الخلية النباتيه: تركيبها ووظائف اعضائها

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 الخلية بأحجام مختلفة منها الصغيرة جدا بحيث 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 الخلية بدائية أو قد تكون متطورة.

4. الطول: احيانا لايزيد طول الخلية 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 النسيج الفليني 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 على النبات وديمومته 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 يكون 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.

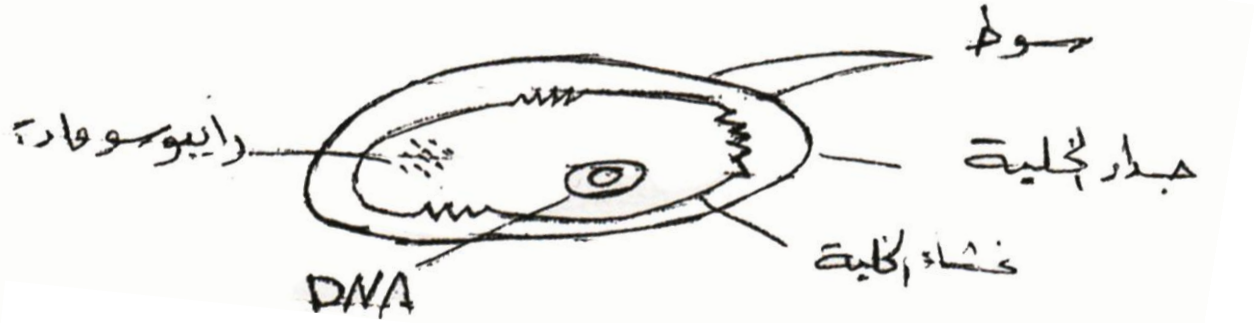
1- الخلايا البدائية: Procaryotic cell

وهي خلايا ذات تنظيم و تركيب بسيطين (شكل1) 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- المادة 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



شكل (1): خلية بدائية

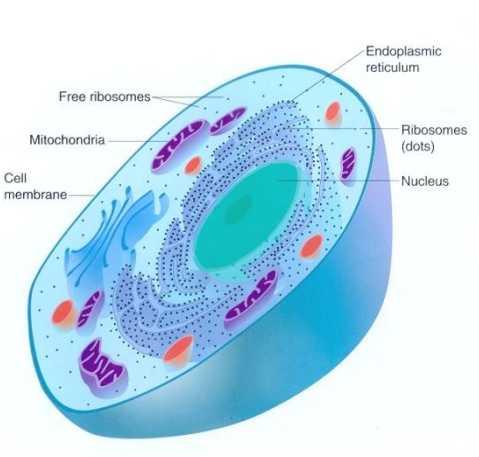
2- الخلايا المتطورة: Eucaryotic cell

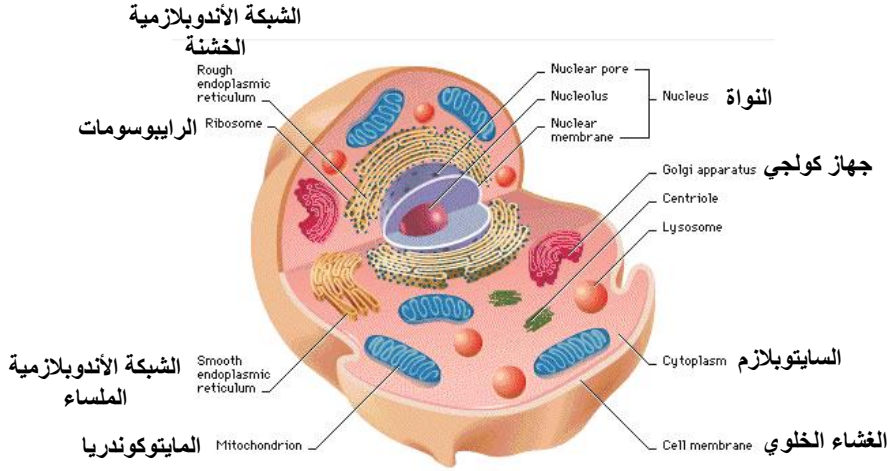
وهي خلايا ذات تركيب وتنظيم معقدين (شكل2) توجد في الكائنات المتطورة مثل الانسان والحيوانات والنبات وتتميز هذه الخلايا بأنها:

أ- 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.





شكل (2) : الخلية المتطورة

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 ماعدا الكميتات في المراحل الأولى من اتحادها .

5- الخلية النباتية لا تحتوي على الجسم المركزي.

6- عموما الخلية النباتية اكبر حجما من الحيوانية .

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 ، ولكن 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 من السايتوبلازم وتسبح فيه تسمى أعضاء الخلية cell organelles وتشمل:

(1) النواة .
(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 في توفير 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 لانه يعطي البروتوبلازم خصائصه المميزة وذلك بسبب دخوله 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 :

اولا : 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 غير النشطة 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 : أن ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى قلة فعالية السايتوبلازم وربما انعدامها وذلك بسبب تأثيره على هيئة وتركيب البروتين المكون للسايتوبلازم وحركة جزيئات الماء فيه.

2- توفرالاوكسجين: تنعدم فعالية السايتوبلازم وخاصة الحركة الانسيابية بغياب الاوكسجين.

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 تتواجد في الخلايا تتميز بانها رقيقة حية اختيارية النفاذيةاي لها القدرة على التحكم في دخول الذائبات والمذيبات وذلك لاحتوائهاعلى أنزيمات وحاملات ايونات وفوسفولبيدات 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 . تتواجد الاغشيه البلازميه حول أعضاء السايتوبلازم اما بصورة مزدوجة كما في حالة النواة ، البلاستيدات ، المايتوكندريا و 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(شكل3):

شكل(3):الغشاء البلازمي الخارجي وغشاء الفجوة (الغشاء البلازمي الداخلي).

