً.

4- **أنزيمات النقل Transferases :**

وهي الأنزيمات التي تساعد في نقل مجموعة كيمياوية من مركب إلى آخر.

5- **أنزيمات الكاربوكسيليز Carboxylases والديكاربوكسيليز Decarboxylases :-**

وهي الأنزيمات التي تساعد في إضافة أو إزالة CO_2 .

6- **أنزيمات اللايسيز Isomerases :**

وهي الأنزيمات التي تقوم بتحويل السكر الالدهايدي Aldosugar إلى السكر الكيتوني Ketosugar كتحويل الكلكوز إلى الفركتوز .

7- **أنزيمات الايباميريز Epimerases :**

وهي الأنزيمات التي تساعد في تحويل السكريات أو مشتقاتها من شكل إلى شكله الأخر المسمى Epimer كتحويل ال Xylulose-5-p إلى ال Ribulose-5-p.

8- **أنزيمات اللايكيز Ligases :**

وهي الأنزيمات التي تزيل مجموعة كيمياوية وتكون نتيجة ذلك رابطة مزدوجة مثل أنزيم Acetate – CoASH ligase وقد يسمى Acetic Thiokinase .

العوامل المؤثرة على نشاط الأنزيمات ومعدل التفاعل الأنزيمي:

1- تركيز مادة التفاعل.

2- تركيز الأنزيم.

3- درجة الحرارة.

4- الـ PH.

5- ناتج التفاعل.

6- المحفزات أو المنشطات.

7- وجود المثبطات.

الفيتامينات Vitamins

وهي مركبات عضوية داخلية التكوين، وتعمل على تنظيم النمو والعمليات الحيوية، تصنع الفيتامينات في الأجزاء الفتية من النباتات وتنقل إلى أجزاء أخرى. وهي توجد في الثمار والأوراق والجذور وتخزن فيها ويستفيد منها الكائن الحي عن طريق التغذية. ولقد دلت الدراسات إن العديد من المرافقات الأنزيمية تحتوي على واحد أو أكثر من الفيتامينات في تركيبها البنائي . وأما هذه العلاقة بين الفيتامينات والمرافقات الأنزيمية فقد أعطت للفيتامينات الدور الحيوي الهام الذي تؤديه داخل الكائن الحي . وعلى ضوء ماسبق يمكن تقسيم الفيتامينات إلى قسمين :

١ -الفيتامينات التي لها وظيفة مرافقة أنزيمية:

وتشمل مجموعة الفيتامينات التي تذوب في الماء منها:-

1- حمض النيكوتين واسمه الشائع نياسين . إن المرافقات الأنزيمية لهذا الفيتامين هما المرافقان الأنزيميان :

أ- نيكوتين أميد داي نكليوتيد ويرمز له NAD .

ب- نيكوتين أميد داي نكليوتيد فوسفات ويرمز له NADP .

يلعب هذان المرافقان دوراً هاما في عمليات الأكسدة الحيوية .

٢ -فيتامين B_2 أو الرايبوفلافين : ويوجد هذا الفيتامين في الطبيعة كأحد مكونات المرافق الأنزيمي فلافين وحيد النيوكليوتيد والذي يرمز له FMN . وكذلك المرافق الأنزيمي فلافين ادنين داي نيوكليوتيد ويرمز له FAD الذي يؤكسد الاحماض الامينية .

٣ -فيتامين B_1 أو الثيامين: ويوجد هذا الفيتامين على صورة مرافق انزيمي لعديد من الانزيمات النازعة لمجموعة الكاربوكسيل والانزيمات الناقلة لمجموعة الكاربونيل .

٤ -فيتامين B_6 أو بيرودوكسين .

٥ -فيتامين B_{12} .

2- الفيتامينات التي لاتقوم بدور المرافق الانزيمي :

فيتامينات تذوب في الدهون منها :-

١ -فيتامين K : ويوجد في النباتات الخضراء .

٢ -فيتامين D .

٣ -فيتامين A_1 : ويوجد بكثرة في النباتات وخاصة الجزر ويعتبر الكاروتين طليعة تكوين هذا الفيتامين إذ يتم تكونه عند تميؤ الكاروتين إلى جزيئتين من فيتامين A_1 .

٤ -فيتامين C أو الاسكوربيك : ويوجد في كثير من النباتات كالخضار الطازجة والحمضيات .

هذا وتعتبر النباتات الخضراء وكما هو معروف ذاتية التغذية، إذا اعتبر النبات ككل وليس كجزء أو عضو من الأعضاء. فالأوراق تقوم بعملية التركيب الضوئي وإنتاج المادة الأولية السكريات . كما إن الجذور تقوم بامتصاص الماء والأملاح المعدنية وهي غير قادرة على القيام بعملية التركيب الضوئي نظراً لخلو خلاياها من الجسيمات الصانعة الخضراء . إذ تعتمد في تأمين احتياجاتها الغذائية العضوية مما تصنعه الأوراق وتقوم الجذور بالمقابل بإمداد هذه الأوراق باحتياجاتها من العناصر المعدنية .

وهكذا فليست كل الأعضاء النباتية قادرة على تأمين كامل احتياجاتها ذاتياً وإنما تقوم بتأمين بعض منها وما تبقى من احتياجاتها المتبقي مما لاتقدر على صنعه فينتقل إليها من مكان أخر من النبات . فالفيتامينات على سبيل المثال هي من المركبات الي تصنع في أماكن خاصة ثم تنتقل إلى جميع أجزاء النبات وتخزن في بعض منها .

ولقد أشارت دراسات بعض الباحثين على بعض أنواع الفيتامينات إن فيتامين B_1 موجود في البذور النابتة ويعود وجوده أصلا في الفلقتين، أما في النبات التام النمو فأن هذا الفيتامين يصنع في الأوراق ثم يتوزع في الساق لينتهي في الجذور. وهذا يدل على إن الجذور تحتاج إلى هذا الفيتامين لكنها لاتستطيع تكوينه بل ينتقل إليها من الأوراق . وينطبق ذلك على الساق وتسلك مجموعة فيتامين B مايسلكه فيتامينB_1 . إذ تنتقل الفيتامينات في الاتجاهين من خلال الأوعية الناقلة اللحائية .

المحاضرة التاسعة

التنفس Respiration

مقدمة:

أن عملية التركيب الضوئي البنائية (الاختزالية) تؤدي إلى تكوين المواد العضوية المختلفة كالكاربوهيدرات والبروتينات والدهون على حساب الطاقة الضوئية والماء (أي تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيمياوية) وهذه الطاقة الكيمياوية تستغل بعملية هدمية (تأكسدية) تدعى التنفس اذ تنطلق الطاقة الكامنة من السكريات وغيرها كما في المعادلة الآتية:

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

أن هذه المعادلة عامة وهي محصلة لعدة تفاعلات لان التنفس هي عملية معقدة تشمل ما يأتي:

1- امتصاص الأوكسجين .

2- أكسدة الغذاء أي تحويل المادة المعقدة الداخلة في التفاعل (عادةً الكاربوهيدرات) إلى مركبات ابسط منها تركيباً كثاني اوكسيد الكاربون والماء .

3- تحرير الطاقة .

4- تكوين بعض المركبات الوسطية الضرورية للعمليات الحيوية الأخرى .

5- تحرير CO_2 وبخار الماء .

6- قلة وزن النبات كنتيجة للتأكسد .

أن التنفس عبارة عن عملية أكسدة يتم بموجبها تبادل O_2 و CO_2 مع بعضها من خلال الثغور ويتم خلالها عمليات هدم للمواد العضوية وتحرير الطاقة التي تستخدم لسد حاجة النبات للقيام بعملياته الحيوية.

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{ضوء الشمس}]{\text{كلوروفيل}} \{\text{أحماض عضوية، كربوهيدرات، دهون، بروتينات}\} \xrightarrow[\text{من خلال التنفس الهوائي أو اللاهوائي}]{\text{تحترق أو تتأكسد بواسطة } O_2} \{\textbf{كربوهيدرات كالسكريات أو أحماض امينية أو أحماض عضوية أو بروتينات أو دهون}\} + \text{طاقة}$$

ذات أوزان صغيرة ⟵ ذات أوزان كبيرة

- **يفقد 52- 60% منها إلى الجو**
- **قسم يخزن بشكل ركبات غنية بالطاقة وخاصة ATP**
- **قسم يستخدم في عمليات مختلفة لديمومة الحياة مثل 1-4**

العمليات المختلفة التي تستخدم فيها الطاقة من أجل ديمومة الحياة:

1- بناء الهيكل الكاربوني الذي تستند عليه أجسام النبات.

2- الفعاليات الحيوية اللازمة لتكوين الأحماض الامينية والبروتينات والحوامض النووية والدهون والصبغات وغيرها من المواد.

3- امتصاص الماء والعناصر المغذية ونقلها داخل جسم النبات.

4- عمليات الإزهار وتكوين الثمار والبذور والدرنات وغيرها من أنسجة النبات.

أهمية التنفس :

1- تحرير الطاقة الكامنة التي تستغل بمختلف العمليات الحيوية كامتصاص المغذيات وانتقالها داخل جسم النبات.

2- تكوين المركبات الحيوية الضرورية لبناء المكونات الخلوية وما يتبعها من نمو خضري وتكاثري.

3-تحرير CO_2 الذي يحافظ على دورة الكاربون في الطبيعة.

س/ ما هي المواد المستخدمة كمصدر للطاقة خلال التنفس؟ سلسلها حسب درجة سهولة تقبلها من قبل النبات من الأسهل نحو الأصعب مبيناً السبب:

الجواب :

1- الكاربوهيدرات (نشأ أو سكريات).

2- الأحماض العضوية.

3- البروتينات .

4-الدهون.

لكن عادة يستخدم النبات الكاربوهيدرات والأحماض العضوية لتوفرها بكميات كبيرة في أنسجة النبات بالإضافة إلى أنها المفضلة من قبل الأنسجة النباتية كمصدر للطاقة.

أن أعلى قدر من الطاقة يمكن الحصول عليه عندما تحدث عملية التنفس بوجود الأوكسجين ويدعى التنفس في هذه الحالة بأنه هوائي (Aerobic) وتكون النواتج CO_2 والماء لحصول الاحتراق التام للمواد الداخلة في التنفس.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة (686 كيلو سعرة)}$$

أما في حالة غياب الأوكسجين فيحدث التنفس بشكل لا هوائي (Anaerobic) ويمتاز بأنه اقل كفاءة من التنفس الهوائي من حيث إنتاج الطاقة كما أن نواتجه النهائية عبارة عن كحول الاثيلي + CO_2 وذلك لعدم حصول الاحتراق التام للمواد الداخلة في التنفس.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CO_2 + 2C_2H_5OH + \text{طاقة (56 كيلو سعرة)}$$

كحول اثيلي

مراحل التفاعلات الحيوية في التنفس:

عندما يمتص النبات الأوكسجين فأن الأوكسجين يشترك في أكسدة المواد الحيوية كالسكريات إلى ثاني اوكسيد الكاربون وبخار الماء مع تحرير طاقة والحقيقة أن الأكسدة لاتتم في خطوة واحدة بل خلال سلسلة من التفاعلات الفسيولوجية المنظمة المتكاملة مع بعضها ولسهولة دراسة وفهم التنفس تقسم تفاعلاته إلى مرحلتين أساسيتين هما:

أ – المرحلة غير الهوائية Anaerobic respiration

وتتكون من عدة تفاعلات حيوية لهدم السكر أو النشأ إلى مركب ثلاثي الكاربون هو حامض البايروفيك Pyruvate وتمتاز هذه المرحلة بما يأتي:

1- عدم تطلبها للأوكسجين (على الرغم من أن عدم احتياج الأوكسجين هو غير دقيق وليس دائماً).
2- تحدث في السايتوبلازم أو قد تحدث في غشاء البلازما.
3- يتحرر خلالها قسم قليل من الطاقة بشكل ATP (2ATP).
4- تأكسد الكاربوهيدرات خلالها يكون غير كامل.
5- حدوثها بكثرة في ظروف غير ملائمة لنمو النبات يسبب التسمم .
6- تتضمن هذه المرحلة نوعان من التفاعلات هما:

1- التحلل السكري Glycolysis:

وهي مجموعة التفاعلات غير الهوائية المبتدئة بالكلوكوز أو الفركتوز أو السكروز أو النشأ والمنتهية بتكوين حامض البايروفيك (Pyruvate).

2- التخمر الكحولي Alcoholic fermentation:

وهي مجموعة التفاعلات غير الهوائية المبتدئة بالكلوكوز أو الفركتوز أو السكروز أو النشأ والمنتهية بالكحول الاثيلي و CO_2.

ومما يذكر أن تفاعلات التحلل السكري والتخمر الكحولي تكون متشابهة باستثناء الخطوة الأخيرة فبدلا من تكوين حامض البايروفيك Pyruvate في التحلل السكري يتكون الكحول الاثيلي وثاني اوكسيد الكاربون في التخمر الكحولي(شكل 1).

أن جميع التفاعلات الكيمياوية التي يتضمنها التحلل السكري أو التخمر الكحولي تحدث لا هوائياً ويمكن أن تحدث في الأنسجة النباتية التي اعتادت التنفس لا هوائياً عند تعذر دخول الأوكسجين إليها أو قلته حيث أن بطئ نفوذ الأوكسجين إلى داخل الخلايا يكون شائعاً عند المراحل الأولى من إنبات بعض أنواع البذور كبذور البزاليا والذرة الصفراء والأنواع الأخرى التي تمتلك أغلفة صلبة قوية تمنع التبادل الغازي, كما يحدث التنفس اللاهوائي في جذور النباتات النامية في الترب المشبعة بالماء حيث يقل محتوى الأوكسجين فيها وكذلك مع المحاصيل المخزونة في المخازن المبردة عند قلة الأوكسجين في هواء المخزن .

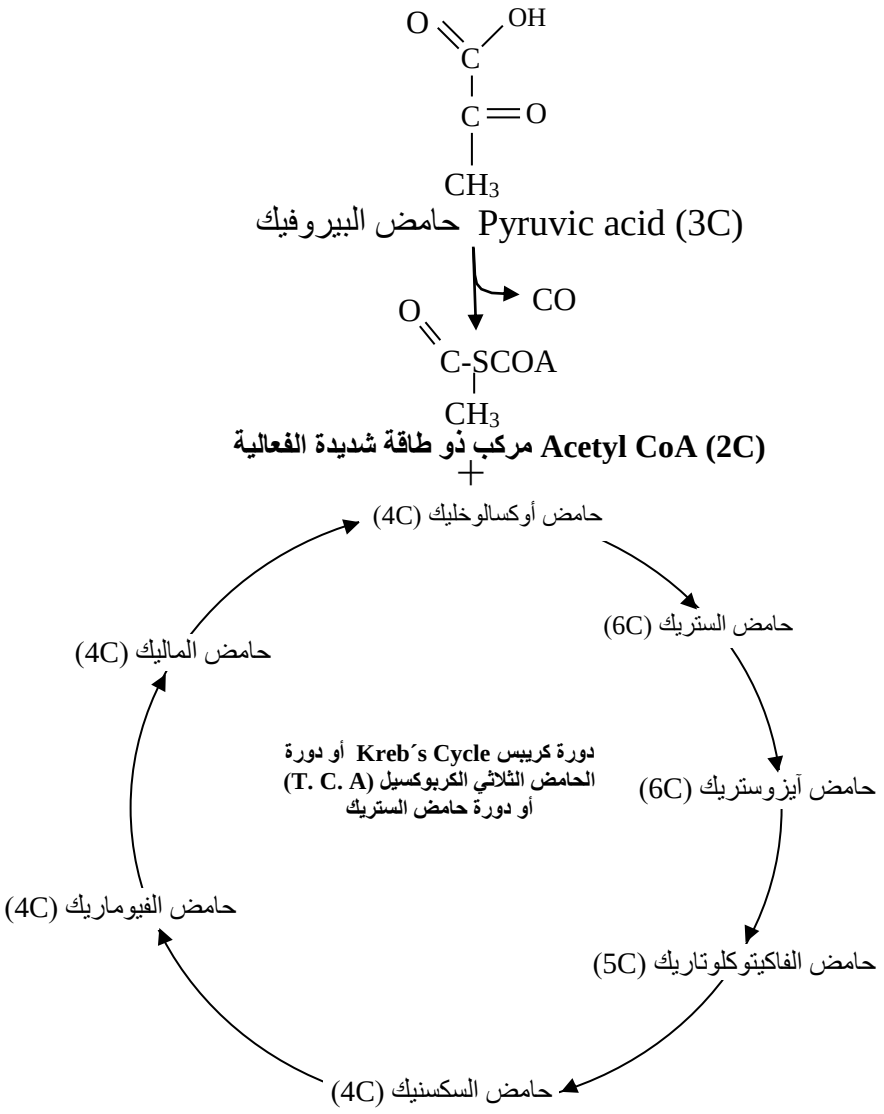
ب – المرحلة الهوائية Aerobic respiration:

وفيها يتأكسد حامض البايروفيك Pyruvate الناتج من المرحلة السابقة إلى ثاني اوكسيد الكاربون والماء وتمتاز هذه المرحلة بما يأتي :

1- تطلبها للأوكسجين .
2- حدوثها في المايتوكوندريا .
3- تحريرها الطاقة بشكل ATP بنسبة أكثر من السابقة (36 ATP) .
4- نواتجها غير سامة.
5- يحدث خلالها تأكسد (الكاربوهيدرات أو الأحماض العضوية.....إلخ) بصورة كاملة .
6- تتضمن هذه المرحلة ثلاثة مجاميع رئيسية من التفاعلات وهي:

أ- دورة كربس Krebs cycle:

وفيها يتهدم حامض البايروفيك Pyruvate كليا داخل غشاء المايتوكوندريا الداخلي بسلسلة تفاعلات تبتدئ بانتزاع مجموعة الكاربوكسيل من حامض البايروفيك Pyruvate وتحويل ماتبقى من المركب إلى مركب ثنائي الكاربون يسمى Acetyl CoA ثم يتحد هذا المركب مع حامض اكسالوخليك Oxaloacetate وهو حامض رباعي الكاربون ليتكون حامض سداسي الكاربون هو حامض الستريك Citrate وتستمر التفاعلات بشكل دائرة مقفلة كما موضح بالشكل أدناه علماً بأن حدوث هذه الدورة يتكرر عدة مرات من أجل إنتاج المزيد من الطاقة:



دورة كريبس Kreb´s Cycle أو دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل (T. C. A)
أو دورة حامض الستريك

أطلق على هذه التفاعلات اسم دورة كريبس Krebs cycle نسبة إلى مكتشفها (العالم الانكليزي Krebs) غير أن Krebs نفسه يصر على تسميتها باسم دورة حامض الستريك Citric acid cycle بسبب كثرة حامض الستريك Citric acid في هذه الدورة أو يطلق عليها ايضاً اسم دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (T.C.A) بسبب احتواء الدورة على بعض الحوامض العضوية المحتوية ثلاث مجاميع كاربوكسيلية.

أهمية دورة كريبس:-

1- في حالة عدم تحول ال Suceinyl COA الى المركب Suceinic acid فان النبات يستغل المركب الاول في تكوين المركبات الحيوية للكائنات الحية مثل صبغات Porphyrin كالكلوروفيل وال Cytochromes وال Phytochromes و Phycobilines .