تصميم الأغشية البلازمية (الأغشية الخلوية) :

من الناحية الكيمياوية تتركب الأغشية البلازمية من البروتين والدهون (لبيدات) 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:

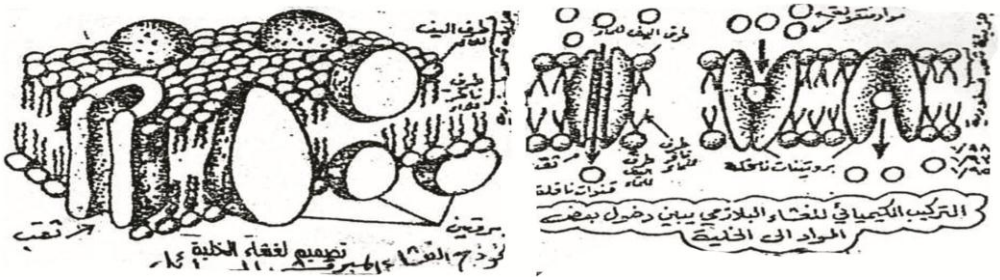
أ-) نموذج الغشاء الساندويجي الموضوع من قبل daniellی and darson عام 1935 الذي يصور الاغشية الخلوية على شكل طبقتين من البروتين تحصر بينهما طبقتان من الدهن وبشكل يشبه الساندويج (شكل4) وبموجبه تسمح الدهون (اللبيدات) الموجودة في الغشاء بمرور المواد اللاقطبية Nonpolar (التي لا تحمل شحنة على سطحها) في حين تسمح 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.

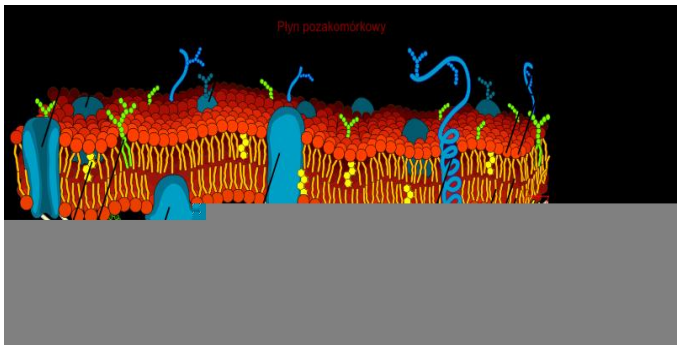
ب-) نموذج الغشاء المبرقش السائل المقترح من قبل colsou and siger عام 1972 وهو الأكثر قبولا في يومنا هذا والذي يصور الاغشية الخلوية على شكل طبقتين هما الدهنية بذيولها الهيدروكاربونية

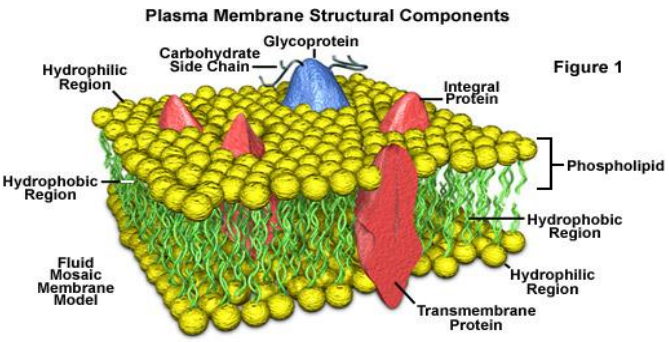
الكارهة للماء المتجهة للداخل والبروتينات ذات الأجسام الكبيرة التي تتواجد على سطح الغشاء وبداخله(شكل4) .

بموجب نموذج الغشاء المبرقش السائل 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. اماالمركبات البروتينية فربما تكون تركيبية أو إنزيمات وتختلف جوهريا من عضو لآخر أو من غشاء لآخر أوما بين وجهي نفس الغشاء هذا بالإضافة إلى أن كل المكونات وبضمنها المنطقة السطحية ربما تتغير كاستجابة للتغيير 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 . يوصف هذا الغشاء بأنه شبه نفاذ(اختياري النفاذية) .

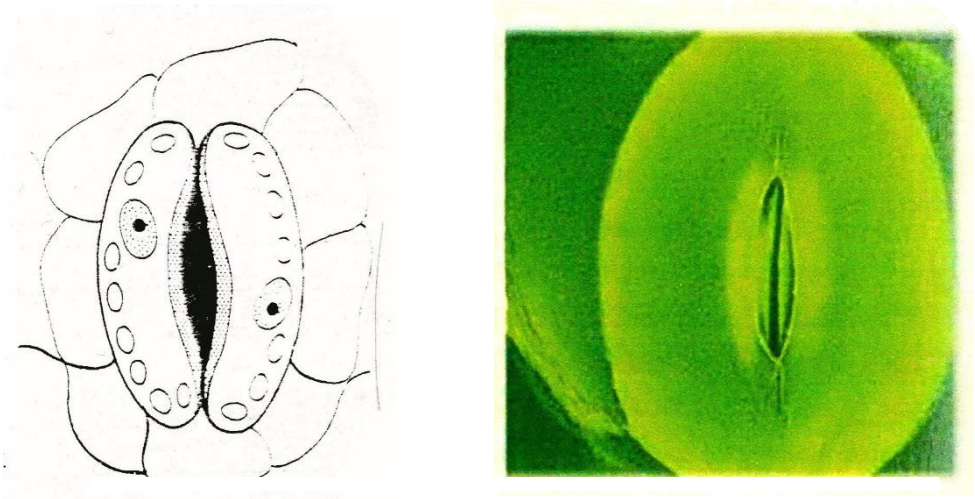
شكل(4): النماذج المقترحة لتصميم الاغشية الخلوية







صور توضح تصميم النموذج المبرقش السائل



شكل (4) : ثغرة مغلقة

توزيع الثغور:

توجد الثغور عادة على السطح السفلي للورقة النباتية وهناك نباتات كثيرة توجد فيها الثغور على السطح العلوي لاوراقها في حين هناك انواع ثالثة من النباتات توجد الثغور فيها على كلا السطحين لكن يكون عددها في السطح السفلي اكبر من العلوي عادة .

يبلغ متوسط عدد الثغور في النباتات ذات الفلقتين حوالي 10000/ سم 2 في حين يبلغ في النباتات النجيلية وذات الفلقة الواحدة ما بين 1000-2000 / سم2 . بشكل 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: راجع محاضرات د. ظافر اجباري معلومات رائعة ص 16و 17(يستفاد منها جزئيا هنا وكليا في العليا)

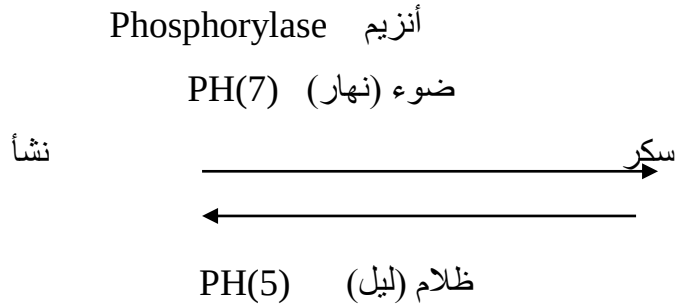
1 - الضوء: عادة تفتح الثغور الورقية عند تعرضها للضوء وتستمر مفتوحة تحت ظروف الاضاءة المستمرة مالم تصبح بعض العوامل الاخرى محددة وتشذ عن هذه القاعدة بعض النباتات مثل الصبير والبصل والبطاطا والقرع العسلي حيث تفتح ثغورها ليلا. وجد بانه كلما زاد الضوء الذي تمتصه الاوراق كلما زادت فتحة الثغر اتساعا علما بان بعض الانواع النباتية لها القدرة على النتح حتى تحت ضوء القمر الساطع او تحت تاثير الضوء الصناعي.