2- ان المركب(Oxalo acetate) قد يتحول الى الحامض الاميني Aspartic asid وبذلك تتكون البروتينات .

3- مصدر لتكوين القوة الاختزالية(NADH) التي تفيد في تفاعلات بناء المواد الخلوية المهمة .

4- مصدر لتكوين الطاقة ATP بعملية الفسفرة التأكسدية .

ب- سلسلة انتقال الالكترونات من المواد المختزلة إلى الأوكسجين Electron transport chain:

أن ذرات الهيدروجين الموجودة في مرافق الأنزيم $NADH_2$ أو المجموعة $FADH_2$ والناتجة من التحلل السكري glycolysis ودورة كربسKrebs cycle لاتستطيع الاتحاد مباشرة مع الأوكسجين وتكوين الماء بل يجب أن تمر خلال سلسلة من التفاعلات قبل تكوين الماء وتسمى هذه السلسلة باسم سلسلة انتقال الالكترونات. ومن الطبيعي أن تنتقل الالكترونات من المواد ذات الطاقة الاختزالية الواطئة إلى المواد ذات الطاقة الاختزالية العالية أي العالية الألفة لكسب الالكترونات كالأوكسجين وقد تسمى هذه السلسلة من التفاعلات باسم نظام السايتوكروم Cytochromes system لقيام بروتينات السايتوكروم في نقل الالكترونات أو بإسم السلسلة التنفسية Respiratory chain لاشتراك الأوكسجين في اخذ الالكترونات من المركبات المختزلة.

جـ- إنتاج الطاقة بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation:

وهذه العملية تصاحب عملية سلسلة انتقال الالكترونات وخلالها يتم تخزين الطاقة المتحررة من التنفس بشكل مركبات غنية بالطاقة (ATP) ومفيدة للخلايا.

أن التفاعلات الخاصة بسلسلة انتقالات الالكترونات وإنتاج الطاقة (ب,جـ) متصلة اتصالاً وثيقاً مع دورة كريبس (أ) حتى أن بعض الباحثين لا يفصلها عنها وذلك لكونها تحدث في المايتوكوندريا وتحتاج إلى وجود الأوكسجين حالها حال دورة كريبس ويتكون خلال هذه التفاعلات (ب , جـ) حوالي 95% من مجمل ATP الناتجة أثناء مراحل التنفس الهوائي (36 ATP) ويتم تكوين ATP هذا من انتقال الالكترونات من المستقبلات الهيدروجينية $NADH+ H^+$, $FADH_2$ التي تكونت أثناء عملية التحلل السكري ودورة كريبس, إذ تنتقل هذه

الالكترونات الغنية بالطاقة بين مستقبلات الالكترونات , وأثناء ذلك تتحول طاقة هذه الالكترونات إلى طاقة كيمياوية بصورة ATP فعند تأكسد NADH إلى NAD فان الالكترونات المنطلقة تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين ثلاث جزيئات ATP أما عند تأكسد $FADH_2$ إلى FAD يفقد مقدار من الطاقة يكفي لتكوين جزيئتين من ATP.

يبلغ عدد جزيئات الـ ATP التي تتكون عند التأكسد التام لمول واحد من الكلوكوز في التنفس الهوائي إلى CO_2 و H_2O و38ATP.

يوضح الجدول (جدول1) الطاقة الكلية الناتجة من جزيء جلوكوز عند اكسدته اكسدة كاملة . حيث يتم انتاج عشرة جزيئات NADH وجزيئين $FADH_2$ واربعة جزيئات ATP . وعند الاخذ بالاعتبار انه ينتج3 جزيئات ATP لكل جزيئ NADH وجزيئين ATP لكل جزيئي$FADH_2$ وذلك في نظام نقل الالكترونات الموجود في اغشية المايتوكندريا ولذلك يوجد ناتج صاف هو 38 جزيئATP من الاكسدة الكاملة لجزيئ الجلوكوز. ينتج عن دوره تحلل الجلوكوز تكوين NADP وهذه تكون 2 جزيئ ATP وليست ثلاثة ولذلك فان صافي الناتج الكلي لاكسدة جزيئ جلوكوز واحد هو 36 جزيئ ATP فقط

الجدول (1): الناتج النهائي لاكسدة جزيئ جلوكوز واحد من NADH و $FADH_2$ و ATP.

الخطــوة	NADH او NADPH	$FADH_2$	ATP	صافي ATP
دورة تحلل الجلوكوز تحول البيروفيك الى خلات دورة كريبس	2 2 6	صفر صفر 2	2 صفر 2	8 6 24
المجموع	10	2	4	38

العوامل المؤثرة على التنفس :-

1- **التجويع** : النباتات المتجوعة التي تمتلك مخزوناً منخفضاً من النشأ والسكر تتنفس بمعدل واطئ نسبياً فاذا ماقل مخزون المصادر الكاربوهيراتية المتمثلة في المواد السكرية والنشوية، فأن الخلايا النباتية تبدأ بأكسدة المواد البروتينية وتحليلها الى الحوامض الامينية والتي تتحول فيما بعد الى

المركبات المكونة لدورة كريبس والتخمر واذا مااستمر نقص المواد النشوية والسكر في النبات ، تبدأ الاوراق بالاصفرار وتتجزأ معظم البروتينات والمركبات النيتروجينية داخل البلاستيدات الخضراء .

2- **درجة الحرارة:** ان للحرارة تأثيرات واضحة على معظم التفاعلات البايولوجية وخاصة تلك التي تتحكم فيها الانزيمات (مابين درجة الصفر المئوي – 30مه) فكلما ارتفعت درجة الحرارة 10 درجات مئوية يتضاعف معدل التنفس. اما بعد درجة 30 درجة مئوية فالزيادة في درجات الحرارة لها تأثيرات سلبية ومؤذية على الخلية . ففي الدرجات العالية تتحول الانزيمات الى حالة غير فعالة وبذلك ينخفض معدل التنفس .

3- **الجروح والتأثيرات الميكانيكية والمرض** : الجروح التي تحصل للنباتات غالبا ما تسبب زيادة في سرعة التنفس ولكن السبب في هذه الزيادة لم يعرف لحد الان . وحتى الحك البسيط وانحناء الاوراق لبعض النباتات يسبب زيادة التنفس ، وهذه الزيادة تتراوح مابين 20 – 80 ٪ . كما ان اصابة النباتات بالامراض الفطرية غالباً ماتزيد من سرعة التنفس في أو قرب المناطق المصابة .

4- **الضوء** : الضوء يزيد من سرعة التنفس من خلال تأثير الضوء على تكوين السكريات في عملية التركيب الضوئي بالاضافة الى ان الضوء يسبب زيادة في تكوين حامض الكلايكول في البلاستيدات الخضراء . ان التأكسد السريع لهذا المركب يؤدي الى تحرير CO_2 وامتصاص الاوكسجين .

5- **المحتوى المائي للخلية** : تحت ظروف قلة الرطوبة تنخفض عملية التنفس وبعض الفعاليات الحيوية الاخرى الى الحد الادنى ولكنها تستهلك كمية قليلة من O_2 وتحرر كمية قليلة من CO_2 وكمية صغيرة من الطاقة . ان الطاقة المتحررة تكون ضرورية للابقاء على حيوية البروتوبلازم لخلايا البذرة هذا مايحدث مع البذور الجافة لكن بمجرد اضافة كمية قليلة من الماء الى البذور تحدث عملية التشرب وتنتفخ البذور ويزداد معدل التنفس في خلاياها بصورة سريعة .

6- **الاوكسجين المتوفر** : يؤثر الاوكسجين بشكل كبير على المرحلتين الاخيرتين من مراحل التنفس وهي التي يحدث خلالها تكون 95 ٪ تقريباً من ال ATP بالاضافة الى تأثير قلة أو عدم وجود ال O2 والذي يؤدي الى تواجه النسيج النباتي للقيام بعملية التخمر والتي يكون مردودها اقل بكثير من التنفس الهوائي .

معامل التنفس (R.Q)The Respiration Quotient :-

ويمثل النسبة مابين حجم الاوكسجين المستهلك من قبل الخلية وثاني أوكسيد الكاربون المتحرر منها خلال عملية التنفس . ويفيد في معرفة نوعية المواد الغذائية المخزنة في الانسجة النباتية المختلفة.

$R.Q = CO_2 / O_2$

لقد درس معامل التنفس في كثير من الخلايا والانسجة الحية النباتية ففي البذور الغنية بالكاربوهيدرات لحبوب الحنطة والشعير يلاحظ ان .R . Q تعادل الواحد

$$C6H12O6 + 6\ O2 \rightarrow 6\ CO2 + 6\ H2O$$

$$R.Q = 6CO2 / 6O2$$

اما الانسجة الغنية بالدهون كبذور السمسم والكتان فأن R . Q يكون اقل من الواحد لان المواد التي تخزن البذور مختزلة الدهون .

$$C18H34O2 + 25.5O2 \rightarrow 18CO2 + 17\ H2O$$

$$R . Q = 0.71$$

س/ ما هي المركبات الخازنة للطاقة التي تعمل خلال التنفس؟

مرافقات أنزيمية تنقل الهيدروجين

1- NADH : مختزل نيكوتين امايد ادنين ثنائي النيوكليوتيد.

2- FADH : مختزل فلافين ادنين ثنائي النيوكليوتيد .

حوامل للهيدروجين تنقل الهيدروجين

3- GTP : كوانوسين ثلاثي الفوسفات.

4- ATP : ادينوسين ثلاثي الفوسفات.

علماً بأنه تتحول جميع المركبات أعلاه عند تخزينها في الخلية النباتية إلى ATP لأنه الشكل الفعال في الخلية.

بالإضافة إلى ما سبق فإن الفسفرة التأكسدية التي تحدث خلال التنفس تختلف عن عملية الفسفرة الضوئية(Photophosphorylation) التي تحدث خلال عملية التركيب الضوئي في النقاط التالية:

ت	الفسفرة التأكسدية	ت	الفسفرة الضوئية
1	تحدث في المايتوكوندريا	1	تحدث أغشية الكرانا grana للكلوروبلاست (البلاستيدة الخضراء).
2	تحدث ليلا ونهارا	2	تحدث في النهار فقط
3	مصدر الالكترونات هو المواد المختزلة ويتكون فيها الماء	3	مصدر الالكترونات هو الماء ولذا تستهلك الماء
4	تحدث أثناء التنفس	4	تحدث أثناء التركيب الضوئي

ملاحظات عامة عن التنفس

التنفس = عمليات أكسدة + عمليات اختزال (أي أنه اي عملية أكسدة يقابلها عملية اختزال).

الأكسدة : تعني إزالة أو فقدان الالكترونات من المركب , وهي تلازم أو ترافق إزالة الهيدروجين فمثلاً عند تأكسد NADH إلى NAD فان الالكترونات المنطلقة تفقد من الطاقة مايكفي لتكوين ثلاث جزيئات ATP , أما عند تأكسد $FADH_2$ إلى FAD يفقد مقدار من الطاقة يكفي لتكوين جزيئتين من ATP .

الاختزال : تعني إضافة الكترونات للمركب وتكون هذه العملية مرتبطة بإضافة الهيدروجين .

تفهم عملية الأكسدة Oxydation على أنها إعطاء الكترونات

$$Fe^{+2} \longrightarrow Fe^{+3} + e^-$$

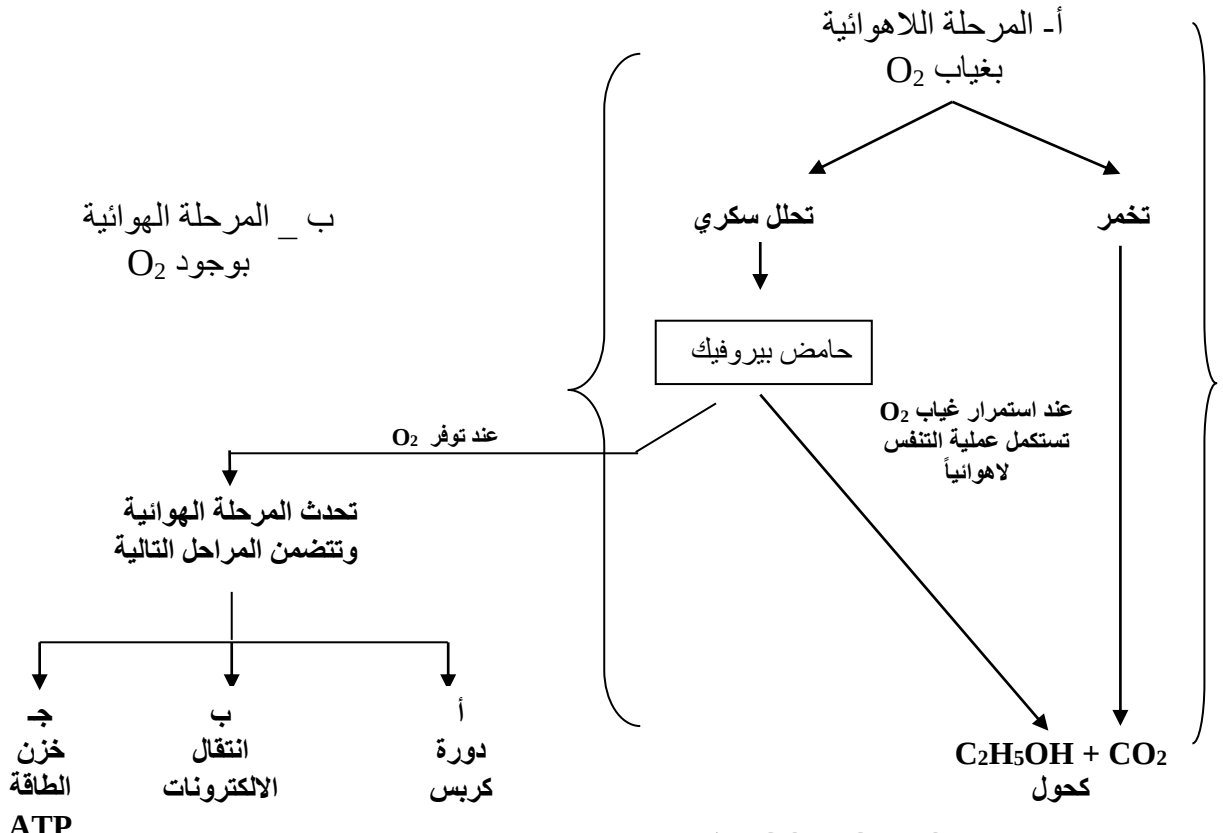
وعملية الاختزال على أنها اخذ أو امتصاص للالكترونات.

$$2e^- + O_2 \longrightarrow O^{-2}$$

ويجب توفر مستقبل Akzeptor لمعطي (مانح) الالكترونات وهذا ما يعني أن كل أكسدة تشترط حدوث اختزال في نفس الوقت.

شكل (1):يوضح ميكانيكية التنفس الهوائي

التنفس الهوائي يتكون من مرحلتين هما: لا هوائية + هوائية



التخمر: ينتهي بتكوين $CO_2 + C_2H_5OH$ مباشرة .

التحلل السكري: ينتهي بتكوين $C_2H_5OH + CO_2$ أيضاً وذلك في حالة استمرار غياب O_2 ولكن بشكل غير مباشر وذلك بعد المرور بمرحلة وسطية يتكون خلالها حامض البايروفيك.

FAD Flavine adenine dinucleotide (oxidized form)
$FADH_2$ Flavine adenine dinucleotide (reduced form)
NAD^+ Nicotine amide adenine dinucleotide (oxidized form)
NADH Nicotine amide adenine dinucleotide (reduced form)
$NADP^+$ Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate (oxidized form)
NADPH Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate (reduced form)

س/ علل/ (ناقش) لايمكن أعتبار التنفس معكوس التركيب الضوئي للأسباب الآتية:

ج
1- أن موقع التفاعلات مختلفة بالنسبة للاثنين .
2- أن مواد التفاعل هي مختلفة بالنسبة للاثنين .

مقارنة بين التنفس والتركيب الضوئي

ت	التنفس	التركيب الضوئي
1	يستهلك O_2	يتحرر O_2
2	يتحرر CO_2	يستهلك CO_2
3	تحدث العملية ليلا ونهاراً	تحدث العملية بوجود الضوء فقط
4	الضوء غير ضروري للعملية	الضوء ضروري للعملية
5	أثناء التنفس تتحول الطاقة الكيمياوية الكامنة إلى طاقة حركية	أثناء التركيب الضوئي تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيمياوية كامنة
6	المواد الأولية للتفاعل هي الكلوكوز والأوكسجين	المواد الأولية للتفاعل هي CO_2 والماء
7	الكلوروفيل غير ضروري	الكلوروفيل ضروري
8	يحدث في السايتوبلازم والمايتوكوندريا	يحدث في الكلوروبلاست (البلاستيدات الخضراء)
9	تحرر طاقة	تمتص طاقة
10	تسبب قلة وزن النبات	تسبب زيادة وزن النبات
11	عملية هدمية	عملية بنائية
12	تحدث فيها عملية نزع CO_2 decarboxylation	تحدث فيها عملية إضافة CO_2 (carboxylation)
13	يخرج منها الماء	تتطلب الماء
14	أثناء هدم مول واحد من الكلوكوز يتحرر 38 مول ATP	أثناء تكون مول واحد من الكلوكوز تتطلب 18 مول ATP

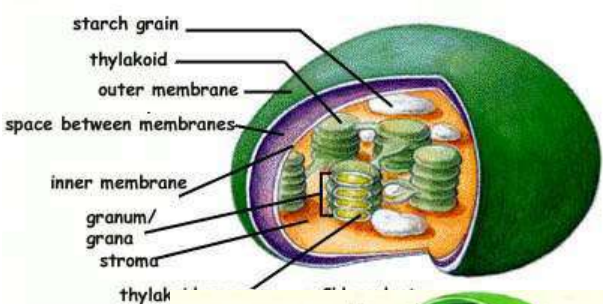
المحاضرة العاشرة

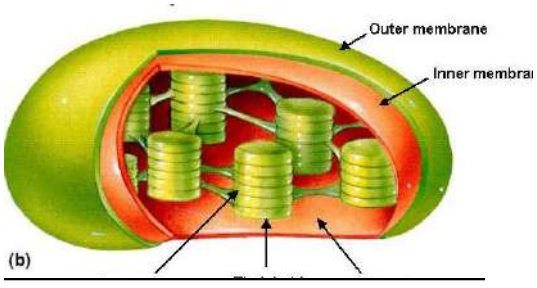
التركيب الضوئي Photosynthesis

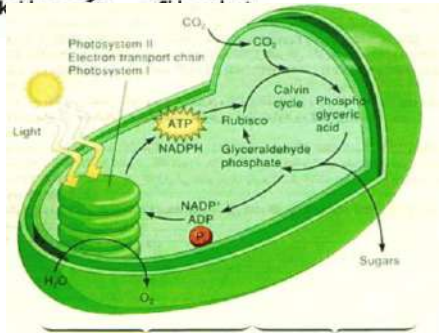
النباتات الخضراء تختلف عن معظم الكائنات الأخرى بكونها ذاتية التغذية Autotrophic أي إنها تستطيع أن تصنع غذائها بنفسها من خلال تحويل ثاني اوكسيد الكاربون اللاعضوي الى مواد عضوية سكرية داخل البلاستيدات الخضراء بمساعدة الطاقة الضوئية بعكس الحيوانات و الإنسان التي تعتمد في غذائها على المصادر الجاهزة للمواد الغذائية العضوية ولهذا تسمى Heterotrophic . لحدوث عملية التركيب الضوئي يجب توفر العناصر الأساسية المساهمة في انجازها والمتمثلة في الماء الذي يجهز من خلال الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة المجاورة لها بشكل أساس أو من ما يمتصه الجزء الخضري بشكل ثانوي و (Co_2) الذي يجهز من المحيط الخارجي للنبات بشكل أساس أو من ما ينتجه النبات خلال عمليات التنفس الخلوي و البلاستيدات الخضراء والضوء . ولذلك ولفهم عملية التركيب الضوئي يجب دراسة و توضيح ما يلي :