يعتقد بان الضوء يلعب احد الادوار التالية في فتح وغلق الثغور:

أ- يساعد وجود الضوء على حدوث عملية التركيب الضوئي في الخلايا الحارسة وتراكم السكريات فيها مما يؤدي الى زيادة المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة(زيادة سالبية الجهد الازموزي فيها) ونتيجة لذلك تسحب الماء من الخلايا المساعدة وتنتفخ ويحدث فتح الثغور. من الانتقادات الموجهة الى هذا التفسير هو ان كمية السكر المتكون في الخلايا الحارسة ليس بتلك الدرجة الكبيرة التي تولد جهدا ازموزيا يستطيع سحب الماء اليها.

ب- يرجح بان الطاقة الضوئية التي يمتصها النبات تتحول الى طاقة كيمياوية بشكل ATP تستعمل لضخ الايونات مثل ايون البوتاسيوم (+K) من الخلايا المجاورة للخلايا الحارسة الى داخل الخلايا الحارسة مما يؤدي الى زيادة المحتويات الازموزية في الخلايا الحارسة وبالتالي سحب الماء تجاهها وفتح الثغور.

ج- تحول النشأ الى سكر: يعتقد بان ثاني اوكسيد الكاربون المتجمع في الخلايا الحارسة ليلا(بسبب حدوث عملية التنفس وتوقف التركيب الضوئي) يذوب في الماء مكونا حامض الكاربونيك H2CO3 الذي يسبب زيادة حموضة المحيط اي انخفاض رقم الـ PH في حين عند حلول النهار (الضوء) يستخدم ثاني اوكسيد الكاربون في عملية التركيب الضوئي ونتيجة لذلك يرتفع رقم الـ PH ويتحول الوسط الى متعادل او قاعدي ومثل هذه الظروف ملائمة لعمل انزيم الفسفورليز الذي يحول النشأ الى سكر وبالتالي تزداد المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة وتسحب الماء اليها وتفتح الثغور.



2 - الحرارة : تغلق الفتحات الثغرية عادتا عندما تكون درجات الحرارة منخفضة او قريبة من التجمد وتزداد فتحة الثغر اتساعا بزيادة درجة الحرارة حتى تصل حوالي 20 م°– 30 م° ومن ثم تغلق عند الارتفاع الشديد.

3- المحتوى المائي للنبات والاوراق : تتاثر حركة الثغور بكمية الماء الموجودة في النباتات خصوصا في الاوراق فعندما يقل المحتوى المائي للنبات يصبح الجهد المائي للنبات اكثر سالبية ويزداد العجز المائي للنبات وعندئذ تغلق الثغور حيث وجد بان فقد الماء الشديد من الخلايا الحارسة ينشط التفاعلات الكيمياوية المؤدية الى تكوين النشأ بكميات كبيرة وبسرعة واضحة مما يؤدي الى زيادة سالبية الجهد الازموزي للخلايا الحارسة وبالتالي غلق الثغور.

الجفاف الفسيولوجي Physiological drought:

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

س : عدد حالات حدوث الجفاف الفسيلوجي .

العوامل المؤثرة على معدل النتح :

اولا: العوامل البيئية:

الضوء: يعمل على فتح الثغور وحدوث النتح وبالعكس يعمل الظلام على غلق الثغور وتوقف النتح. لقد وجد بان شدة الاضاءة المناسبة للنتح تتراوح ما بين 100- 600 شمعة/ قدم وان زيادة الضوء الذي تمتصه الاوراق يزيد من فتحة الثغر اتساعا علما بان هناك عدد من الانواع النباتية تفتح ثغورها حتى تحت ضوء القمر الساطع. كذلك تبين من الدراسات المختلفة بان كل من الضوء الاحمر(650 مليمايكرون) والازرق (440 مليمايكرون) يؤثران على حركة الثغور لكن الاخير هو الاكثر تاثيرا.

2- الرطوبة النسبية الجوية (رطوبة الهواء) : ان قلة الرطوبة الجوية تزيد من النتح حيث يكون الهواء داخل الغرف الهوائية للاوراق 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 الى الهواء الخارجي حيث الضغط البخاري اقل.

3- درجة الحرارة : عندما تكون جميع العوامل الاخرى ثابتة فان الزيادة في درجة الحرارة ضمن الحدود الفسيولوجية يؤدي الى زيادة النتح بسبب تاثيرها على حركة الثغور من خلال تغير الازموزية وفرق الضغط البخاري . عموما تغلق الثغور عندما تقترب درجة الحرارة من الصفر 5 م وتزداد اتساعا عند ارتفاع الحرارة حتى درجة 20 م°.

4- الرياح : لها تاثير معقد على النتح فقد تعمل على زيادته نتيجة استبدال الهواء المشبع الموجود حول الورقة بهواء غير مشبع اوقد تعمل على تقليل النتح لانها تعمل على غلق الثغور الورقية وخاصة في حالة السرع العالية للرياح.

5- توافر ماء التربة وكفاءة امتصاصه : حيث يقل النتح عند عدم توفر ماء التربة اوعند ضعف امكانية امتصاصه او للسببين معا وبالعكس.

ثانيا: العوامل النباتية:

نسبة المجموع الجذري الى الخضري: يزداد النتح بزيادة هذه النسبة وبالعكس.

المساحة السطحية للأوراق (المساحة الورقية) : ان للمساحة الورقية تأثير معقد على النتح فمن المفروض ان يزداد النتح كلما زادت المساحة الورقية للنبات من الناحية النظرية لكن هذه الحالة ليست ذات علاقة طردية دائما لان عمر الاوراق يلعب دور كبير ايضا في هذا المجال وذلك لان الاوراق الحديثة في السن تنتح بشكل اكبر من الكبيرة السن وذلك لعدم اكتمال تكوين الاوراق وخاصتا طبقة الكيوتكل.