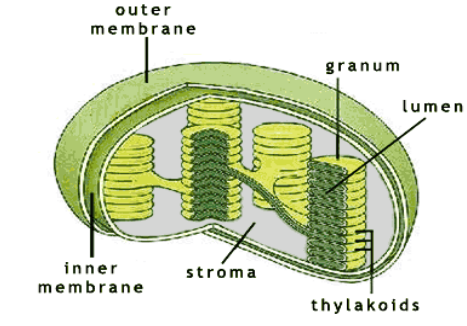
أ – **البلاستيدة الخضراء** : هي عبارة عن جسيمة سايتوبلازمية تمثل المركز الذي تتم فيه عملية التركيب الضوئي حيث تنتظم فيها جزيئات الكلوروفيل والأصباغ المساعدة الأخرى بنظام خاص يسمح بنقل الطاقة ما بين جزيئات الصبغات التي تمتص الضوء وتحوله الى عدة جزيئات أخرى قبل أن تصل الى مكان تأثيرها فقد تتحول الطاقة

الضوئية من جزيئة كلوروفيل a الى جزيئة كلوروفيل a أخرى أو من جزيئة كلوروفيل b الى جزيئة كلوروفيل a أو من جزيئة كاروتين الى جزيئة كلوروفيل a . لقد كشف المجهر الالكتروني بان البلاستيدات الخضراء (الكلوروبلاست) محاطة بزوج من الأغشية كما موضح بالرسم, ينبعج الداخلي منها للداخل من عدة أماكن ليكون النظام الصفائحي للبلاستيدة والمسؤول عن تفاعلات الضوء(الكيموضوئية) و ذلك لاحتوائه على صبغات الكلوروفيل وأشباه الكاروتينات. كما موضح بالشكل (1) :









شكل (1) : النظام الصفائحي للبلاستيدة و المسؤول عن تفاعلات الضوء

يتكون النظام الـ ـر منها يتكون البذيرة Grana (وهي جمع كلمة Granum) وعند امتداد احد الأكياس أو الصفائح العائدة لبذيرة معينة خلال حشوة البلاستيدة واتصالها بكيس أو صفيحة أخرى تعود الى بذيرة ثانية يتكون ما يسمى بالصفيحة الحشوية Stromdl Lamella . فراغ البلاستيدة المسمى Stroma أو Matrix هو عبارة عن سائل ذات طبيعة غروية لاحتوائه على البروتينات والأنزيمات ويشترك في تفاعلات الظلام (الكيمو حرارية) الخاصة بتثبيت ثاني اوكسيد الكاربون خلال عملية التركيب الضوئي.

ب- الطاقة الضوئية:

عبارة عن موجات ذات طبيعة دقائقية (أي تتكون من دقائق) عرفت بالفوتونات Photons أو الكمات quantums وهذه الفوتونات أو الكمات تمتلك تردد وطاقة وطاقتها تتناسب عكسياً مع طول الموجة الضوئية.

ج- الصبغات النباتية :

عبارة عن جزيئات كيمياوية تمتص نطاقات معينة من أطوال الموجات الضوئية وبكفاءة عالية ولا تمتص أطوال موجات أخرى ولهذا تظهر بألوان مختلفة (علماً بان الضوء الأبيض العادي هو خليط من الموجات كلها). أن امتصاص الطاقة الضوئية من قبل البلاستيدات الخضراء يتم بواسطة الصبغات Pigments التي تحتويها البلاستيدات والتي تصنف الى :

1- **الصبغات الرئيسية** : والتي تشمل الكلوروفيلات وخاصة(a الخضراء المزرقة) و(b الخضراء المصفرة) والتي تشكل 65٪ من الصبغات الموجودة في البلاستيدات الخضراء.

2-**الصبغات المساعدة أو ما يسمى بأشباه الكاروتينات:** والتي تشمل الكاروتين (ذو اللون الأصفر- البرتقالي – الأحمر) والزانثوفيل (ذو اللون الأسمر أو البني) واللذان يشكلان نسبة 6٪ و29٪ على التوالي من الصبغة الموجودة في البلاستيدة الخضراء.

أن كل من الأصباغ الرئيسية والمساعدة نشطة ضوئياً وتساهم بشكل فعال في اسر الطاقة الضوئية حيث أن عملية التركيب الضوئي تستخدم جميع الأطوال الموجية ضمن الطيف المرئي لكن أكثر الموجات الضوئية تأثيراُ على أحداث التركيب الضوئي هي الزرقاء والحمراء والتي تمتص من قبل جزيئات كلوروفيل (a و b) بكفاءة عالية أما الموجات الضوئية التي تقع ضمن المناطق الوسطى للطيف المرئي (الموجات الضوئية الخضراء) فإنها تمتص بصورة رئيسية من قبل أشباه الكاروتينات والتي لاتمتلك القدرة على استخدام الطاقة الضوئية الممتصة من قبلها لذلك فإنها تحولها الى جزيئات الكلوروفيل لكي تستخدمها في عمليات التركيب الضوئي.

علل : اشباه الكاروتينات تحول الطاقة الضوئية التي تمتصها الى الكلوروفيلات .

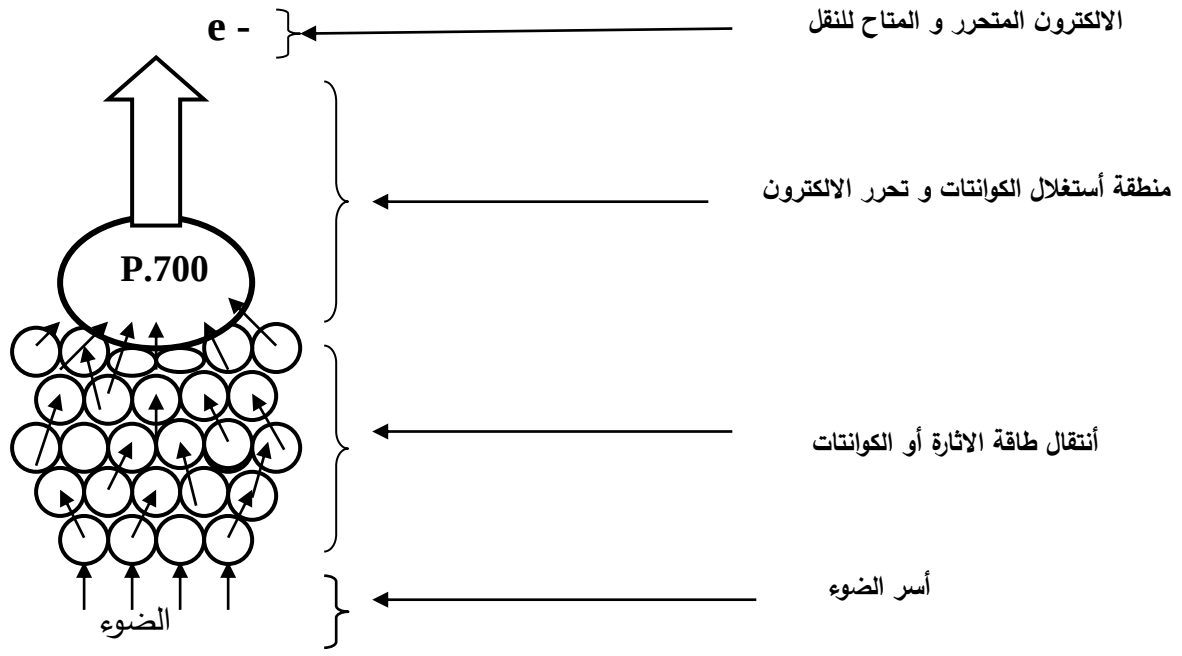
ج) لانها لاتملك القدرة على استخدام الطاقة الضوئية الممتصة من قبلها .

تهيج الصبغات :

عند امتصاص الصبغات المشتركة في عمليات التركيب الضوئي للضوء فان الفوتونات أو الكمات التي يحتويها الضوء سوف تؤدي الى تنشيط وتهييج الالكترونات التي تدور في أفلاك الصبغات وعندئذ ترتفع هذه الالكترونات محملةً بالطاقة الى مستوى أعلى وعند عودتها الى حالتها الأصلية بعد مرور مدة قصيرة (10^{-9} ثانية) فإنها تفقد الطاقة الزائدة وبأشكال مختلفة فينتقل جزء منها الى مركبات كيمياوية خاصة تسمى حوامل الالكترونات مثل NADP فيختزل الى $NADPH_2$ وذلك من اجل تكملة عملية التركيب الضوئي ويخزن الجزء المتبقي من الطاقة الزائدة بشكل مركبات غنية بالطاقة مثل مركب الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) بعد أن يتحد مركب الادينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) مع حامض الفوسفوريك.

وحدة التركيب الضوئي Photosynthetic Unit :

لقد اعتقد المشتغلون الأوائل في التركيب الضوئي بان امتصاص وتحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية يتطلب وجود بلاستيدة خضراء كاملة النمو والتركيب لكن لوحظ من التجارب بان وجود أجزاء صغيرة من البلاستيدة يكفي لحدوث التركيب الضوئي وهذا يشير الى إمكانية تكون البلاستيدة من وحدات صغيرة تسمى وحدات التركيب الضوئي وهي تمثل اصغر مجموعة من جزيئات الصبغات المتقاربة من بعضها وبترتيب هندسي منظم وتتعاون مع بعضها في امتصاص الطاقة الضوئية ونقلها الى مكان استغلالها حيث يحدث انطلاق أو تحرر الالكترونات وكما موضح بالرسم:



شكل (2) : ترتيب الجزيئات في وحدة التركيب الضوئي يبين كيفية جمع ونقل الطاقة

المحتويات غير النشطة ضوئياً في البلاستيدة :

مما سبق اتضح بان أصباغ الكلوروفيل وأشباه الكاروتينات تمثل مواد نشطة ضوئياً في البلاستيدة وتساهم بشكل فعال في اسر الطاقة الضوئية لكن هذا لا يكفي لتكملة حدوث التركيب الضوئي بل يتطلب الأمر الى إسهام مركبات كيمياوية تساعد في نقل الإلكترون المستمر والتي تسمى بالمواد غير النشطة ضوئياً وتشمل:

أ- السايتوكرومات Cytochrames:

هي مركبات بروتينية ويوجد منها في البلاستيدة سايتوكروم f (Cyt.f) وسايتوكروم b (Cyt.b).

ب- الفيرودكسينات Ferrodoxin:

مركبات تحتوي الحديد وتقوم بنقل إلكترون ولها القدرة على اختزال مواد أخرى .

ج- الكوينويدلات Quinone:

يوجد منها في البلاستيدة الخضراء مجموعة كبيرة ومن أمثلتها Plastoquinone (والذي يمثل مركب عضوي يعاني تفاعلات الأكسدة والاختزال بسبب نقله الالكترونات) وفيتامين K (والذي يعمل كحامل للالكترونات وربما يقوم بعملية الأكسدة والاختزال).

مراحل عملية التركيب الضوئي:

سابقاً كان يعبر عن عملية التركيب الضوئي بالمعادلة أدناه

$$6Co_2 + 6H_2o \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

6(0) 12(0) 12(0)

لكن حديثاً ثبت بان عدم صحة هذه المعادلة لان بموجبها كان يعتقد بان مصدر O_2 الناتج من Co_2 كلياً أو من كل من Co_2 والماء معاً لكن الدراسات أثبتت بان مصدر O_2 الناتج هو الماء فقط (حيث يحدث انشقاق ضوئي للماء Phytolysis) واستناداً الى ذلك فان المعادلة تصبح

$$6Co_2 + 6H_2o \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2o$$

12(0) 12(0)

أن التعبير عن عملية التركيب الضوئي بمعادلة كيمياوية واحدة لايوضح جميع الحقائق المتعلقة بما يحدث داخل البلاستيدة أي لا يبين بشكل واضح التغيرات التي تحدث للمواد اللاعضوية حتى تتحول الى

مـواد عضـوية خاصـةً وان التجـارب قـد أثبتـت بـان عمليـة التركيـب الضـوئي تحـوي مـرحلتين (ضـوئية ولاضوئية) وهذا ماتؤكده الأدلة التالية :

الأدلة العلمية لوجود مراحل الضوء والظلام في عملية التركيب الضوئي :

أ- تجارب الضوء المتقطع للعالم واربرغ Worburg:

لقد توصل هذا الباحث الى أن معدل عملية التركيب الضوئي للنبات تحت الضوء المستمر ولفترة زمنية معينة هو اقل من معدل التركيب الضوئي لنفس النبات عندما يستلم نفس الكمية من الضوء لكن بصورة متقطعة تفصلها فترات ظلام ولتفسير هذه الحالة وضع النموذج التالي:

$$A \xrightarrow{\text{تفاعل اول}} B \xrightarrow{\text{تفاعل ثاني}} C$$

حيث أن A : هي نقطة بدأ عملية التركيب الضوئي وهي تفاعل الـ $Co_2 + H_2o$

B : هي نقطة وسطية في عملية التركيب الضوئي حيث يتكون خلالها مركبات وسطية

C : هي نقطة انتهاء عملية التركيب الضوئي و تكون نواتجه النهائية مثل $C_6H_{12}O_6$.

فعند تعرض النبات الى ضوء مستمر ذو شدة عالية يكون التفاعل من A الى B أسرع من التفاعل في تحول B الى C ونتيجة للتباين في معدل سرعة التفاعلين فسوف يحدث تراكم في B وان زيادة تكوين B سوف لا يؤثر على معدل تكوين C طالما كان التفاعل الثاني من (B الى C) لا يملك القدرة على استخدام كل B المتوفر له عن طريق التفاعل الأول (بسبب قلة سرعته) وعلى هذا الأساس يحدث خلال عملية قطع الضوء تحول B الى C والتي يكون خلالها التفاعل الأول متوقف أو قليل (بسبب عدم توفر الضوء) وهكذا فان استخدام الضوء المتقطع سوف يؤدي الى تكوين كمية اكبر من C. أما عند نمو النباتات تحت شدة إضاءة واطئة فيكون معدل تكون B من A واطئي واقل من تحول B الى C. مما سبق يتضح بان التفاعل الأول هو المحدد لمجمل تفاعلات التركيب الضوئي وهو تفاعل كيموضوئي أي يتطلب وجود الضوء لحدوثه بشكل أساسي.

1. تجارب درجة الحرارة:

وجد أيضا من التجارب بان درجة الحرارة لا تؤثر في التفاعلات الكيموضوئية (التفاعل الأول) لكنها تؤثر في التفاعلات الكيموحرارية (التفاعل الثاني) فعند نمو النبات تحت شدة إضاءة عالية يزداد تكون B من A و عند زيادة درجة الحرارة تحت هذه الظروف يحدث زيادة في تكوين C من B.

2. اخذ Co_2 خلال الظلام:

وجد من خلال التجارب بان وضع مجموعة من النباتات تحت شدة ضوء عالية وفي جو خالي من Co_2 يحصل تراكم بمادة B وبشكل ملحوظ لكن هذه المادة تزول بشكل تدريجي أو يقل تركيزها عن تجهيز النباتات بـ Co_2 تحت ظروف الظلام.

أن نتائج هذه التجارب أوضحت بان عملية التركيب الضوئي تتضمن نوعين من التفاعلات هما:

أ- التفاعلات الكيموضوئية (تفاعلات الضوء) Photochemical reaction :

وتتميز بأنها تتطلب وجود الضوء, سريعة, غير حساسة لدرجة الحرارة, تحدث في البذيرات والصفائح مابين البذيرات ويتم خلالها انشطار الماء ضوئياً.

ب-تفاعلات الكيموحرارية (تفاعلات الظلام) Thermochemlcal reaction :

وتتميز بأنها لا تحتاج الى تواجد الضوء, بطيئة, ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى إسراعها, تحدث في الحشوة ويتم خلالها اختزال Co_2 .

أولا: التفاعلات الكيموضوئية :

تستطيع هذه التفاعلات أن تبدأ من الضوء الضعيف وتزداد بزيادته الى حد معين حيث يتشبع جزئي الكلوروفيل بكل ما في استطاعته امتصاصه من الضوء وعند ذلك تنشط حركة الالكترونات الموجودة في الكلوروفيل وعندما تميل هذه الصبغات للعودة الى حالتها الأصلية غير المتهيجة تخرج منها الطاقة الزائدة وينتقل جزء منها الى حوامل الالكترونات ويخزن الزائد منها بشكل مركبات ATP الغنية بالطاقة (بعد أن تستمد مركبات الـ ADP مع حامض الفسفوريك) وتسمى عملية دخول الفسفور برابطة غنية بالطاقة وبالطريقة السابقة الذكر فسفرة ولان هذه التفاعلات تحدث تحت تأثير الضوء فتسمى فسفرة ضوئية وأول من ذكر الفسفرة الضوئية Photophosphorylation هو الباحث Arnon عام 1954 حيث يبين من خلال تجاربه مقدرة البلاستيدات الخضراء المعزولة من النبات والمعرضة للضوء على تكوين مركبات الـ ATP الغنية بالطاقة وبهذا اثبت بان المايتوكوندريا ليست هي الجزء الوحيد في الخلية الذي ينتج الطاقة.