تركيب الاوراق : يلعب تركيب الاوراق دور مهم في تأثيره على النتح وهذا ما يظهر خاصة في النباتات الصحراوية حيث تظهر تحورات خاصة في تراكيبها الورقية 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 و متطور .

ج- تكوين ثغور غائرة .

د- امتلاكها لشعيرات ميتة تغطي البشرة .

دور النتح في نمو وتطور النبات : راجع فسلجة الخضراوات ص 148 حتما

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

يساعد على امتصاص الماء بما فيه من ذائبات من التربة.

يلعب دور في تبريد اوراق النبات وبالتالي النبات ككل.

المحافظة على انتفاخ الخلايا.

يعتقد بانه يلعب دور في نمو وتطور النبات.

طرق حفظ الماء في النبات (وسائل تقليل فقد الماء من النبات) : راجع فسلجة الخضراوات ص 148 حتما

1- استئصال الحشائش والنباتات التي تنافس المحصول الرئيسي.

2- زرع مصدات الرياح حول الحقول الزراعية لتقليل تاثير الهواء الجاف .

3- استعمال مضادات النتح Antitranspirations وهي عبارة عن مواد او معاملات مختلفة لها القدرة على تقليل النتح عندما تطبق على اجزاء من النبات او النبات ككل ومنها مايلي:

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

ب- رش المجموع الخضري ببعض المواد الكيمياوية التي تعمل على عكس (ارجاع) الاشعة الضوئية وبالتالي تقلل من تاثير درجات الحرارة والنتح .

ج- تغطية الاوراق بمستحلبات من الشمع او المواد البلاستيكية لتكون غطاء رقيق يمنع فقدان الماء.

د- رش النباتات بمواد كيمياوية تمنع تفتح الثغور جزئيا او كليا وبالتالي تقلل النتح علما بان بعض هذه المواد قد تعيق نفوذ ثاني اوكسيد الكاربون الى الأوراق وبالتالي تقلل من كفاءة التركيب الضوئي ومنها مايلي:

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

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

فسيلوجيا التغذية المعدنية

علم تغذيـة النبات :

هو العلم الذي يختص بدراسة كيفية حصول النباتات على المركبات الغذائية اللازمة للقيام بالعمليات الحيوية المختلفة.

تقسم الكائنات الحية المختلفة بالنسبة لنوع تغذيتها إلى قسمين رئيسين هما:

أ- ذاتية التغذية Autotrophic :

هي الكائنات الحية التي تستطيع تصنيع غذائها العضوي (كربوهيدرات ، بروتينات ، دهون) بنفسها بعد حصولها على الغذاء المعدني 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 .

ب – غير ذاتية التغذية Heterotrophic :

وهي الكائنات التي تحتاج إلى المواد العضوية (كربوهيدرات ، بروتينات ، دهون) والعناصر المعدنية في غذائها و لا تستطيع تصنيع 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 .

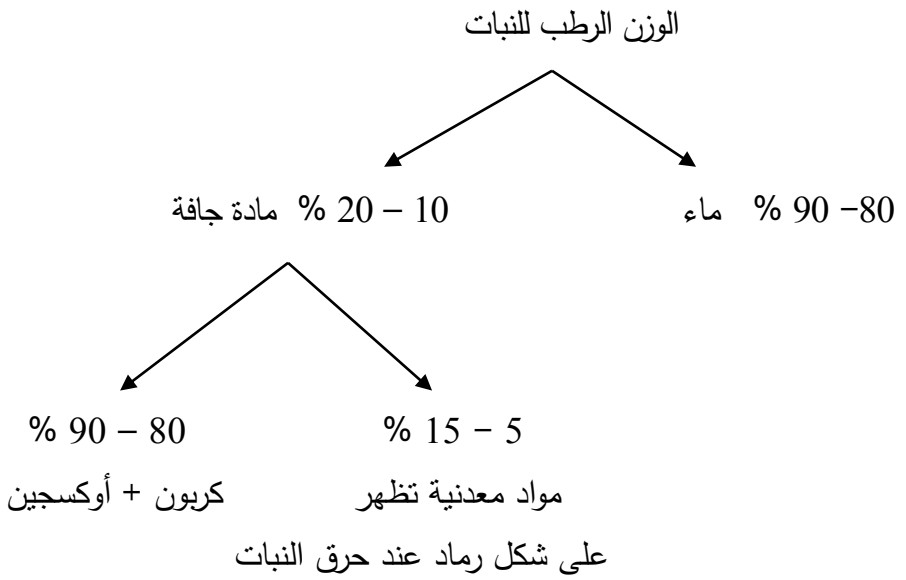
من هنا يتضح بان تغذية النباتات الخضراء هي غير عضوية . تسمى المواد التي يحصل عليها النبات باستثناء (الكربون ، الهيدروجين ، الأوكسجين) بالعناصر الغذائية المعدنية ويحصل عليها من الأملاح الذائبة في التربة وقد يحصل على بعضها من الجو بكميات ضئيلة . أما عنصر النيتروجين (N) فعلى الرغم من انه غاز فإن النباتات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

مكونات النبات الرطب :

بشكل عام يكون الماء 80 – 90 ٪ من الوزن الرطب للنبات الطري وتكون المادة الجافة 10 – 20 % فقط . مركبات الكربون والأوكسجين تكون 80 – 90 % من المادة الجافة اما المواد المعدنية

(املاح معدنية) التي تظهر عند الحرق بشكل رماد فتكون 5 – 15 % من المادة الجافة علماً أن هذه النسبة تختلف من نبات إلى آخر.

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

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

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

1 – المغذيات الكبرى :

وتشمل الكربون ، الهيدروجين، الأوكسجين، النتروجين، الفسفور، البوتاسيوم، الكبريت، الكالسيوم، المغنيسيوم و يحتاجها النبات بكميات تزيد عن 100 جزء بالمليون لغرض حدوث النمو الطبيعي.

2 – المغذيات الصغرى :

وتشمل الحديد، الزنك، المنغنيز، الكلور، البورون، النحاس، المولبيدنوم، الكوبلت و يحتاجها النبات بكميات قليلة جداً تتراوح بين 1 – 100 جزء بالمليون . الباحثون كانوا يطلقون مصطلح (الثانوية أو الاثرية أو النادرة) على هذه العناصر غير أن هذه التسمية غير صحيحة للأسباب التالية:

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

2 – ان هذه العناصر غير نادرة أو اثرية في وجودها بل تتوفر في التربة بكميات مناسبة ولكن احتياج النبات لها قليل .

ثانياً : العناصر غير الضرورية :

وهي العناصر الغذائية 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 الغذائية :

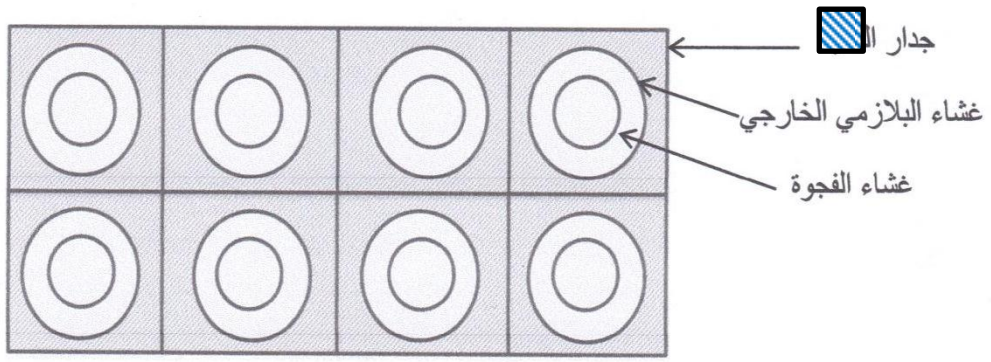
من اهم طرق امتصاص العناصر الغذائية التي يعتقد بها في الوقت الحاضر مايلي :

أ– الامتصاص الحر (السالب أو الفيزياوي) Passive Absorption:

يحدث الامتصاص الحر اثناء تلامس الجذور مع محلول التربة وتتميز هذه العملية بالتالي :

1 – تبادل الايونات يُحدث في ما يسمى بالفراغ الحر Free space أو الفراغ الخارجي outers space والمتمثل بالمسافات او الفراغات الواقعة ما بين الاغشية الخلوية للخلايا المتجاورة (شكل رقم 1).

أ– حدود الامتصاص الحر (السالب او الفيزياوي) للعناصر الغذائية.



ب- حدود الامتصاص الموجب (النشط) للعناصر الغذائية .

شكل (1) : حدود امتصاص العناصر الغذائية.

2 –لا يحتاج إلى طاقة .

3 – الامتصاص غير متخصص جداً بالنسبة للايونات .

4 – الايونات تصل في النهاية إلى حالة توازن ديناميكي بين خارج الخلية وداخلها ويقصد بداخل الخلية الفراغ ما بين جدار الخلية وغشائها الخلوي.

5- يحدث الامتصاص الحر بعدة وسائل منها :

1 – الانتشار :

بموجب عملية الانتشار يحدث مرور العناصر الغذائية من التركيز الأعلى للذائبات الى التركيز الأدنى أي 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 :

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

3 – النقل الكتلي :

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

ب : الامتصاص الحيوي (النشط) Active Absorptio:

يحدث داخل الخلايا النباتية عبر أغشيتها الخلوية (البلازمية) مثل الغشاء البلازمي الخارجي وغشاء الفجوة أذ تعد الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فيه الايونات المختلفة الموجبة والسالبة وبكميات متكافئة كهربائياً .

يمتاز هذا النوع من النقل أو الامتصاص بعدة صفات هي:

1 – تحدث عملية الامتصاص في الجزء الداخلي من الخلية Inner space عبر الاغشية الخلوية (البلازمية) المتمثلة بالغشاء البلازمي الخارجي و الغشاء البلازمي الفجوي .

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 وذلك لعدم حدوث عملية التركيب الضوئي وبالتالي قلة او انعدام المواد الغذائية المصنعة في الأوراق ومن ثم قلة الطاقة الناتجة من حرق المواد المصنعة في عملية التنفس .

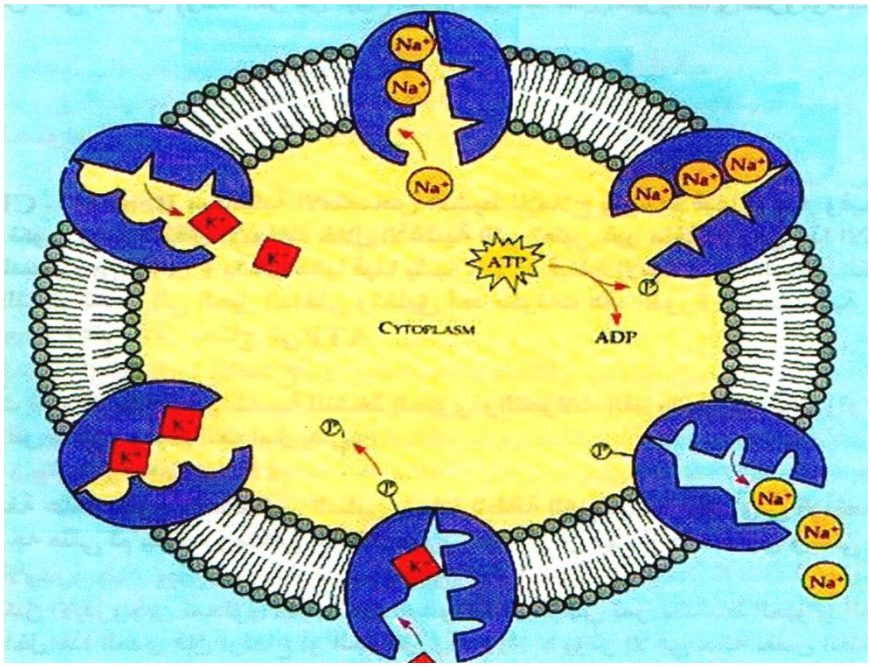
3 – تتخصص العملية بامتصاص بعض الايونات بكميات اكبر من ايونات أخرى أي أن امتصاص العناصر يكون متخصص وليس عاماً.

4 – تمتاز العملية بتجمع ايونات داخل الخلية أكثر مما في خارج الخلية أي في النهاية لا يتم 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 الامتصاص 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 ليكون جاهزاً لتكرار نفس الدورة مرة أخرى (شكل 3).

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

ج: الامتصاص الحيوي أكثر أهمية لأنه يوصل عناصر غذائية معينة دون غيرها إلى البلاستيدة الخضراء مباشرة إما الحر فيوصلها إلى الأغشية الخلوية الخارجية للخلية فقط .



شكل (3) : الامتصاص الحيوي (النشط) بنظرية الحامل.

س : قارن ما بين الامتصاص الحر(السالب أو الفيزياوي) والامتصاص الحيوي (النشط).