لقد وجد من التجارب بان البلاستيدات الخضراء تستطيع أن تقوم بتفاعلين كيموضوئيين هما الفسفرة الضوئية الدائرية والغير دائرية وكما يلي :

أ- الفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic photophosphorylation :

يحدث هذا النوع من الفسفرة في البكتريا التي تختلف ضوئياً (تصنع الغذاء بوجود الضوء) وفي هذا النوع من الفسفرة لا ينتج غاز O_2 كما أن تكوين ATP لا يصاحبه أي تغير في مستلم الالكترونات أو مسلمها وان الالكترونات المنبعثة من الكلوروفيل قد ترجع إليه وحسب المعادلة التالية:

$$nADP + nH_3PO_4 \xrightarrow[\text{ضوء}]{\text{كلوروفيل}} nATP + nH_2O$$

ب-الفسفرة الضوئية غير الدائرية Noncyelic photophosphorylation :

يحدث هذا النوع من الفسفرة في النباتات الراقية والذي يتصاعد فيها غاز الأوكسجين ضمن النواتج النهائية كما أن تكوين ATP يكون مرتبط بنقل الالكترونات من الماء الى المستلم النهائي للالكترونات $NADP^+$ ومن خلال عدة مركبات ناقلة للالكترونات وكما موضح أدناه :

أنتقال الألكترونات

$$2H_2o+2NADP^++3ADP+3H_3po_4 \xrightarrow[\text{كلـوروفيل}]{\text{ضـوء}} O_2+3H_2o+2\ NADPH+2H^++3ATP$$

تحرر الأوكسجين

طبيعة الفسفرة الضوئية غير الدائرية :

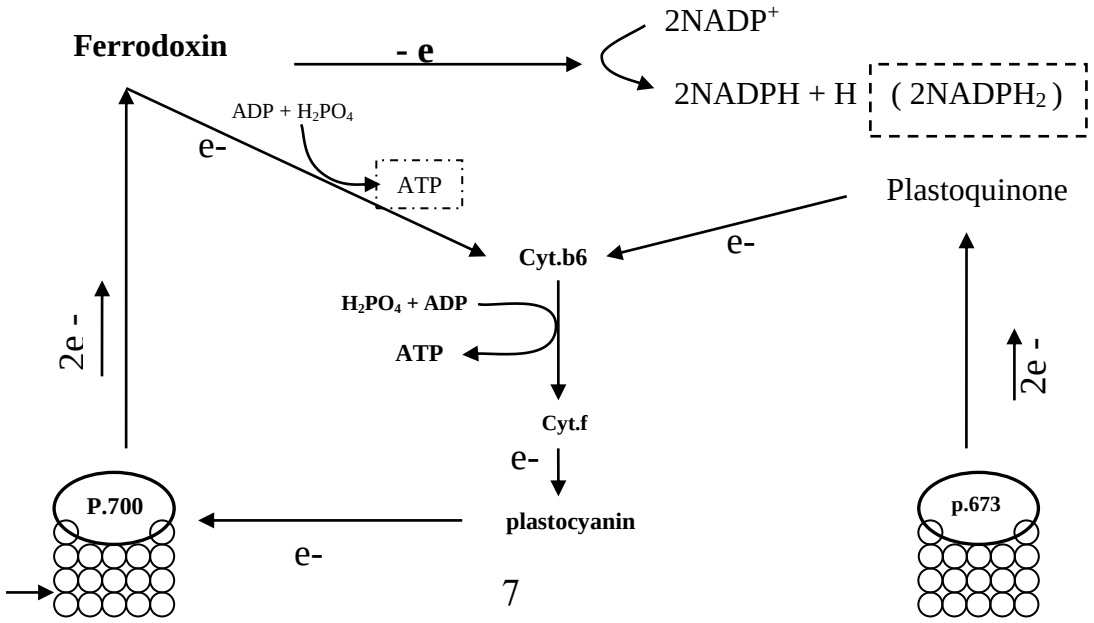
لقد توصل الباحث اميرسن Emerson الى أن كفاءة التركيب الضوئي تكون ضعيفة عند الموجات الضوئية الطويلة (الضوء الأحمر بطول أكثر من 683–700 مليمايكرون) في حين استعمال الموجات الضوئية القصيرة بطول اقل من (673–680 مليمايكرون) مع الموجات الضوئية الطويلة في نفس الوقت أدى الى زيادة معدل عملية التركيب الضوئي (وعرفت هذه الظاهرة بتأثير اميرسن Emerson effect) وأوضحت بأنه يوجد نوعين من التفاعلات الضوئية المتعاونة مع بعضها في عملية التركيب الضوئي وكما يلي :

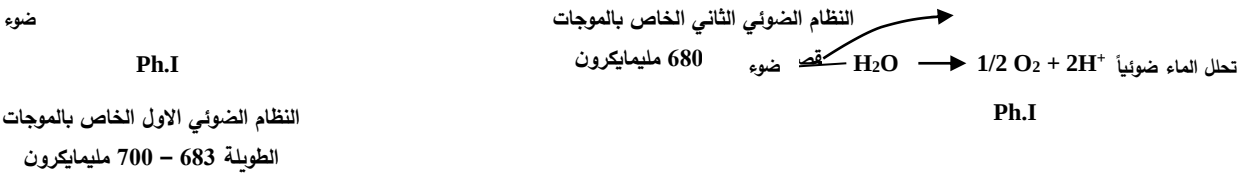
النظام الضوئي الأول photosystem 1 :

يتعلق بالصبغات الممتصة للضوء ذو الموجة الطويلة (683 مليمايكرون) فأكثر هذه الصبغات تشمل نوع خاص من كلوروفيل (a) يسمى Pigment 700 أو P700 يستطيع امتصاص الضوء ذو طول الموجة 700 مليمايكرون والكاروتينات الفعالة.

النظام الضوئي الثاني Photosystem 2 :

يتعلق بالصبغات الممتصة للضوء ذو الموجة القصيرة اقل من (673–680) مليمايكرون والتي تشمل الشكل الأخر من كلوروفيل (a) وبقية كلوروفيل (b) . فبعد امتصاص الطاقة الضوئية وتركزها في مجموعتين مختلفتين من كلوروفيل (a) داخل صفائح الكرانا أو البذيرات يحدث التالي وكما موضح بالرسم أدناه وكما يلي :





شكل (3) الفسفرة الضوئية و انتقال الالكترونات من ph.II الى ph.I ثم الى $NADP^+$

تنطلق الالكترونات من جزيئات كلوروفيل a (P700) الموجود في النظام الضوئي الأول نتيجة امتصاصها للطاقة الضوئية واثارتها الى جزيئات الفيرودكسين Ferredoxen تاركة جزيئات الكلوروفيل متأينة بشحنة موجبة ومن ثم تقوم جزيئات كلوروفيل (a) العادية الموجودة من النظام الضوئي الثاني بامتصاص الموجات الضوئية المختلفة وتتأين بشحنة موجبة نتيجة انطلاق الالكترونات منها وتركز الطاقة الممتصة فيها ثم تنتقل هذه الالكترونات عبر الحوامل حتى تستلم من قبل جزيئات الكلوروفيل المتأينة في مركز التفاعل الأول وهكذا فان جزئيات الكلوروفيل في كل من المركزين تمر بسلسلة متتابعة من التأين والتعادل حيث تتعادل جزيئات الكلوروفيل المتأينة بشحنة موجبة في مركز التفاعل الأول بالالكترونات المنطلقة من مركز التفاعل الثاني بينما تتعادل جزيئات الكلوروفيل المتأينة في مركز التفاعل الثاني بواسطة الالكترونات الناتجة من تحلل الماء.

اثناء انتقال الإلكترون خلال هذه الحوامل يحصل فقد في الطاقة التي يحتويها الإلكترون وتتحول هذه الطاقة الى طاقة كيمياوية بشكل ATP وفي المرحلة الاخيرة ينتقل الإلكترون من الفيروكسين الى مركب Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate ($NADP^+$) الذي يتحد مع ايون الهيدروجين مكوناً (NADPH) وكما موضح :

$$NADP+H^+ + e^- \rightleftharpoons NADPH$$

إذن النتيجة النهائية لتفاعلات الضوء هو تصنيع القوة أو الطاقة البنائية ATP في عملية الفسفرة الضوئية وانتاج المركب الاختزالي $NADPH_2$.

ماهي نواتج تفاعلات الضوء وماهي فائدتها؟

نواتج تفاعلات الضوء هي:

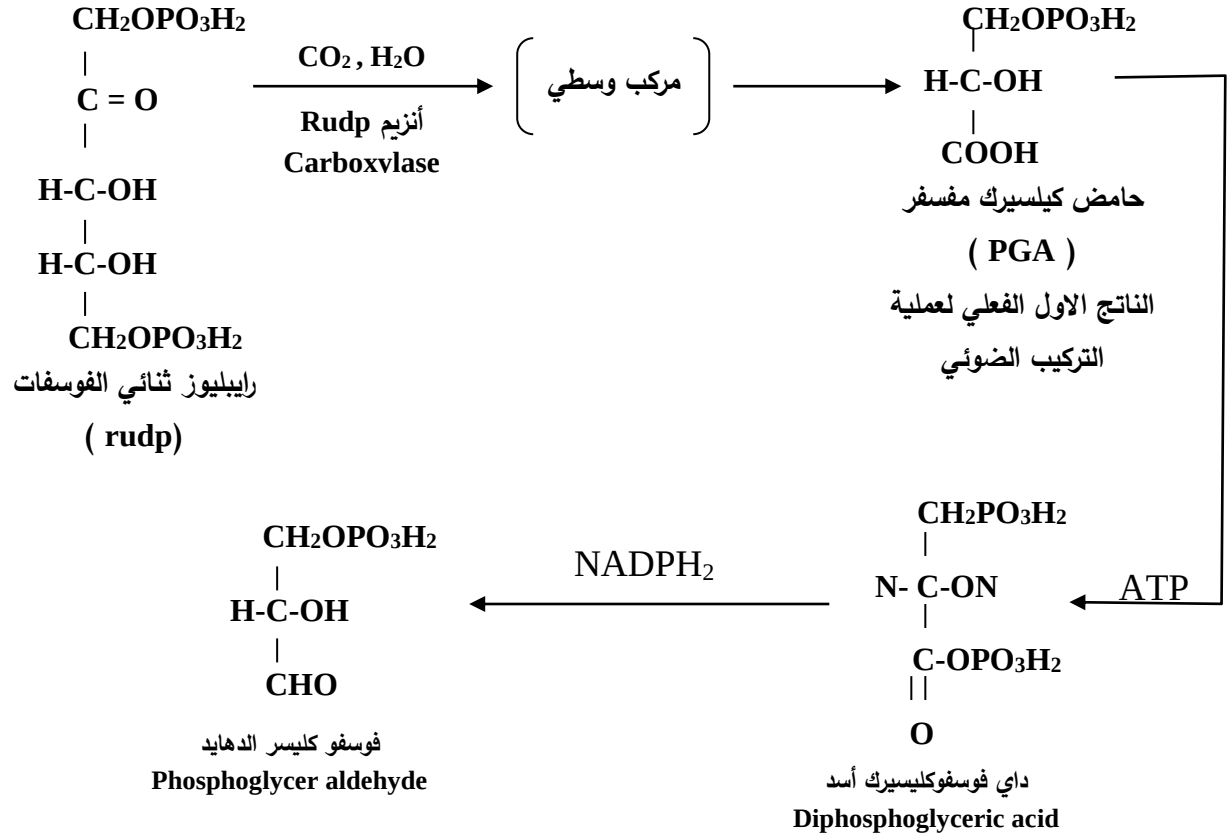
أ- ATP .

ب- $NADPH_2$.

فوائدها:- تستخدم كمفتاح لتفاعلات الظلام لاحقاً.

ثانياً:- التفاعلات الكيموحرارية (تفاعلات الظلام) :

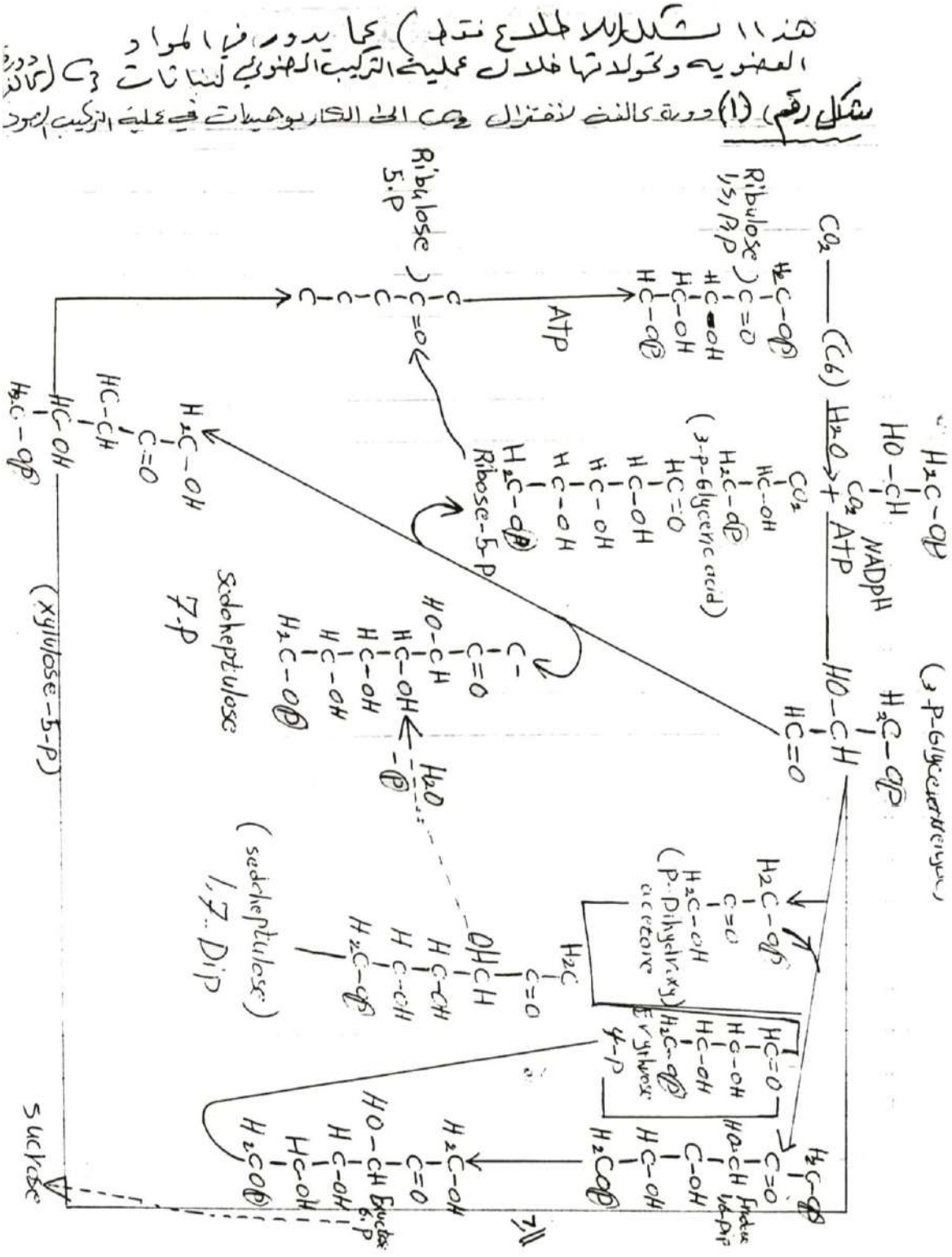
تسمى أيضا بتفاعلات تثبيت واختزال Co_2 . أذ تبين من خلال التجارب بان Co_2 يتحد مع مركب خماسي ذرات الكاربون يعرف بـ رايبيلوز ثنائي الفوسفات Ribulose 1,5 diphosphate (rudp) وذلك بمساعدة انزيم Ribulose diphosphate carboxylase ويرمز له rudp carboxylase ليكون مركباً وسطي غير مستقر سرعان مايتحول الى جزيئتين من حامض الكليسريك المفسفر Phosphoyly Geric acid والذي يرمز له (PGA) وهو يمثل الناتج الأول الفعلي لعملية التركيب الضوئي بعد ذلك يمر (PGA) بمرحلتين تفاعليتين تختزل فيها مجموعة الكاربوكسيل COOH الى مجموعة الديهايد CHO . وهذه العملية الاختزالية تتطلب وجود طاقة وقوة اختزالية وهذا ماقد تم تجهيزه خلال تفاعلات الضوء, فالطاقة تأتي من ATP والقوة الاختزالية من الـ $NADPH_2$ وكما موضح أدناه :



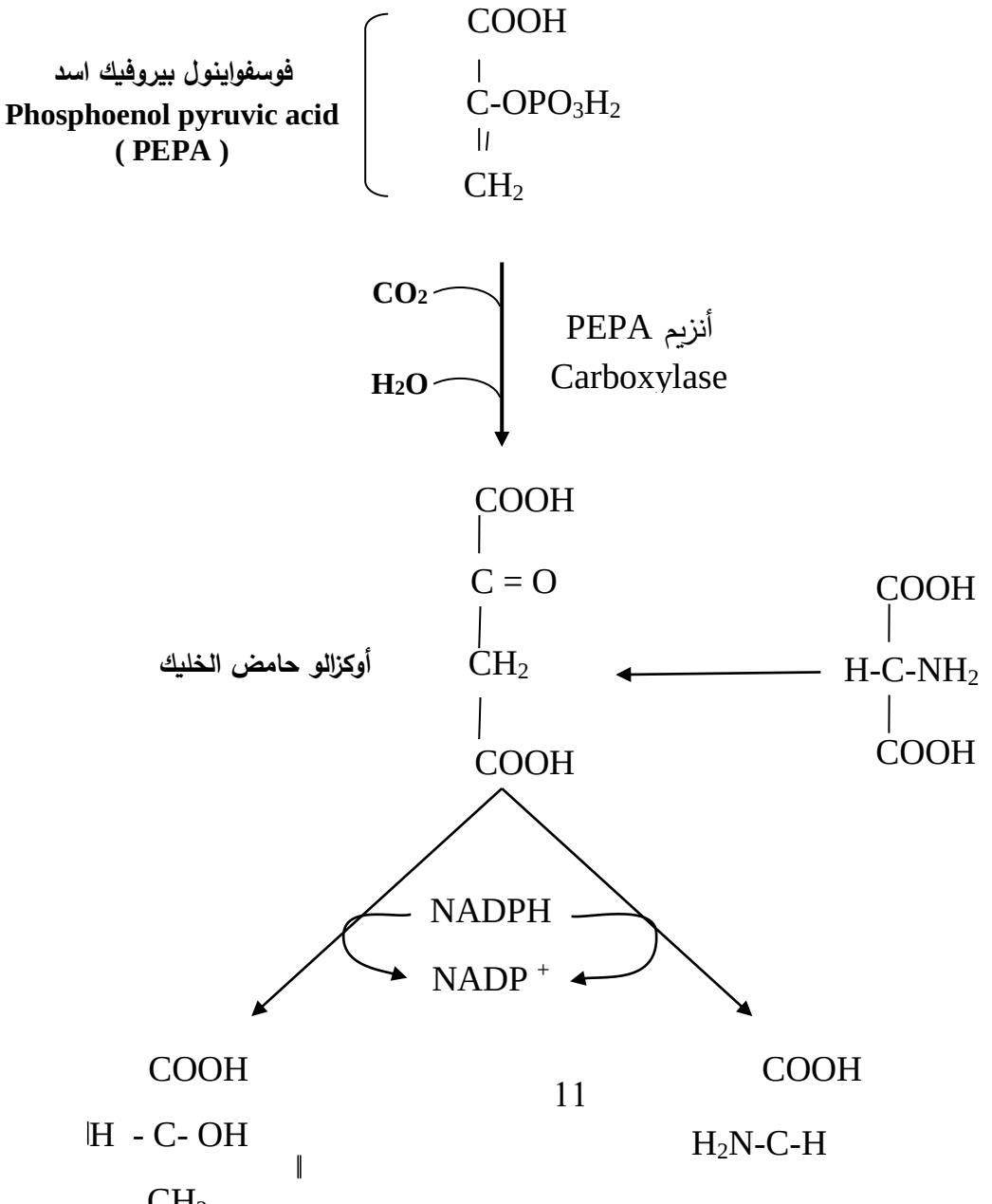
شكل (4) : مسار تفاعلات الظلام لنباتات C_3

ولانتاج جزيئة واحدة من سكر سداسي الكاربون يحدث اتحاد جزيئتين من الكليسر الديهايد المفسفر لتتكون جزيئة واحدة من سكر سداسي الكاربون المفسفر والتي تمر فيها بعد بمرحلة انفصال مجموعة الفوسفات عنها لتكون جزيئة سكر سداسية الكاربون حرة وهكذا وبعد ذلك تتحول هذه الجزيئة الى خماسية أو سداسية أو سباعية لتعود بعدها لتكون (rudp) مرة ثانية, والذي يتميز بتواجده بصورة مستمرة وبتراكيز عالية ولفترات طويلة في الخلية النباتية في حين (PGA) لا يتواجد بتراكيز عالية ولفترات

طويلة وسرعان ما يتحول الى مركبات أخرى كالسكريات السداسية الكاربون مثل سكر العنب (glucose) وسكر الفاكهة (fructose) والتي يمكن أن تتواجد بتراكيز عالية في الخلية النباتية ولفترات طويلة. الباحثان كالفن وبنسن Calvin and Bensen اكتشفا بان التفاعلات الكيموحرارية السابقة الذكر والتي تجري خلال الظلام لتثبيت Co_2 تحدث بشكل دائري و اطلقا عليها اسم (دورة كالفن) Calvin cycle وكما هو موضح بالشكل رقم (1) .