العوامل المؤثرة في امتصاص املاح العناصر المعدنية: راجع جندية لتكملة النقص مهم جدا

1 – درجة الحرارة : ارتفاع حرارة التربة ضمن الحدود المثالية يحسن من امتصاص العناصر الغذائية بواسطة الجذور كونه يزيد من الطاقة الحركية للجزيئات والتبادل الايوني . 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 قدرة النبات على النمو في درجات الحرارة المتطرفة .

2 – 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 زيادة امتصاص المغذيات كما أن الطاقة الضوئية المتحولة إلى طاقة كيمياوية بعملية التركيب الضوئي تسهل امتصاص المغذيات حيوياً .

3 – الهواء (الاوكسجين) : يقل امتصاص المغذيات النشط عند قلة الاوكسجين و يزداد بتواجده .

4 – التأثيرات المتبادلة بين الايونات : لقد وجد بأن امتصاص احد الايونات المغذية قد يتأثر بوجود الايون التابع لمغذي آخر .

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

6 – حجم (وزن) جزيئات الملح : كلما كبر حجم الجزيئة أو وزنها يبطئ نفوذها إلى داخل الخلية و بالعكس .

7 – الاضرار الميكانيكية : يزداد نقل المواد الغذائية عند حصول اضرار طبيعية في النبات او اجزاءه مثل قطع الجذور اوتكشفها.

8 – تفاعل التربة (PH) : يؤثر تفاعل التربة في امتصاص املاح العناصر المعدنية بعدة طرق منها ما يلي :

أ – تأثيره على بناء الغشاء البلازمي وخاصة على بروتينات الغشاء .

ب – تأثيره على ذوبانية وجاهزية العناصر الغذائية وبالتالي توفرها للنبات.

جـ – تأثيره على عمل الأنزيمات والحوامل .

د – يسبب تنافس 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 الهيدروكسيل السالبة الشحنة .

س : ناقش علاقة تفاعل التربة (PH) مع امتصاص العناصر الغذائية .

التأثير الضار لزيادة تركيز العناصر الغذائية :

1 – أن زيادة احد العناصر الغذائية قد يتسبب عنه بطئ امتصاص عنصر آخر بسبب التضاد الايوني وبالتالي يعاني النبات نقص العنصر الآخر .

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 وبالتالي الجفاف الفسيولوجي للنبات .

الوظائف الفسيولوجية للعناصر المعدنية

ت	العنصر الغذائي	وظيفته الفسيولوجية
1	**الكربون**	يدخل في تركيب المواد العضوية ، الخشب، الصبغات النباتية.
2	**الأوكسجين**	يشترك في العمليات التأكسدية (الهدمية).
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 (الفوسفولبيدز).
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 الاوكسين IAA وكذلك انزيم ال Carboxylase الذي يساعد على تثبيت CO_2 خلال عملية البناء الضوئي .
15	**النحاس**	يلعب دور مهم في عمليات الأكسدة والاختزال خلال التنفس الهوائي، يدخل في تركيب المركب البروتيني البلاستوسيانين الذي يدخل في تفاعلات الضوء خلال عملية البناء الضوئي .

العصارة اللحائية

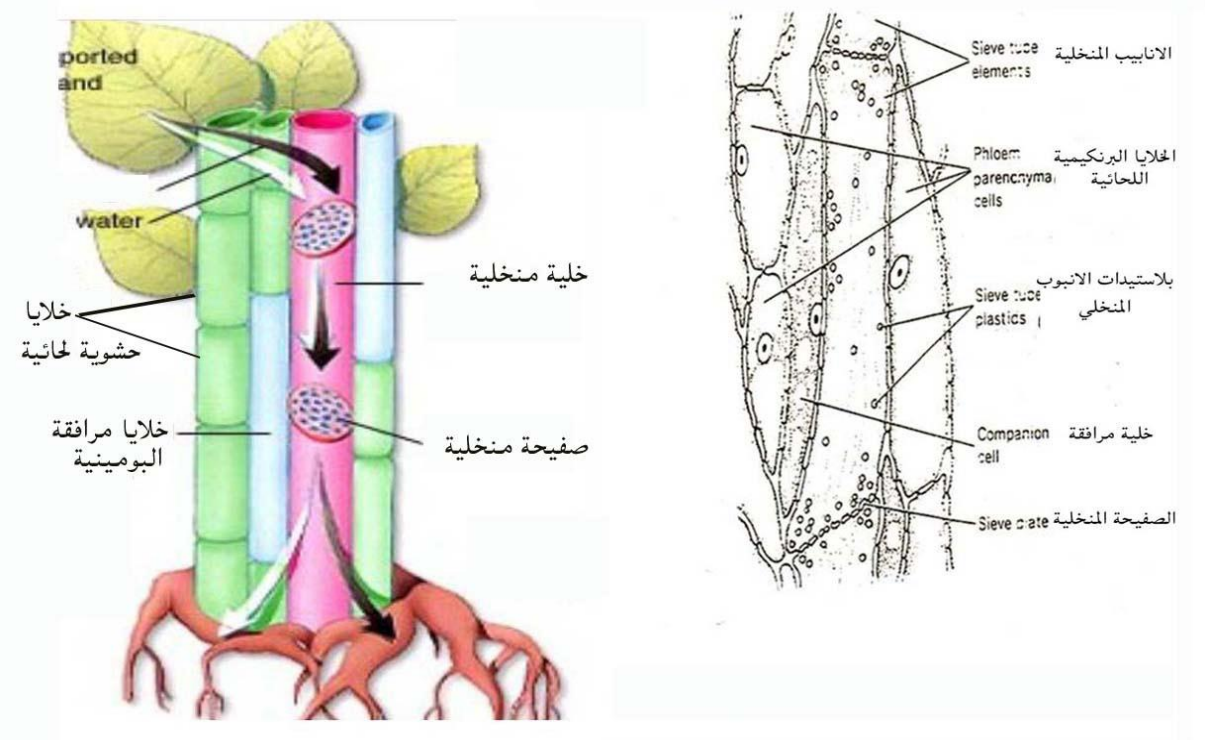
لقد عرف منذ زمن بعيد ومن تطور علم فسيولوجيا النبات بان الماء والمواد الذائبة فيه تنتقل من خلال الانسجة الوعائية الخشبية و اللحائية لمسافات طويلة داخل النبات، لكن انتقال المواد العضوية الذائبة بأنواعها المختلفة خلال الأنسجة اللحائية والخشبية بقي اكثر تعقيدا واقل فهما الى حد الان من انتقال الماء وأملاح العناصر المعدنية خلال الأنسجة الخشبية.

تشريح انسجة اللحاء :

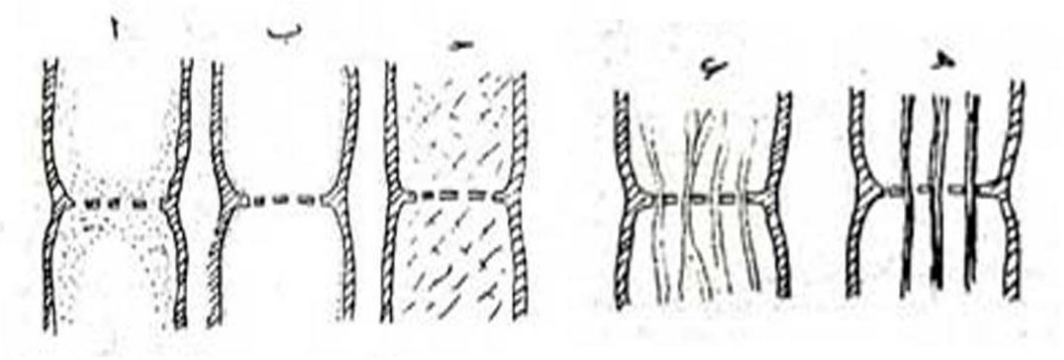
تتكون أنسجة اللحاء من اربع مكونات أساسية (شكل 1) هي:

1- الأنابيب المنخلية (الغربالية) Sieve Tube Elements :

تتكون الانابيب المنخلية (الغربالية) من خلايا على درجة عالية من التخصص تنتظم فوق بعضها البعض لتكون عمود قائم يدعى الانبوب المنخلي (الغربالي) . تتحور الجدر العرضية الفاصلة بين خلايا الأنابيب المنخلية إلى مناطق متخصصة تسمى بالصفائح المنخلية والتي تقوم بربط الأنابيب المنخلية بعضها مع بعض بحيث تمر الشرائط السايتوبلازمية من خلال الصفائح المنخلية وبذلك يكون الارتباط السايتوبلازمي مستمرا أو متصلا في جميع أجزاء الانبوب المنخلي (شكل 2).



شكل (1) مكونات نسيج اللحاء



الشكل (2) : انسياب البروتوبلازم في خلايا الانابيب المنخلية من خلال الصفائح المنخلية.

خصائص الأنابيب المنخلية:

1- الأنابيب المنخلية الناضجة تكون عديمة النواة و لا تحتوي غشاء للفجوات Tonoplast مما يؤدي الى امتزاج سايتوبلازم الخلية بعصير الفجوات .

2- قلة عدد المايتوكوندريا وصغر حجمها كما ان الشبكة الاندوبلازمية تكون منحلة ومجزئة الى أجزاء قريبة من غشاء البلازما. .(التحويرات 1 و2 أعلاه من اجل تسهيل النقل اللحائي).

3- الانبوب المنخلي يكون حيا عندما يقوم بوظيفته.

4- قلة حيوية الانبوب المنخلي الناضج لانه عديم النواة .

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

6- الأنبوب المنخلي يكون حساس جدا للمؤثرات الميكانيكية والكيمياوية والحرارة لانه حي وخالي من النواة.

7- حدوث ترسبات مادة الكالوس Callose على جوانب الأنبوب المنخلي وفي الصفيحة المنخلية يؤدي الى غلق بعض فتحاتها وربما غلق الانبوب.

8- يتميز الانبوب المنخلي الناضج بوجود ظاهرة الانسياب السايتوبلازمي.

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

10- توجد بعض البلاستيدات في الأنبوب المنخلي الناضج.

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

2- الخلايا المرافقة Companion Cell :

تتواجد الخلايا المرافقة في نباتات مغطاة البذور(ذات الفلقة وذات الفلقتين) وتكون مرافقة للأنابيب المنخلية في حين تتواجد الخلايا الزلالية او الالبومينية Albuminous Cell في النباتات عاريات البذور(المخروطيات) و 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. تساعد الخلايا المرافقة (الزلالية) 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 (الزلالية) 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 ما بين الخلايا المرافقة والأنبوب المنخلي من خلال القنوات السايتوبلازمية هذا بالإضافة الى قلة أعداد المايتوكندريا في الانبوب المنخلي مقارنة مع الخلية المرافقة .

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

تقوم هذه الخلايا بوظيفة الخزن ونقل المواد الغذائية جانبيا بالإضافة الى ذلك يعتقد بعض الباحثين بان هذه الخلايا تقوم بعمل المضخة من خلال تجهيز الطاقة اللازمة لضخ المغذيات في الأنابيب المنخلية من منطقة (المصدر او المنبع Sourse) الى (منطقة المستهلك او المصب Sink) كذلك تلعب هذه الخلايا دورها ضئيل في تكوين بعض المغذيات العضوية المهمة للنبات وذلك لاحتواء الخلايا البرنكيمية لنسيج اللحاء الموجود في الاوراق والسيقان الخضراء على بلاستيدات خضراء وبهذا تزود الانابيب المنخلية بالسكر مباشرة.

س: عدد وظائف الخلايا البرنكيمية للحاء ؟

4- الياف وانسجة الاسكلريدات اللحائية :

تقوم بوظيفة تقوية انسجة اللحاء ميكانيكيا .

المواد المنقولة في أنسجة اللحاء:

1- ايونات العناصر المعدنية :

تمتص من محلول التربة بواسطة الشعيرات الجذرية ثم تنتقل خلال الأنسجة الوعائية الخشبية إلى النموات 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 ايونات العناصر المعدنية من الأوراق القديمة التي بدأت 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 اما بصورة سكريات أو بصورة 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 بقية السكريات خلال الأوعية اللحائية إلى الأجزاء الأخرى غير الخضراء لتجهيزها بمصادر الكاربون الضرورية للتمثيل الغذائي والتنفس.

كذلك يحدث انتقال السكريات من الخلايا الخازنة للنشا الى جزاء النبات الاخرى التي تكون بحاجة اليها فمثلا عندما يقل معدل التركيب الضوئي وتكون خلايا النبات بحاجة الى السكريات تتحلل جزيئات النشا الموجودة في الخلايا المخزنة للنشا الى سكريات بسيطة وتنتقل 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.