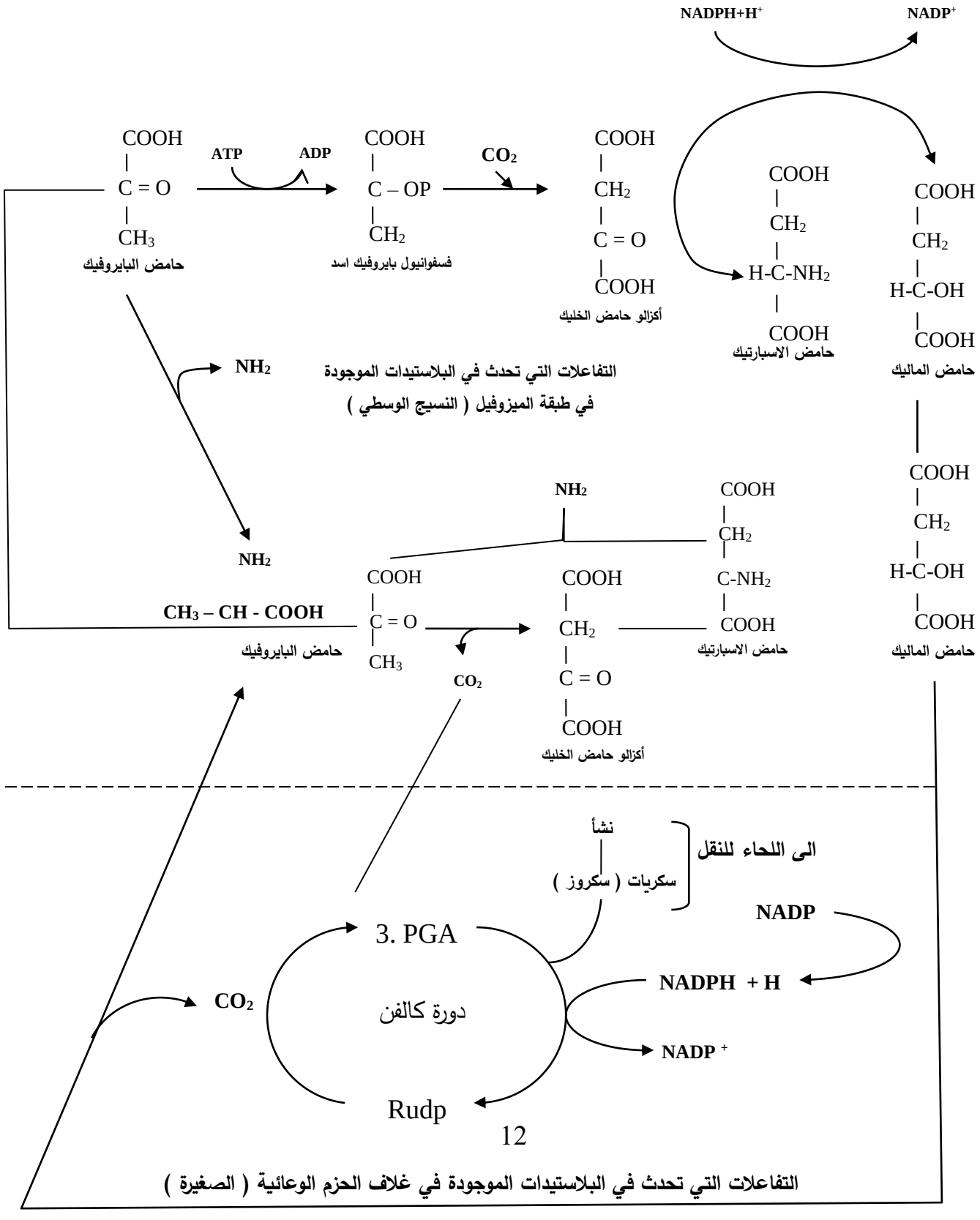


لكن من خلال التجارب اللاحقة تبين بان دورة كالفن ليس هي المسار الوحيد لتثبيت Co_2 في النبات, فقد توصل الباحثان هاج وسلاك Hatch and Clack الى دورة جديدة لتثبيت Co_2 في النبات عرفت بمسار هاج – سلاك Hatch clack pathway حيث يتم خلالها تثبيت Co_2 مع مركب ثلاثي ذرات الكاربون هو فوسفواينول حامض البايروفيك phosphoenole Purovic acid والذي يرمز له (PEPA) بمساعدة انزيم phosphoenole pyrurvate carboxylase ويرمز له (PEPA carboxylase) مؤدياً الى تكوين مركب رباعي ذرات الكاربون هو اكزالوحامض الخليك Oxalo acetic acid والذي يمثل الناتج الاولي لعملية التركيب الضوئي لهذه النباتات علماً بان الاخير يعاني من عدم الثبات والاستقرار ويتحول الى حامض الماليك (Malic acid) وحامض الاسبارتيك (Aspartic acid) وكما موضح بالشكل:



شكل (6) : مسار تفاعلات الظلام لنباتات C_4

وبعد ذلك يمر كل من حامض المماليك والاسبارتيك بسلسلة من التفاعلات بضمنها تلك الخاصة بدورة كالفن – بنسن تنتهي بتكوين سكر سداسي الكاربون وكما سبق الذكر وكما موضح بالشكل (2).



شكل رقم (7) : مسار هاج – سلاك و دورة كالفن لتثبيت CO_2 في كلوروبلاست الميزوفيل و الحزم الوعائية في نباتات (C_4)

تسمى النباتات التي يسود فيها هذا المسار لتثبيت Co_2 نباتات (C_4) في حين يطلق على النباتات التي يسود فيها مسار كالفن فقط نباتات (C_3) والاخير هو الشائع من خلال التجارب تبين بان نباتات (C_4) تختلف تشريحياً عن نباتات (C_3) اذ تحتوي نباتات C_4 على نوعين من البلاستيدات هما خلايا الميزوفيل (خلايا النسيج العمادي و النسيج الاسفنجي) التي تقوم بدورة هاج – سلاك فقط و خلايا غلاف الحزم الوعائية الورقية التي تقوم بدورة كالفن فقط .

في حين تحتوي خلايا نباتات C_3 على نوع واحد من البلاستيدات هي بلاستيدات خلايا الميزوفيل (النسيج العمادي و النسيج الاسفنجي) التي تقوم بدورة كالفن فقط .

ماهو الفرق بين نباتات C3 و C4

نباتات C_3	نباتات C_4
1–تنتمي لها معظم النباتات .	1– تنتمي لها عدد قليل من النباتات.مثل قصب السكر،والذرة ،الحشائش ، الاعشاب الاستوائية .
2–نباتات هذه المجموعة غير متأقلمة للمناطق الصحراوية وشبه الصحراوية .	2–نباتات هذه المجموعة متأقلمة للمناطق الصحراوية وشبه الصحراوية .
3– تحتوي نوع واحد من البلاستيدات توجد في خلايا النسيج الاسفنجي للورقة .	3– تحتوي على نوعين من البلاستيدات الاول يوجد في غلاف الحزم الوعائية او مايسمى بالضفيرة والثاني يوجد في خلايا النسيج الاسفنجي للورقة .
4– لاتستطيع اجراء التركيب الضوئي بكفاءة عاليةعند توفر تراكيزواطئة من الCO_2 (نقل كفائة التراكيز الواطئة).	4– تستطيع اجراء التركيب الضوئي بكفاءة عاليةعند توفر تراكيزواطئة من الCO_2.
5– كفائتها تقل في درجات الحرارة العالية .	5–تستطيع انجاز التركيب الضوئي في درجات الحرارة العالية .
6– عدد فتحات الثغور الورقية كبير وتفقد الماء كثيرا.	6– عدد فتحات الثغور الورقية قليل وتفقد الماء قليلا.
7– لاتحتاج الى شدة ضوء عالية للوصول الى اعلى معدل لعملية التركيب الضوئي .	7– تحتاج الى شدة ضوء عالية للوصول الى اعلى معدل لعملية التركيب الضوئي (لان شدة الضوء اوتوماتيكيا عالية للعيش في الصحراء).
8– تحدث عملية التركيب الضوئي في خلايا ميزوفيل الورقة .	8– تحدث عملية التركيب الضوئي في خلايا ميزوفيل الورقة والحزم الوعائية .
9– تحدث فيها عملية التنفس الضوئي التي تقلل من كفاءة التركيب الضوئي .	9– لاتحدث فيها عملية التنفس الضوئي.
10– تحدث فيها عملية التركيب الضوئي بموجب دورة كالفن فقط .	10– تحدث فيها عملية التركيب الضوئي بموجب دورة كالفن زائدا مسار هاج– سلاك.
11– الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي هو مركب يحمل ثلاث ذرات كاربون هو فوسفوأينول بروفك أسد ويرمز له PGA .	11– الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي هو مركب رباعي ذرات الكاربون هو اوكزالو حامض الخليك .
12–سرعة النتح : اكبر (450–950 غم ماء /غم وزن جاف).	12–سرعة النتح : اصغر (250–350 غم ماء /غم وزن جاف).
13– سرعة عملية البناء الضوئي العظمى : اصغر (15–40 ملغم CO_2 / دسم^2/ ساعة) .	13– سرعة عملية البناء الضوئي العظمى : اكبر (40–80 ملغم CO_2 / دسم^2/ ساعة) .

14- سرعة النمو العظمى : اصغر (0،5-2 غم وزن جاف / دسم^2) .	14- سرعة النمو العظمى : اكبر (4-5 غم وزن جاف / دسم^2) .

ماهو الفرق بين تفاعلات الضوء والظلام .

الضوء	الظلام
1- تحتاج الى وجود الضوء .	1- تحتاج الى وجود الضوء .
2- سريعة.	2- بطيئة .
3- غير حساسة للحرارة .	3- حساسة .
4- تحدث في البذيرات والصفائح مابين البذيرات .	4- تحدث في الحشوة .
5- النواتج هي ATP . و $NADPH_2$.	5- سكريات او مواد كربوهيدراتية .
6- يحدث خلالها التفاعلات الخاصة بالماء وانشقاقه ضوئيا .	6- يحدث خلالها تثبيت واختزال ثاني اوكسيد الكربون .
7- نواتج تفاعلات الضوء هي مفتاح تفاعلات الظلام	7- نواتج تفاعلات الظلام لاتؤثر على تفاعلات الضوء .
8- تنتج طاقة بشكل ATP وقوة اختزالية بشكل $NADPH_2$.	8- تستهلك الطاقة والقوة الاختزالية السابقة الذكر .
9- تحدث خلالها عملية الفسفرة الضوئية .	9- لاتحدث .
10- تفاعلات كيموضوئية .	10- تفاعلات كيموحرارية .

*- ماهو المقصود بتأثير اميرسن Emerson effect . (راجع ص 9)

*- ماهي اعضاء الخلية المنتجة للطاقة ؟ البلاستيدة الخضراء + المايتوكندريا .

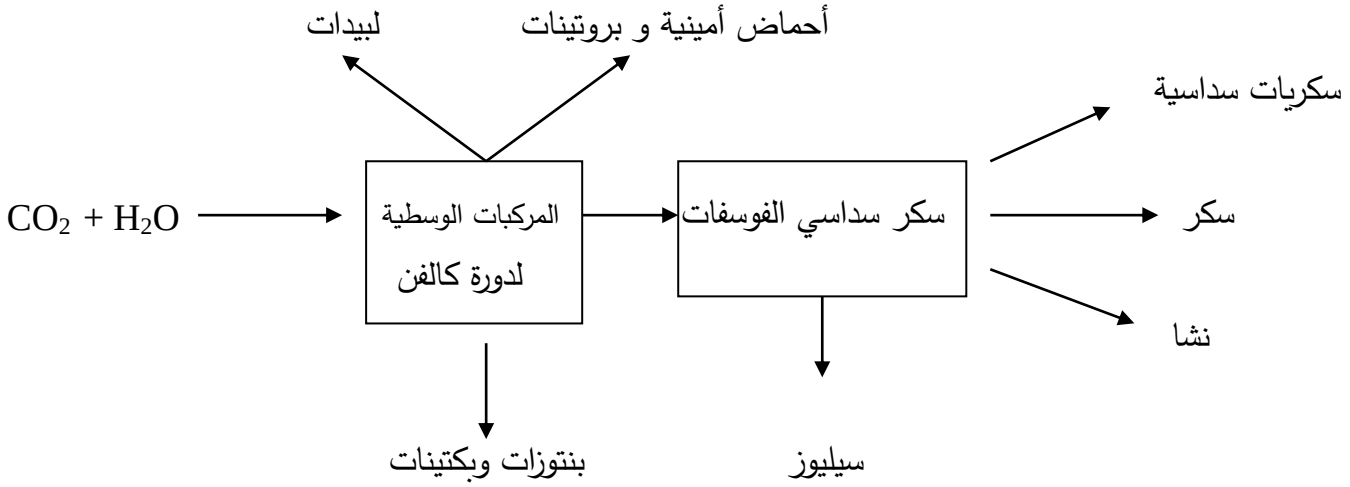
*- ماهي نواتج تفاعلات الضوء وماهي اهميتها ؟ (ص12)

راجع ص258 فسلجة العناصر الغذائية للنبات .

ماهو الفرق بين دورة كالفن ومسار هاج – سلاك لتثبيت CO_2 .

دورة كالفن	مسار هاج – سلاك
1- CO_2 يتحد مع السكر خماسي ذرات الكربون هو رايبيلوز داي فوسفات RUDP .	1- CO2 يتحد مع مركب ثلاثي ذرات الكربون هو فوسفوينول حامض البيروفيك يرمز له PEPA
2- يتم التفاعل بوجود انزيم Rudp Carboxylas	2- يتم PEPA Carboxylas .
3- الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي مركب ثلاثي ذرات الكربون هو فوسفو جلرك اسد ويرمز له PGA .	3- الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي مركب رباعي ذرات الكربون هو اوكزالو حامض الخليك .
4- تحدث في نباتات C3 و C4 .	4- تحدث في نباتات C4 فقط .
5- تحدث في معظم النباتات .	5- تحدث في عدد قليل من النباتات .
6- تحدث في خلايا الميزوفيل لنباتات C3 و في خلايا الحزم الوعائية لنباتات C4	6- تحدث في خلايا الميزوفيل لنباتات C4

مع ان البناء الضوئي يصور على انه يؤدي الى تكوين السكريات السداسية فانه قد يؤدي ايضا الى تراكم الكثير من المواد الاخرى مثل النشا و البروتينات و الدهون وبصورة غير مباشرة وقد يصور هذا كما موضح في المخطط التالي :



شكل (8) نواتج عملية التركيب الضوئي و تحولاتها الغذائية .

مقارنة بين التنفس والتركيب الضوئي

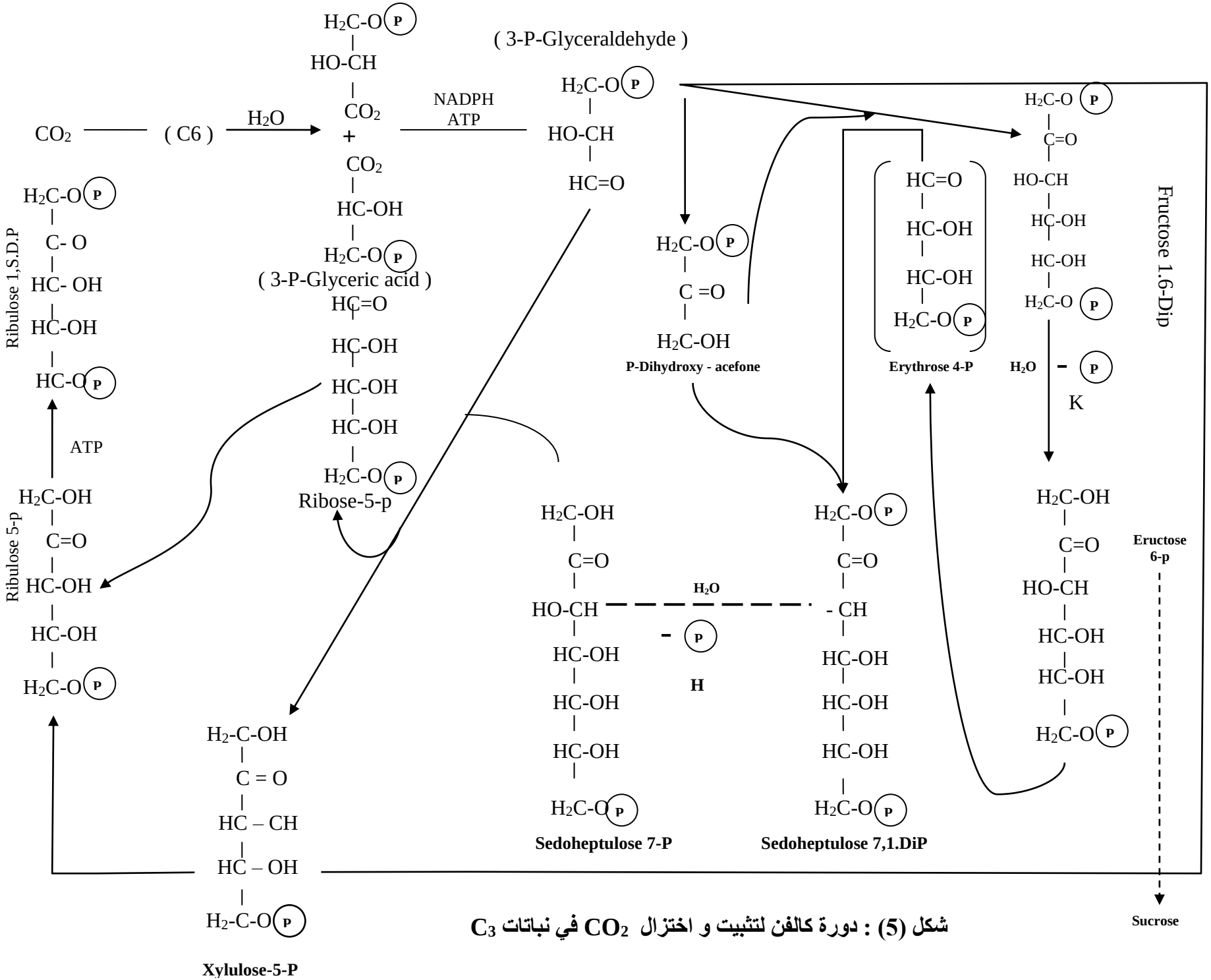
ت	التنفس	التركيب الضوئي
1	يستهلك O_2	يتحرر O_2
2	يتحرر CO_2	يستهلك CO_2
3	تحدث العملية ليلا ونهاراً	تحدث العملية بوجود الضوء فقط
4	الضوء غير ضروري للعملية	الضوء ضروري للعملية
5	أثناء التنفس تتحول الطاقة الكيمياوية الكامنة إلى طاقة حركية	أثناء التركيب الضوئي تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيمياوية كامنة
6	المواد الأولية للتفاعل هي الكلوكوز والأوكسجين	المواد الأولية للتفاعل هي CO_2 والماء
7	الكلوروفيل غير ضروري	الكلوروفيل ضروري
8	يحدث في السايتوبلازم والمايتوكوندريا	يحدث في الكلوروبلاست (البلاستيدات الخضراء)
9	تحرر طاقة	تمتص طاقة
10	تسبب قلة وزن النبات	تسبب زيادة وزن النبات
11	عملية هدمية	عملية بنائية
12	تحدث فيها عملية نزع CO_2 decarboxylation	تحدث فيها عملية إضافة CO_2 (carboxylation)
13	يخرج منها الماء	تتطلب الماء
14	أثناء هدم مول واحد من الكلوكوز يتحرر 38 مول ATP	أثناء تكون مول واحد من الكلوكوز تتطلب 18 مول ATP

ماهو الفرق مابين الفسفرة التأكسدية (التي تحدث خلال عملية التنفس) والفسفرة الضوئية (التي تحدث خلال التركيب الضوئي) .

ت	الفسفرة التأكسدية	ت	الفسفرة الضوئية
1	تحدث في المايتوكوندريا	1	تحدث أغشية الكرانا grana للكلوروبلاست (البلاستيدة الخضراء).
2	تحدث ليلا ونهارا	2	تحدث في النهار فقط

3	مصدر الالكترونات هو المواد المختزلة ويتكون فيها الماء	3	مصدر الالكترونات هو الماء ولذا تستهلك الماء

المصدر فسلجة العناصر الغذائية في النبات د.كريم صالح عبدول 1988 ص257 – 268



شكل (5) : دورة كالفن لتثبيت و اختزال CO_2 في نباتات C_3

المحاضرة 11

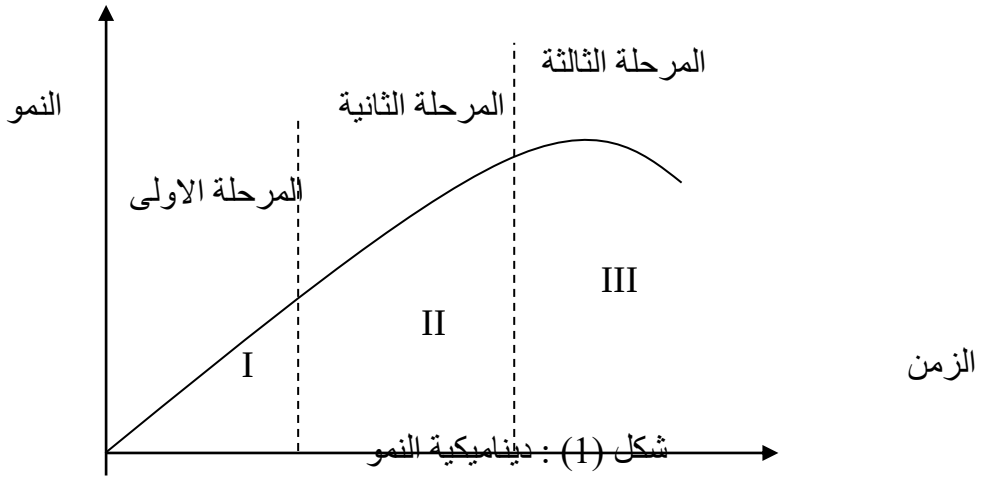
النمو والنشوء والتطور+ منظمات النمو

النمو وتطور النبات:Growth and Development of plants

تتميز الكائنات الحية بقدرتها على النمو والتطور وذلك من خلال اخذ ايونات معدنية اوجزيئات صغيرة من البيئة المحيطة بالنبات وتحويلها الى جزيئات كبيرة(مركبات عضوية) تُستخدم في بناء الخلايا التي تمثل اللبنة الاساس لبناء جسم الكائن الحي .
الخلايا المتكونة تمر بسلسلة من العمليات الحيوية والانقسامات (والتي بموجبها تحدث تغييرات في عدد الخلايا،شكلها،نوعها ووظيفتها) ينتج عنها مجاميع من الخلايا المتخصصة التي تتشابه بالشكل والوظيفة وهذا مايسمى بعملية التمايز(او التكشف)Differentiation وبعد حدوث عملية التمايز تحدث عملية النشوء(او التطور) Development او التشكل Morphogenesis والتي بموجبها تتميز مجموعة من الخلايا الى انسجة واعضاء في جسم الكائن الحي .
فمثلا نلاحظ عملية النشوء او التشكل حين نمو البذور الى نباتات كاملة من خلال سلسلة من التغيرات المورفولوجية التي تصاحب النمو والتي تتمثل بنمو الجذور والساق والاوراق ومن ثم اعضاء التكاثر المتمثلة بالازهار وتكون الثمار والبذور.

تعريف النمو:-
يعد النمو عملية معقدة جدا والى حد هذا اليوم لايوجد تعريف كامل لها على الرغم من ان عدد من العلماء قد عرفها باشكال مختلفة لم يخلو أي منها من نقاط ضعف ومنها مايلي :-
1.النمو:هو الزيادة في الوزن الجاف لكن يلاحظ بأن نمو البذور الى بادرات يكون مصحوب بقلة الوزن الجاف للبذور في البداية والى حد اعتماد البادرة على نفسها بالتغذية من خلال عملية التركيب الضوئي .
2.النمو:هو مضاعفة عدد الخلايا . لكن لا ينطبق هذا الكلام على الكائنات وحيدة الخلية.
3.النمو:هو مضاعفة كمية البروتوبلازم . هذا التعريف نظريا مقبول لكن عمليا يصعب تطبيقه.
4.النمو:هوالزيادة الدائمية في الحجم (ممكن ان تتشرب الخشبة او الاسفنجة بالماء ويزداد حجمها وهذا ليس نمو).

العوامل المؤثرة على النمو:-
يتاثر النمو بعوامل داخلية (وراثية) و عوامل خارجية (بيئية) لكن تعتبر الاولى اكثر تأثيرا في تنظيم عملية النمو فعلى الرغم من تعرض النباتات للظروف البيئية المختلفة والتي تسبب تغيير بعض صفاتها (في التركيب العام والمعالم والناحية التشريحية) الا انها تبقى دائما هي نفس النباتات بكل ما لهذه الانواع من صفات ومعالم فمثلا شكل الاوراق البالغة لكل صنف ونوع يكون ثابت وكذلك تخرج الازهار على السيقان دائما ولايمكن ان تخرج على الجذور مهما تغيرت العوامل البيئية وذلك لان العوامل الوراثية هي المسيطر العام على عملية النمو وتمثل العنصر الذي يتحكم الى درجة كبيرة في حفظ الصفات الاساسية للنبات.



شكل (1) : ديناميكية النمو

لاتكون سرعة نمو النبات طيلة فترة النمو منتظمة بل تزداد في مرحلة وتقل في اخرى وعلى العموم يمكن تمييز ثلاث مراحل (شكل 1) .فخلال المرحلة الثانية يحدث النمو بشكل كبير جدا على عكس النمو القليل الذي يحدث خلال المرحلة الاولى ,اما خلال المرحلة الثالثة فيتباطئ النمو وبشكل كبير بسبب تفوق عمليات الهدم على عمليات البناء وبذلك يدخل النبات مرحلة الشيخوخة وربما الموت.

انواع النمو:-

1.النموالمحدود : هو الذي يصل فيه الكائن الحي او العضو الى حجم معين ثم يتوقف بعد ذلك عن النمو ويدخل في مرحلة الشيخوخة ومن ثم الموت,من الامثلة على ذلك نمو الاوراق والازهار والثمار.

2.النمو غير المحدود : هو الذي لايتوقف فيه النمو عند حجم معين بل يستمر ويمكن ملاحظته في السيقان الخضرية والجذور بسبب احتوائها على الانسجة المرستيمية التي تضيف خلايا جديدة باستمرار ومن الامثلة عليه هو نمو سيقان وجذور الاشجار الخشبية المعمرة لمئات او الوف السنين.

3. النمو الترابطي: يظهر عندما يؤثر نمو عضو على نمو عضو اخر فمثلا القمة النامية لساق النبات غالبا ماتعيق او تمنع نمو البراعم الجانبية لذلك النبات وهذا مايسمى بتأثير السيادة القمية Apical Dominante وعند ازالة القمة النامية من النبات يزول تأثيرها التثبيطي وبالتالي يحدث نمو واستطالة للفروع الجانبية ومن امثلة النباتات التي يحدث فيها عباد الشمس.

4. النمو المتناثر: يحدث هذا النوع خلال تكوين الثغور الورقية حيث تبدأ سلسلة معينة من الانقسامات في خلايا البشرة تنتهي بتكوين الثغور نتيجة اختلاف درجة النمو في الاجزاء المختلفة.

النمو والنشوء على مستوى الخلية:

تمر عملية النمو والنشوء على مستوى الخلية بثلاث مراحل هي انقسام الخلايا Cell Division واتساعها Cell Enlargement واخيرا تميزها Cell Differentiation حيث انه بدون انقسام الخلية لايمكن ان يحدث النمو وخاصة خلال المراحل الاولى لتكون الخلايا حيث يتحول الزايكوت الى كائن حي وهو الجنين ومن ثم الى نبات كامل وفي هذه المرحلة تلعب عملية انقسام الخلايا دور مهم في تحديد شكل العضو النباتي فإذا حدثت الانقسامات في مستوى واحد ينتج عن ذلك عضو متطاول كالساق . اما اذا حدثت في اكثر من مستويين ينتج عن ذلك عضو مسطح كالورقة واذا حدث في اكثر من مستويين يكون العضو الناتج ذو شكل كروي تقريبا كالثمرة .

ان انقسام الخلايا وحده يؤدي الى تكوين العديد من الخلايا الصغيرة ولهذا ولأجل زيادة الحجم وحدوث النمو تحدث عملية (اتساع واستطالة) للخلايا . لقد ظهر من الدراسات بأن الزيادة في استطالة الخلايا تكون بحوالي عشرين مرة والزيادة في قطر الخلايا يكون بحوالي خمس مرات .

ان اتساع او استطالة الخلايا يتطلب جعل جدار الخلية قابلا للتمدد وهذا مايحصل اما بفعل زيادة نشاط الهورمونات الخلوية والضغط الانتفاخي (او الجهد الازموزي) او كلاهما .

ان انقسام الخلايا واتساعها يسببان النمو الجزئي او النمو والنشوء في النباتات البسيطة كالطحالب لكن نمو ونشوء النباتات الوعائية لايكتمل الا بحدوث عملية تميز الخلايا حتى تتكون انسجة مختلفة يقوم كل منها بوظيفة معينة فمثلا من الامور التي تحدث خلال تميز الخلايا تكون الجدار الثانوي للخلية

تغيرات في شكل الخلية وتكوين وتجمع مواد الكيوتين والسوبرين في خلايا البشرة والخلايا الفلينية ، فقدان النواة من الانابيب المنخلية فقدان البروتوبلاست من الاوعية القصبية والقصيبات وتغيرات في عدد وحجم ونوعية اجزاء الخلية.ويذكر العلماء بأن سبب التغيرات المذكورة اعلاه هو تكون انواع متخصصة من RNA و الانزيمات.

النمو و النشوء على مستوى الاعضاء :-

ان نمو الاعضاء النباتية يبدأ في اغلب النباتات عند انبات البذور حيث يخرج الجذير او لا والذي يتطلب عند نموه الطولي كل من عملية انقسام الخلايا (التي تحدث بكثرة في منطقة القمة النامية للجذر ذات الخلايا المرستيمية) واستطالة الخلايا (والتي تحدث بشدة في منطقة الاستطالة الواقعة فوق القمة النامية) و من ثم تحدث عملية تخصص او تمايز الخلايا حيث تتكون الانسجة المتخصصة لوظيفة ما مثل الشعيرات الجذرية والاوعية والقصيبات والانابيب المنخلية في مناطق النضج .

الزيادة القطرية للجذر تحدث في اغلب نباتات ذوات الفلقتين وعارية البذور نتيجة:-

أ- نشاط الكامبيوم الوعائي والذي يتكون من خلايا مرستيمية تعطي لحاء وخشب الى الخارج والداخل على التوالي مسببة زيادة النمو العرضي للجذر

ب- الكامبيوم الفليني الذي تنقسم خلاياه وتكون الفلين الى الخارج وخلايا القشرة الثانوية الى الداخل.

النمو الطولي للساق يحدث بأضافة خلايا جديدة تنتج من انقسام المرستيم ألقمي ومن ثم استطالتها وبعد ذلك تحدث عملية تميز للخلايا المتكونة الى أنواع الانسجة الناضجة المختلفة الموجودة في الساق .في نباتات ذات الفلقة الواحدة يوجد مرستيم عند قواعد الاوراق والسلاميات يسمى المرستيم البيني يسبب استطالة السلاميات.

النمو القطري للساق في عارية البذور ومعظم نباتات ذوات الفلقتين يحدث بنفس الشكل الذي يحصل في الجذور بأضافة خلايا من الكامبيوم الوعائي و الفليني .

نمو الورقة في مغطاة البذور وعارية البذور يبدأ بانقسام خلايا احدى الطبقات الثلاث العليا الموجودة قرب سطح القمة النامية للساق طوليا وعرضيا حيث يسبب الاول زيادة طول الورقة اما الثاني فيسبب زيادة مساحة الورقة ومن ثم يحدث اتساع وتميز الخلايا الى الانسجة المختلفة في الورقة.

اماكن (مواقع) النموفي النبات :-

هي المناطق التي تتكون فيها الخلايا الجديدة من نشاط الانسجة المرستيمية وتشمل:-

1.مواقع النمو الابتدائي :- هي المناطق التي تحتوي على انسجة مرستيمية جنينية مثل:-

أ- الانسجة المرستيمية القمية (توجد في قمة الجذر والساق الرئيسي للنبات).

ب- الانسجة المرستيمية الجانبية (توجد في قمة الفروع الجانبية للنبات).

ج- المرستيم البيني (يوجد في ذوات الفلقة الواحدة عند قاعدة الورقة) . و الذي يسبب نشاطه النمو الطولي للنبات.

2.مواقع النمو الثانوي :- هي المناطق التي تحتوي على انسجة مرستيمية ناتجة من خلايا بالغة متخصصة استعادت قدرها على الانقسام ومنها:-

أ.الكامبيوم الوعائي (يوجد مابين الخشب واللحاء الاوليين).

ب.الكامبيوم الفليني (يتكون من خلايا الدائرة المحيطية).

والتي يسبب نشاطها النمو القطري للساق وخاصة في نباتات ذات الفلقتين وعاريات البذور.

منظمات النمو النباتية Plant Groth Regulators

من الحقائق التي اصبحت معروفة الان هو أن معظم العمليات الفسيولوجية انِ لم تكون جميعها تتحكم فيها مركبات كيمياوية عضوية تسمى الهرمونات او منظمات النمو.

1. منظمات النمو النباتية :- هي مركبات عضوية غير غذائية قد تتكون طبيعيا في النبات او تصنع مختبريا والتي تعمل على تحفيز او تثبيط او تحوير احدى العمليات الفسيولوجية في النبات عند استخدامها بتراكيز واطئة.
2. الهرمونات النباتية :-هي منظمات النمو المتكونة في النباتات فقط وبشكل طبيعي والتي تعمل على تحفيز او تثبيط او تحوير احدى العمليات الفسيولوجية بالتراكيز الواطئة وهي عادة تنتقل من موقع انتاجها الى مكان عملها.

لاتعد كل منظمات النمو هورمونات نباتية لانها تصنع مختبريا او قد تتكون من اجسام الكائنات الحية غير النباتية كما ان السكروز لايعد هورموناً نباتيا على الرغم من تكونه وانتقاله في النبات لان السكروز يسبب النمو بالتراكيز العالية فقط.

المجاميع الرئيسية لمنظمات النمو:-

اولاً : الاوكسينات Auxins :-

توزيع الاوكسينات في النبات :-

توجد الاوكسينات بتراكيز ضئيلة جدا في الانسجة النباتية بحدود 10مايكروغرام لكل كيلوغرام وزن طازج من النسيج النباتي. و اعلى هذه التراكيز تتكون في القمم النامية للنبات والقمم النامية للفروع والجذور والاوراق و الازهار .كما وجد بأن البذور تحتوي على الاوكسين وكذلك الانسجة التي هي في حالة استطالة وتوسع تنتج الاوكسين.

وتقل كمية الاوكسين كلما تقدمنا نحو قاعدة ذلك العضو الذي يحوي الاوكسين نتيجة لنضج الخلايا وتقدمها في العمر.

التأثيرات الفسيولوجية للاوكسينات:-

1.يحفز استطالة الخلايا

2.يحفز انقسام الخلايا وتكوين الكالس.

3.يحفز نشوء الجذور وزيادة تفرعاتها.

4.تسبب ظاهرة السيادة القمية ويمنع نمو البراعم الجانبية.

5.تحفيز نمو الثمار وتكوين ثمار عذرية.

6.تحديد الجنس للازهار.

ثانياً :السايتوكاينينات Cytokinins:-

لقد تم اكتشاف حوالي 18نوع من السايتوكاينينات الطبيعية والتي تحفز انقسام الخلايا و اول انواعها المكتشفة هي الكاينيتين(Kinetin) الذي عزل من حيامن سمك الرنكا والزياتين Zeatin الذي عزل من اندوسبيرم الذرة ، وتوالت بعد ذلك الاكتشافات الاخرى حتى تم التوصل الى انتاج السايتوكاينينات صناعيا ومنها البنزل ادنين Benzyl adenine والذي يرمز له (BA) .

مواقع تواجد السايتوكاينينات في النبات:

المعلومات لازالت قليلة حول هذا الموضوع لكن يعتقد بأن السايتوكاينين المسبب لانقسام الخلايا يكثر في البذور والثمار الفتية ثم ينخفض عند النضج .كما يضن بأن قمم الجذور تكون السايتوكاينين الذي يتحرك في العصارة الخشبية الى السوق والاوراق والثمار.

التأثيرات الفسيولوجية للسايتوكاينينات:-

1.تحفز انقسام الخلايا.

2.تحفز اتساع الخلايا.

3.تسبب تأخر الشيخوخة.

4.تقليل تأثير السيادة القمية.

5.كسر السكون للبراعم والبذور.

ثالثاً : الجبرلينات Gibberellins

لقد تم اكتشاف ما لايقل عن 50نوعا من الجبرلينات في النباتات الراقية وعديمة البذور (الخنشاريات، الطحالب ، الفطريات) ولكنها قد لاتوجد في البكتريا.

موضع تكوينها في النبات :-
دلت البحوث على ان الاوراق الفتية هي التي تصنع الجبرلين اما الاوراق المكتملة النمو فتكون الجبرلين بكمية قليلة جدا,في حين الجذور تصنع الجبرلين بكميات كبيرة، فضلا عن ذلك توجد الجبرلينات في الاجنة والجذور والثمار.
التأثيرات الفسيولوجية للجبرلين :-
1.تحفيز استطالة الخلايا والتغلب على القزمة الوراثية.
2.تحفيز نمو واستطالة الساق الزهري والازهار.
3.يحفز تكوين الثمار العذرية .
4.كسر سكون البذور والبراعم (والتي تتطلب درجات حرارية واطئة ونهار طويل اوضوء احمر)
5.تحفز تكوين الانزيمات المحللة للمواد الغذائية وتسهل نقل المغذيات اثناء عملية انبات البذور.
6. يسبب الجبرلين زيادة الازهار الذكرية في النبات .

رابعاً : حامض الابسسك Abscisic acid (ABA) :

تم استخلاصه من ثمار نبات القطن وهو عبارة عن هورمون نباتي مثبط للنمو . لقد عزل حامض الابسسك من العديد من النباتات مغطاة البذور وبعض انواع عارية البذور وبعض النباتات الخنشارية وهو يوجد في الجذور والسيقان والاوراق.
حركة حامض الابسسك في النبات :-
ينتقل في كل من العصارة الخشبية واللحائية وكذلك في الانسجة الحية وقد وجد بأنه يتحرك بسرعة 20-30ملم/ساعة وهي اعلى من سرعة حركة الاوكسين . كما ان حركة الABA غير قطبية.

التأثيرات الفسيولوجية لحامض الابسسك :
1.تحفيز سبات البذور والبراعم.
2.تحفيز السقوط (الانفصال) والشيخوخة.
3.يثبط عمل IAA والجبرلين المحفزة للنمو و ربما عمل هورمونات نمو اخرى.
4.يسيطر على فتح وغلق الثغور الورقية.

خامساً : الاثلين Ethylene

وجود الاثلين:-
لقد وجد بأن الاثلين يتحرر من البذور النامية والثمار الناضجة و تتراوح كمية الاثلين بين 5,0 - 100نانوليتر/غم/ساعة.كما وجد بأن المعاملة بالاوكسين تسبب تحرر الأثلين بضعفين او اكثر من الحالة الطبيعية. كما وان تكوين الاثلين يرتبط بالظروف الجوية,حيث ان كل من انخفاض الأوكسجين وزيادة او انخفاض درجات الحرارة يسبب تكون الاثلين ولذلك يراعى عند خزن الفواكه والخضر كل من درجة الحرارة والاوكسجين للتقليل من انتاج الاثلين الذي يؤدي الى قصر عمر الثمار.
التأثيرات الفسلجية للأثلين:-
1. يسرع من نضج الثمار
2. يثبط استطالة الساق والجذور والاوراق.
3. ينهي سبات البذور
4. يسبب الانفصال او السقوط والشيخوخة.
5. يحدد الجنس.

الفلورجين Florigen:-

لقد اشارت الكثير من الادلة القاطعة الى احتواء النباتات مادة منشطة للتزهير واقترح تسميتها (بهرمون التزهير او الفلورجين او منتج الازهار) لكن يعتقد بعض الباحثين (بسبب عدم التمكن من عزل هورمون الفلورجين هذا حتى يومنا هذا من النبات) بأن الهورمونات النباتية السابقة الذكر هي نفسها التي تنظم النمو الزهري والخضري للنبات و لاوجود لهورمون الفلورجين في النبات اساساً.

المحاضرة 12

الاحساس والحركة في النبات
Irritability and movement

يعرف الإحساس في النبات بانه الاستجابة الفيزياوية لعامل بيئي حيث ان النبات يحس بالمؤثرات ويستجيب لها لكن عادة تكون هذه الاستجابة من النوع الغير الملحوظ وذلك لكونها تحدث اما داخل الخلية وبذلك تكون غير مرئية او انها تحدث في الاعضاء وتكون بطيئة لايمكن ملاحظتها انيا بالاضافة الى كونها موضعية وغير انتقالية أي لاينتقل النبات خلالها من مكان الى اخر كما يحدث في الحيوان والانسان وبالتالي فان النبات ينفذ حركاته وهو موجود في موقعه الاصلي من دون أي تغيير في مكانه .

عادة يسمى العامل (العامل البيئي)الذي يؤثر على حركة النبات بالمؤثر stimulus وتسمى استجابة النبات لهذا العامل بالاستجابة وتكون الاستجابة عبارة عن حركة movement.

عموما تصنف الحركة النباتية الى مايلي :

أ- حركة على مستوى الخلايا: (Cell movement)

تحدث في مكونات الخلية او مع الخلايا الكاملة ولذا تكون غير منظورة وتحدث باشكال مختلفة منها مايلي :

1- حركة سريان سايوبلازمي داخل خلية النبات وتحدث في السايتوبلازم الداخلي (الاندوبلازم)الذي يكون في حالة شبه سائلة اوسائلة في حين لاتحدث هذه الحركة في الاكتوبلازم الموجود بين الاندوبلازم وغشاء البلازما الخارجي لانه ساكنا او في حالة صلبة (جيل).

2- حركة جسيمات او عضيات مع السايتوبلازم وتحدث بسرعات مختلفة عنه وفي اتجاهات متضادة خلال نفس التيار فمثلا تستطيع البلاستيدات الخضراء الدوران حول محاورها كما ان الأنابيب الدقيقة microtubules تتحرك بسرعة قرب البلازماليما.

3- انتقال الخلايا الكاملة ويحدث عند حصول قطع في سطح الخلية وبوجود ومساعدة القوة الدافعة او الضغط الجوي (وربما قوة هيدروسكوبية او هيدروستاتية وهذا مايستبعده كثير من الباحثين).

ب- حركة على مستوى الأعضاء Organ movement :

اغلب هذه الحركات عبارة عن تغيير اتجاه عضو النبات او اتجاه اجزاء اعضاء النبات اما نتيجة النمو وتسمى في هذه الحاله الحركة حركة نمو growth movement اونتيجة تغييرات في امتلاء او انتفاخ الخلايا وتسمى الحركة في هذه الحالة حركة انتفاخ turgor movement .

يعد فقد الامتلاء عملية سريعة ولذلك فانه يسبب حركات سريعة ويعتقد بانه مثل هذه التغييرات السريعة في الامتلاء سببها هو الفقد السريع في شبه النفاذية ومن امثلتها انغلاق اوراق نباتات الست المستحية او انغلاق مصائد النباتات اكله الحشرات و تحدث تغييرات الامتلاء الابطأ التي تحدث بسبب التغييرات الايضية(حركات نمو ابطىء). فى حين تعتبر حركات النمو التى تحدث من جراء النمو من ابطأ حركات النمو

يمكن تصنيف الحركة في الاعضاء الى :

اولا:الحركة التأثيرية Paratonic movement .

ثانيا: الحركة التلقائية Autonomic movement .

اولا : الحركة التأثيرية : تحدث بسبب مؤثر واضح ويحدث بسببها نمو واضح وتقسم الى حركة انتحائية وغير انتحائية .

1-الحركة التأثيرية الانتحائية :

تحدث فيها الحركة كاستجابة لمؤثر وتكون بشكل نمو اما باتجاه المؤثر وتسمى الحركة في مثل هذه الحالة موجبة او عكس المؤثر وتسمى فى هذه الحالة سالبة وهي على انواع منها يلي :

أ- الانتحاء الضوئي :

هو استجابة عضو نباتي معين لضوء مسلط من جانب واحد بانتحائه باتجاه الضوء وتلاحظ هذه الظاهره بشكل خاص في النباتات التي تنمو باماكن معرضة لاضاءة غير متساوية على الجانبين المتقابلين للساق مما يؤدي الى انحناء السيقان عادة نمو الضوء الاكثر شدة بسبب زيادة معدل استطالة الخلايا في الجانب المظلم منه مقارنة مع الجانب المضاء لزيادة تركيز الاوكسين نسبيا في الجانب المظلم وتحطمه في الجانب المضاء حيث ان الاضاءة المباشرة تسبب تحطم الاوكسينات.

ب- الانتحاء الارضي :

هو استجابة عضو نباتي معين بنموه باتجاه الجاذبية الارضية او عكسها فاذا كان نمو العضو نحو مركز الارض يعتبر موجب الانتحاء الارضي اما اذا كان النمو بعيدا عن مركز الارض يكون عندئذ سالب الانتحاء الارضي وبصورة عامة فان معظم الجذور الرئيسية موجبة الانتحاء الارضي بينما معظم السيقان للنباتات الراقية سالبة الانتحاء الارضي فمثلا عند وضح بادرة بوضع افقي موازي لسطح الارض فان الجانب السفلي لها ينمو بدرجة اكبر من العلوي فتنتحي تلك السويقة الى الاعلى وبالعكس يحدث مع الجذير حيث ينمو السطح العلوي للجذير بمعدل اكبر من سطحه السفلي فينحني طرفه النامي الى الاسفل ويعزى سبب اختلاف النمو الى اختلاف تركيز الاوكسين في طرفي البادرة .

ج- الانتحاء الكيمياوي :

هو حركة عضو نباتي باتجاه منبه كيمياوي خارجي كما في حالة نمو انبوب اللقاح خلال نسيج القلم باتجاه البويض حيث ان استجابة انبوب اللقاح تحدث بتأثير مواد كيمياوية موجودة في البويض وجدران المبيض .

الانتحاء الميكانيكي :

هي الحركة الناتجة من منبهات ميكانيكية كما يحدث عند اصطدام حوالق العنب او البزاليا مع الدعامات التي تنمو عليها والتفافها حولها .

هـ- الانتحاء المائي:

هي حركة الجذور نحو المناطق الرطبة اثناء تغلغلها في التربة بحثا عن الماء.

2- الحركة التأثيرية اللاانتحائية : تحدث فيها الحركة نتيجة مؤثر ايضا لكن بشكل مستقل عنه ويكون سبب الحركة هو النمو اواختلاف ضغط الامتلاء ومن الامثلة الجيدة لهذه الحركة تفتح البرعم الزهري حيث يحدث انحناء القنابات ووحدات الغلاف الزهري للخارج وذلك لسرعة نمو السطح العلوي عن السفلي .

ثانيا : الحركة التلقائية :

تتم ذاتيا في النبات دون تأثير مؤثر خارجي واضح وسببها نمو الاعضاء او اجزاء الاعضاء وهي على انواع :

أ- **النمو اللولبي (الدوران أثناء النمو):**

اثناء نمو السيقان الى الاعلى والذي يحدث في القمة النامية يكون النمو بشكل دائري او لولبي يسبب اختلاف معدل النمو على الجوانب المتقابلة للقمه الناميه مما يجعلها تدور حول نفسها اثناء النمو. علما بان هذه الحالة تحدث في الجذور والسيقان المدادة واعناق الازهار والمحاليق وكذلك عند بداية خروج الجذور .

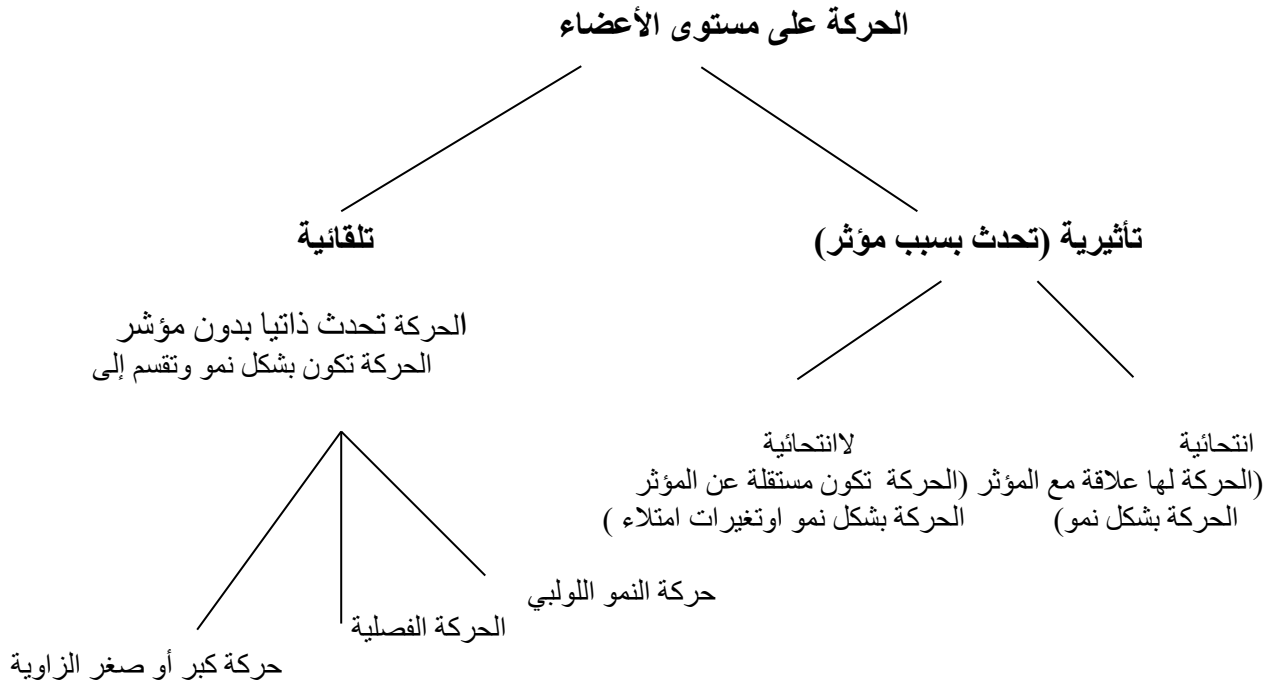
ب - حركة فصلية :

تحدث مرة واحدة في عمر العضو النباتي مثل حركة المياسم او القلم او الاسدية لاتمام عملية التلقيح .

ج- كبر اوصغر حجم الزاوية:

كبر اوصغر حجم الزاوية المحصورة مابين عنق الورقة والساق اومابين الساق الرئيسي والفروع او مابين الفروع نفسها او اعناق الازهار او النورات الزهرية من اجل تقوية التماس ومقاومة السقوط او الكسر او الشد وتتم باضافة مواد نمو جديدة الى هذه المواقع الضعيفة الارتباط .

عموما يمكن توضيح الحركة على مستوى الأعضاء بالمخطط التالي



مخطط: أنواع حركة النبات على مستوى الأعضاء

المحاضرة 13 و 14

السبات (السكون) Dormacy

يقصد به بقاء العضو النباتي كالبذور والبراعم في حالة النمو القليل والفعالية الواطئة .

وظائف السبات (السكون) :

1- كثير من النباتات تجعل بذورها أو براعمها في حالة سكون خلال فصل الشتاء القارص لغرض بقائها على قيد الحياة والتخلص من البرد الشديد .

2- يفيد السبات في المناطق القاحلة والصحراوية للمحافظة على الماء القليل الموجود في البذور.حيث تبقى البذور سابته بسبب احتوائها على نسبة واطئة من الماء وعالية من مثبطات النمو.

3- يحافظ السبات على الانواع النباتية من الانقراض وخاصةً التي تكون أغلفت بذورها صلبة حيث يتطلب نموها كسر هذا الغلاف وهذا ما لايحدث في نفس الوقت لكل البذور .

4- سبات البذور مهم للأنسان لأنه يساعد على خزنها ثم استعمالها كغذاء للأنسان.

5- قد يكون السبات عامل مهم في توزيع وانتشار البذور في بعض النباتات فقد وجد أن بذور بعض النباتات تتمكن من المرور خلال الجهاز الهضمي لبعض الحيوانات وبذلك يسهل نشر وتوزيع البذور.

أسباب سبات البذور:-

أولاً:العوامل الداخلية :

وهي العوامل التي توجد ضمن (أو داخل) البذور نفسها وتشمل :-

1- صلابة غلاف البذرة وهو يسبب السبات بالطرق التالية:

أ- منع نفوذ الماء الى البذرة كما يحدث في بذور البقوليات وهذا مايتطلب خدش غلاف البذرة.

ب- منع نفوذ الهواء (الاوكسجين) الى البذرة كما يحدث في بذور اللزيج حيث تنفذ البذور الماء لكنها لاتنفذ الغازات (CO_2 و O_2) ويمكن علاج هذه الحالة بأزالة أو خدش غلاف البذرة.

ج- عرقلة توسع الجنين ونموه : أن غلاف البذرة المتصلب قد يكون منفذ للماء والاوكسجين ولكنه لايسمح بتوسع الجنين كما في نبات Amaranthns sp وقد تبقى البذور في حالة سبات لعدة السنين.

وسواء ان كانت صلابة غلاف البذرة تعرقل نفوذ الماء والاوكسجين او نمو الجنين فان عملية التخديش هي التي تقضي على هذا النوع من السبات والتي قد تكون بالطريقة الميكانيكية (سكاكين ، مبرد ، رمل)وفي الطبيعة يحدث التخديش بواسطة الاحياء المجهرية أو عند مرور البذرة خلال الجهاز الهضمي للطيور والحيوانات أو تعرض البذور لدرجات حرارية متناوبة بين الارتفاع والانخفاض أو حركة البذور في الماء (الانهار والبحار)عبر الصخور والرمال او بوسائل اخرى.

وفي المختبر تستخدم عملية النقع في الكحول او مذيبات الدهون او الحوامض او بالنار.

2- عدم اكتمال نمو الجنين:ان فشل انبات بعض البذور قد يرجع الى عدم اكتمال نمو الجنين من الناحية الفسيولوجية على الرغم من اكتمال الشكل الفسيولوجي للجنين وحالما تكتمل بعض التغيرات الفيزيائية والكيميائية والفسلجية في الجنين فأن البذرة ستنبت عندما تتوفر لها ظروف النمو الملائمة.

3- ظاهرة مابعد النضج : ان بذور بعض النباتات لاتنبت مباشرة ولكن تتطلب مدة من الوقت تحت الظروف الاعتيادية لكي تصبح مستعدة للانبات ويطلق على هذا النوع من السبات مابعد النضج او السبات بعد الجني.

وفي الطبيعة يحدث مابعد النضج خلال المدة الواقعة مابين الخريف (عندما تسقط البذور على الارض او الربيع المقبل الذي يحدث فيه الانبات خلال مدة الشتاء عندما تكون البذور مغطاة بالقش والجليد). كما يمكن اجراء مابعد النضج في المخازن حيث توضع البذور خلال الشتاء البارد الرطب في صناديق حاوية على التربة الخفيفة والرطوبة العالية وبدرجة قريبة من الصفر المئوي وهذا ما يسمى بالتنضيد وهو يساعد على تقليل كمية حامض الابسسك (ABA) الموجود في اغلفة البذور ويحفز تكوين الجبرلين.

4- وجود المواد المثبطة لأنبات البذور.

5- قلة المواد المحفزة لأنبات البذور.

ثانياً : العوامل الخارجية :

وهي العوامل الموجودة خارج البذور وتؤثر على سبات البذور (عوامل بيئية)وتشمل:

1- متطلبات الضوء:تختلف البذور في تطلباتها للضوء لغرض الانبات فبعض البذور يجب ان تتعرض الى الضوء لكي تنبت بينما بعض اخر يكون الضوء مثبط لأنباتها كما ان بعض البذور يكون انباتها مصحوب بالاستجابة للتواقت الضوئي كما لوحظ بأن درجة الحرارة قد تتداخل مع الضوء في انبات بعض البذور .

لقد وجد بأن الضوء الاحمر 650NM يحفز انبات البذور بعض النباتات ومنها احد اصناف الخس بينما الضوء تحت الاحمر 750NM يثبط انبات هذه البذور.

2- الاحتياج الى درجة حرارة معينة : ان بعض البذور تحتاج الى مدة من الوقت تكون درجات الحرارة فيها واطئة والرطوبة عالية لاجل ان تنبت وقد وجد ان التنضيذ يفي للاحتياجات الحرارية اعلاه كذلك وجد ان درجة الحرارة الواطئة تحفز انبات بذور الخس صنف Grand Rapids الحساس للضوء وان درجة الحرارة العالية تثبط انبات بذور الخس لذا افترض بأن درجات الحرارة الواطئة يمكن ان تعوض متطلبات الضوء الاحمر المحفز للانبات في بذور الخس الحساس للضوء.

سبات البراعم Bud Dormancy:

في المناطق المعتدلة تصبح النباتات ساكنة خلال فصل الشتاء وهذا لا ينطبق على الاشجار النفضية فحسب ولكن على النباتات الدائمة الخضرة ايضاً اذ يبطئ نموها بحلول الخريف ويقل النمو كثيراً خلال الشتاء حيث ان براعم النباتات تمر بمدة سبات وقد ينتهي او يكسر هذا السبات بالتعرض الى مدة من الزمن تكون فيها درجات الحرارة واطئة وتحسب هذه المدة بعدد الساعات التي تكون فيها درجة الحرارة اقل من7,2 م وتسمى هذه المتطلبات بمتطلبات البرودة. ان هذا النوع من سبات البراعم الذي يكسر بالتعرض للبرودة قد يشابه كسر سبات البذور بالتعرض للبرودة اذ تبقى براعم بعض النباتات بحالة سبات عندما توضع في محل مدفا او في بيت زجاجي في حين عند تعرض براعم هذه النباتات للحرارة المنخفضة (0 – 10 م) لمدة من الزمن قبل ان ترتفع الحرارة نسبيا يساعد في كسر سبات البراعم واستعادة النمو لنشاطه .

كذلك وجد بان تقليل الماء او ارتفاع درجات الحرارة في الصيف الحار او قلة المغذيات وخاصة النيتروجين قد يسبب حدوث السبات . ان حدوث حالة السبات في البراعم تكون مهمة في بعض النباتات لغرض مقاومة درجات الحرارة العالية والجفاف وبعض الظروف الصعبه الاخرى اللتى يواجهها النبات.

انواع السبات فى البراعم :

يوجد نوعان من السبات في البراعم هما:-

أ- طور الراحة Rest Period:- هو حالة فسيولوجية تتحكم في ظهورها عوامل وراثية (داخلية) خاصة بالنوع النباتي تسبب توقف النمو الظاهري للاشجار المتساقطة الاوراق(النفضية) حيث تحدث في البراعم الخضرية والزهرية في اواخر الصيف واوائل الخريف من كل عام وتسبب منع تفتحها على الرغم من تمام تكوينها وتستمر هذه الحالة خلال الخريف والشتاء عندما تتجرد الاشجار من اوراقها.

ب-حالة السكون Dormancy :- يقصد بها توقف النمو الظاهري للنبات نتيجة لاسباب بيئية محيطة به (عوامل الجو والتربة) فاذا تغيب عامل او اكثر من هذه العوامل ينتج عنه توقف نمو البراعم ودخولها في طور السكون وبمجرد زوال هذا العارض تستأنف هذه البراعم النشاط ثانية فمثلاً اذا عطشت الاشجار او انخفضت درجات الحرارة عن الحد الملائم للنمو يتوقف النمو لكنه يستأنف ثانية بمجرد زوال هذا العارض .

الفروقات بين طور الراحة والسكون

طور الراحة	طور السكون(حالة السكون)
1- سببه عوامل داخلية في النبات نفسه قد تكون وراثية او فسلجية	**1- سببه عوامل خارجية وغالباً ما تكون بيئية (مناخ وتربة)**
2- يحدث ويزول بشكل تدريجي	**2- يحدث ويزول بشكل مفاجئ**
3- يحدث في الاشجار المتساقطة	**3- يحدث في الاشجار المتساقطة والدائمة الخضرة**
4- يحدث في فترة معينة من السنة(اواخر الخريف وفصل الشتاء)	**4- يحدث في أي فترة من السنة حسب وجود وزوال العارض المسبب**
5- درجات الحرارة المنخفضة تساعد على انهائه لانها تحطم المواد المثبطة للنمو(ABA) وتحفز المواد المشجعة للنمو(GA)	**5- درجات الحرارة المنخفضة تعمل على اطالته لكونها غير مناسبة للنمو**

اهمية طور الراحة :-

يساعد على وقف النمو مبكراً اواخر الصيف واوائل الخريف وذلك لتجمع مركبات كيمياوية في النبات تؤدي الى سقوط الاوراق ومنع تفتح البراعم مما يسمح بنضج النموات الحديثة التكوين وذلك بسبب انتقال المواد الغذائية المتحللة من الاوراق الى النموات الحديثة التكوين (أي النموات العشبية المتكونة في الموسم السابق) واكسابها المقاومة للانخفاض الشديد لدرجات الحرارة التي يتكرر حدوثها اثناء فصل الشتاء وذلك نتيجة ترسب الخشب في النموات الحديثة . ان التأثير المفيد لانخفاض درجات الحرارة خلال طور الراحة فيعود الى دورها في تحطيم المركبات الكيمياوية التي تعيق تفتح البراعم.

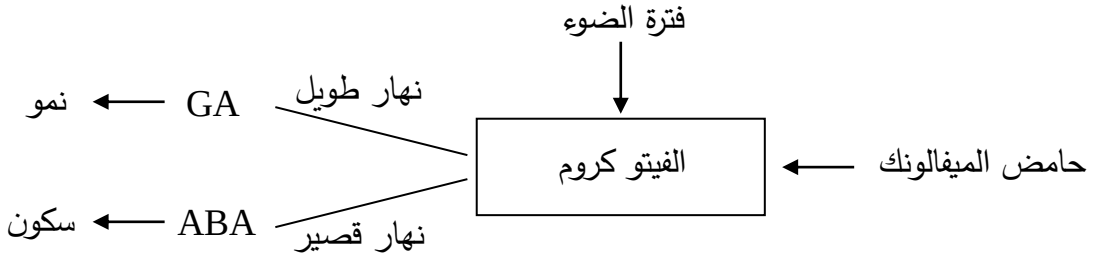
اهمية طور السكون الناتج من انخفاض درجات الحرارة غالباً :-

يساعد على تأخير تفتح البراعم وبذلك يعمل على حمايتها من الانجمادات المتأخرة والتي تسبب اضرار كثيرة في للاشجار عند حدوثها لانها تقضي على كل ما تفتح من البراعم بعد انتهاء طور الراحة الذي يمثل الجزء الاكبر من الحاصل لتلك السنة.

تأثيرات حامض الابسسك (ABA) في السكون

لقد وجد ان حامض الابسسك يسبب سكون البراعم والبذور وعدم نموها فعند معاملة البذور القابلة للانبات بحامض الابسسك لا تنبت الا بعد غسلها جيدا اومعاملتها بالجبرلين او الكينتين لمساعدتها على الانبات ومن هذا يتضح بان الجبرلين والكينتين يضادان في تأثيريهما تأثير حامض الابسسك.

على الرغم من اختلاف التاثير الفسيولوجي لحامض الجبريلليك وحامض الابسسك تبين من الدراسات بانهما يمكن ان يشتقان من حامض الميفالونك mevalonic acid وانهما والى حد كبير يصنعان في نفس المسار الايضيmetabolic pathway ولذلك يمكن للنبات ان يتحكم في انتاج احدهم دون الاخر حيث ان الجبرلينات تتكون في ايام ذات النهار الطويل وحامض الابسسك يتكون في الايام ذات النهار القصير ومن المعتقد ان يكون التحكم في انتاجهم عن طريق الفيتوكروم اذ يتأثر الفيتوكروم في النهار القصير وينتج حامض الابسسك ويتأثر بالنهار الطويل وينتج الجبرلينات وكما موضح (بالشكل4).



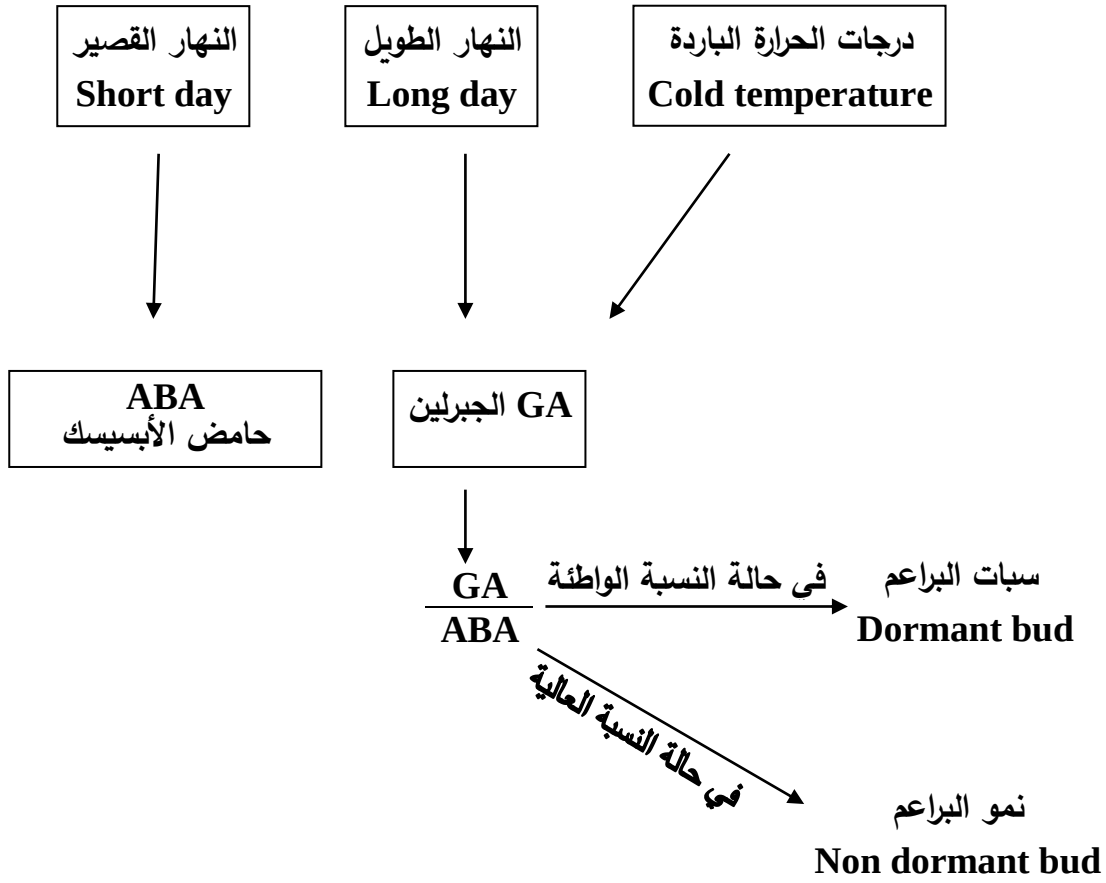
(شكل4): يوضح تكوين الجبرلين و ABA من حامض الميفالونك

علاقة سبات البراعم بالفترة الضوئية ودرجات الحرارة الواطئة:-

عندما يصبح النهار قصيراً بحلول الخريف والشتاء تصبح براعم النباتات الخشبية بحالة سبات أي ان سبات البراعم في النباتات الخشبية يعتمد على عملية التواقت الضوئي اذ ان النهار القصير يسبب سبات البراعم والنهار الطويل ينهي سباتها (شكل4) وان موضع استجابة التواقت الضوئي المتعلق بسبات البراعم قد يحدث في البراعم نفسها كما في نبات الزان او يحدث في الاوراق كما في نبات .*Robinia sp*.

كما وجد ان تقليل الماء او المغذيات وخاصة النتروجين قد يسبب حدوث السبات .ان تلك الحالة تكون مهمة في بعض النباتات لغرض مقاومة درجات الحرارة العالية والجفاف .

لقد افترض بان سكون البراعم في النباتات الخشبية قد يعتمد على نسبة وجود المواد المثبطة مثل حامض الابسسك اسد في البراعم والمواد المحفزة مثل الجبرلين التي تتكون في النبات. فالنهار القصير او الظروف المسببة للسكون تسبب زيادة الابسسك اسد اما الشتاء القارص او النهار الطويل فتسبب زيادة الجبرلين وان النسبة بين الجبرلين والابسسك اسد ستحدد ما اذا كانت البراعم ستصبح فعالة و نامية او ساكنة (شكل5).



(شكل5):رسم تخطيطي يوضح علاقة سبات البراعم بالفترة الضوئية ودرجات الحرارة الواطئة

المحاضرة 15

الشيخوخة (التدهور) والسقوط (الانفصال) Senescence and Abscission

يقصد بالشيخوخة:- اضمحلال العمليات الحيوية للعضو النباتي أو الكائن النباتي بصورة تدريجية أو مفاجئة مؤدية الى الموت في حين يقصد بالهرم التغيرات الخاصة بالكائن الحي بمرور الوقت دون الاشارة الى الموت ولهذا تكون ظاهرة الشيخوخة ممثلة في ظاهرة الهرم المصحوبة بأنتهاء الحياة بصورة طبيعية .هذا وتوجد عدة أنواع من الشيخوخة ففي النباتات الحولية نجد ان الشيخوخة تستمر من الاوراق السفلى الى العليا وتعقب بموت الساق والاوراق بعد الازهار ثم يموت النبات كلياً بينما في الاعشاب المعمرة فأن الاقسام العليا فوق سطح التربة في حين تبقى حية المجموعة الجذرية أما في النباتات الخشبية المعمرة فأن اوراقها تموت وتسقط بينما انسجة الجذور والساق تبقى حية. ان الوظيفة الرئيسية للشيخوخة هي تنظيم الحياة البايولوجية بصورة متعاقبة للاجيال القادمة .

التغيرات الكيمياوية المصاحبة للشيخوخة :-

مع اقتراب الخريف وبداية الشيخوخة يقل نشاط عملية التركيب الضوئي كما ان محتويات النشأ والكلوروفيل والبروتين وال RNA في الاوراق يقل وتنتقل المواد المتحللة الناتجة من عملية الهدم الى الاجزاء الفتية من النباتات وتظهر صبغات الكاروتينات الصفراء البرتقالية عندما يختفي الكلوروفيل في الخريف . ويذكر ان عمليات الشيخوخة قد تتحفز بدرجات الحرارة المعتدلة وشدة الضوء والمدة الضوئية القصيرة ونقص المغذيات (خاصة النتروجين)وطول فترة الجفاف .

أسباب التدهور أو نظريات الشيخوخة :-

1- انتهاء المواد الغذائية المخزونة :-

يرجح بأن هذه الحالة تحدث في شيخوخة البذور وذلك لأنتهاء المواد الغذائية المخزونة بيد ان بعض الباحثين يدحض هذه الفكرة بقولهم ان البذور الميتة قد تحتوي على المواد الغذائية المخزونة بقدر ماتحتويه البذور الحية .

2- التنافس على المغذيات :-

لقد اقترح بعض الباحثين بأن شيخوخة الاجزاء الخضرية من النباتات تنشأ بسبب نقص المواد الغذائية وتحويلها الى التكاثر الجنسي والدليل هو ازالة الازهار والثمار من عدة نباتات بأخر الشيخوخة .

اما الشيخوخة التي تصيب الثمار فتحدث نتيجة قلة المغذيات في النبات .

3- فقدان فعالية الاحماض النووية والبروتينات التركيبية للاغشية الخلوية وبعض مكونات الخلية :-

حين يرى الباحثين ان التغيرات الغير طبيعية (الشاذة)والتي تحدث في الحامض النووي DNA,RNA بسبب التعرض للاشعاعات المختلفة مثل الاشعة فوق البنفسجية والمعاملة بالمواد الكيمياوية والتي ينجم عنها تغيرات مشوهة للبروتينات التركيبية لاسيما بروتينات الاغشية الخلوية والانزيمات تؤدي الى فقدان قدرة الخلايا على تجديد نفسها وعدم مقدرة البروتوبلازم المحافظة على نفسه .

4- زيادة فعالية بعض الانزيمات الهامة مثل (RNase,Protease) الخ .

5- التغير في منظمات النمو المحفزة والمثبطة :-

لقد ظهر بأن القمة النامية بسبب احتوائها على الاوكسجين تسبب الشيخوخة للاوراق في حين تعيق السايتوكانينات عمل الشيخوخة كما وجد بعض الاوكسينات تعيق شيخوخة الاوراق في بعض النباتات في حين ان الجبرلين يكون فعالاً في شيخوخة بعض النباتات الاخرى لذلك يرجع وجود نوع من التداخل مابين الانواع الثلاثة من الهرمونات مع الجينات يكون له تأثير بأسلوب معين على ال RNA والبروتينات والخ. كما ان ال ABA والاثلين يسرعون من الشيخوخة .

6- نظرية الاكسدة الذاتية للدهون :-

تحدث هذه الحالة في البذور حيث تحدث تغيرات كيمياوية نتيجة أكسدة ذاتية وتكوين مايسمى بالجذور الحرة التي تعاني ايضاً أكسدة ذاتية اخرى حيث اظهرت البحوث بأن الجذور الحرة تكون فعالة حين تهاجم البروتينات (الانزيمات) والدهون الموجودة في الاغشية الخلوية RNA,DNA وبهذا تمنع انقسام الخلايا.

السقوط أو الانفصال:- Abscission

بعد حدوث الشيخوخة تسقط بعض الاعضاء النباتية مثل الاغصان والاوراق والازهار والثمار وتبين ان اعمار هذه الاعضاء تختلف بأختلاف العضو النباتي ونوعية النبات علماً بأن الاوراق اطول عمراً من الازهار والثمار بصورة عامة .

وظائف السقوط (فوائد السقوط)

1-التخلص من الافات والاضرار التي تسبب سقوط الاعضاء المصابة .
2-نثر وتوزيع اجسام النباتات التكاثرية كحبوب اللقاح والبذور.

التغيرات التشريحية المصاحبة للسقوط :-

في العديد من النباتات يحدث تكوين طبقة أو منطقة قبل سقوط الاوراق والازهار والثمار وتسمى طبقة السقوط أو منطقة السقوط في قاعدة العضو النباتي الذي يسقط . وفي الاوراق تتكون هذه المنطقة عبر السويق وقرب محل اتصاله بالساق وقد يحدث سقوط الاوراق من بعض النباتات على الرغم من عدم تكوين منطقة السقوط.

لقد وجد ان منطقة السقوط تتألف من مجموعة من الخلايا ذات جدران خفيفة تحدث نتيجة للانقسامات العرضية للخلايا عبر السويق تبدأ قبل اكتمال نمو الورقة علما بأن نشوء هذه الخلايا في المنطقة البعيدة من الساق والتابعة لمنطقة السقوط تتحل بسبب زيادة فعالية انزيمات ال Pectiaase كما ان تغيرات هرمية اخرى قد تحدث ايضا وفي بعض الحالات النادرة فأن البروتوبلازم يفقد تركيبه وتنظيمه والخلايا تصبح مليئة بالماء ولذلك يحدث الانفصال بين هذه الخلايا ويتكسر النظام الوعائي بفعل العوامل الميكانيكية أو الطبيعية .