على الرغم من وجود السكريات الفوسفاتية السداسية كالكلوكوز والفركتوز في العصير اللحائي بكميات قليلة لكن وجد من التجارب بأنها لا تنتقل 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 للاشجار ويزداد في الاشجار المتساقطة الأوراق اواخر فصل النمو (الخريف).

علل : زيادة تركيز المركبات النتروجينية في العصارة اللحائية للاشجار المتساقطة الأوراق اواخر فصل النمو .

ج: بسبب ارتفاع نسبة الاوراق المسنة والهرمة في الاشجار المتساقطة الأوراق اواخر فصل النمو مما يتطلب ارتفاع نسبة الانزيمات المحللة للبروتينات من اجل تحليل البروتينات الموجودة في هذه الأوراق وإعادة ارسالها عبر العصارة اللحائية الى مواقع النمو (الاجزاء المرستيمية والاوراق الحديثة التكوين) في النبات .

4- هورمونات النمو:

كالاوكسينات ، السايتوكانينات ، الجبرلينات.

5- الصبغات :

كالكلوروفيل ، الكاروتين ، الزانثوفيل.

6- الفيتامينات :

. B_{12} ، B_1 ، A

7- الانزيمات :

تنتقل في العصارة اللحائية العديد من الانزيمات المشاركة في العمليات الفسيولوجية الجارية بالنبات .

اتجاه حركة النقل في اللحاء:

لقد استنتج الباحثون بان اتجاه حركة النقل في اللحاء يعتمد على متطلبات النمو وتوفر المواد الغذائية اذ يمكن ان يحدث من الاعلى الى الاسفل وبالعكس في نفس الوقت ولنفس النبات بالإضافة الى حدوثها جانبيا بمساعدة خلايا برنكيما الخشب .

بينت الدراسات بان اتجاه حركة العصارة اللحائية يكون من مناطق (الشحن او المصدر او التصدير Sourse) الى (مناطق الاستهلاك Sink) ولهذا فقد تكون حركة العصارة جانبيا او الى الاعلى لتغذي

الاوراق الفتية والبراعم والازهار والثمار وهذا مايعرف بـ Acropetal او الى الاسفل لتغذي الجذور والدرنات الجديدة وهذا مايعرف بـ Basipetal .

اماكن الشحن او المصدر Sourse :

هي أجزاء النبات التي تحتوي على المواد الغذائية او تقوم بتصنيعها ومن ثم نقلها الى أجزاء النبات المستهلكة لها (أماكن التسلم او الاستهلاك) من اجل نموها وتشمل مايلي :

1- الاوراق الناضجة القائمة بعملية التركيب الضوئي .

2- الجذور المخزنة للمواد الغذائية .

3- الاندوسبرم والفلق الموجودة في البذور عندما تكون في حالة انبات .

اماكن التسلم او الاستهلاك Sink :

هي أجزاء النبات التي تقوم باستهلاك المواد الغذائية التي ترد اليها من أجزاء النبات التي تحتوي على المواد الغذائية او تقوم بتصنيعها (أماكن الشحن او المصدر) وتشمل مايلي :

1- الاوراق الفتية والحديثة النمو الى حين اعتمادها على نفسها.

2- البراعم والازهار والجذور النامية .

3- الثمار والبذور النامية على النبات .

العوامل المؤثرة على النقل في اللحاء:

1- درجة الحرارة:

تأثيرها على النقل اللحائي معقد الى حدما بسبب تأثيرها على العمليات الفسيولوجية الاخرى المتعلقة بالنقل اللحائي كالتركيب الضوئي وتحرير الطاقة بالتنفس وحركة الماءوغيرها من العمليات الفسيولوجية ذات العلاقة ، وهذا ما يؤثر بصورة غير مباشرة على معدل النقل في اللحاء.

عموما وجد بأن النقل في اللحاء يبطيء عند ارتفاع وانخفاض درجة الحرارة عن الحد الفسيولوجي ، كما وجد بأن ارتفاع درجة الحرارة يسبب ترسب مادة الكالوس Callose على جوانب الأنبوب المنخلي وفي الصفيحة المنخلية وبالتالي يعمل على غلق بعض فتحاتها وربما غلق الانبوب المنخلي بالكامل .

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 الخضرية 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 النبات defoliation يؤدي الى قلة جريان العصارة لانه يسبب اختفاء فرق الركيز.

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 الطماطة 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. كذلك لوحظ بان البورون يشجع انتقال منظمات النمو مثلTD -2,4,5 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 الى حد الان 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 الموجودة في بقية أجزاء النبات يسبب انتقال المواد الغذائية المصنعة والماء من اماكن التصديرٍ Source إلى أماكن الاستهلاك Sinks خلال الأنابيب المنخلية وتساعد هذه الحركة الفعاليات الحيوية التي تجري في الخلايا المرافقة للانابيب 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.

3- وجود اتصال ما بين المصدر والمستهلك والمتمثل بالأنابيب المنخلية.

الانتقادات:

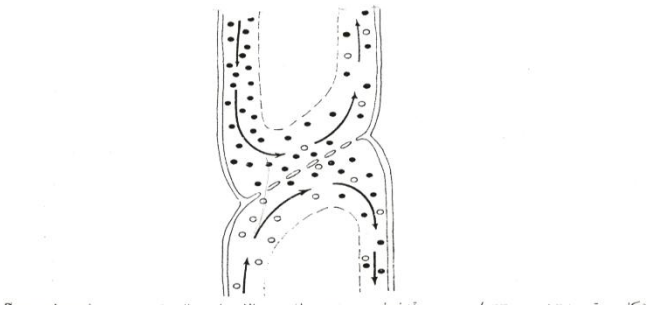
1- بموجب هذه النظرية يحدث النقل اللحائي في اتجاه واحد في حين ثبت علميا بان النقل اللحائي يحدث في اتجاهين متعاكسين أحدها للأسفل والآخر للأعلى.

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 الجهد الازموزي ما بين المصدر والمستهلك .

3- الانابيب المنخلية تحتوي على شرائط سايتوبلازمية تمر خلال ثقوب الصفائح المنخلية الضيقة او الشبه 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 من 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 (شكل 3) .



شكل (3): الانسياب البروتوبلازمي

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	الاوعية القصبية 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 أو ضغوط قليلة	ضغوط امتلاء عالية (1–34 جو)
5	عادة تمتص الماء او الهواء اذا ما قطعت	تنضج اذا ما قطعت
6	تنقل المذيبات والذائبات	تنقل الذائبات فقط
7	تصل سرعتها 75 سم/دقيقة	تصل سرعتها 5 سم/دقيقة

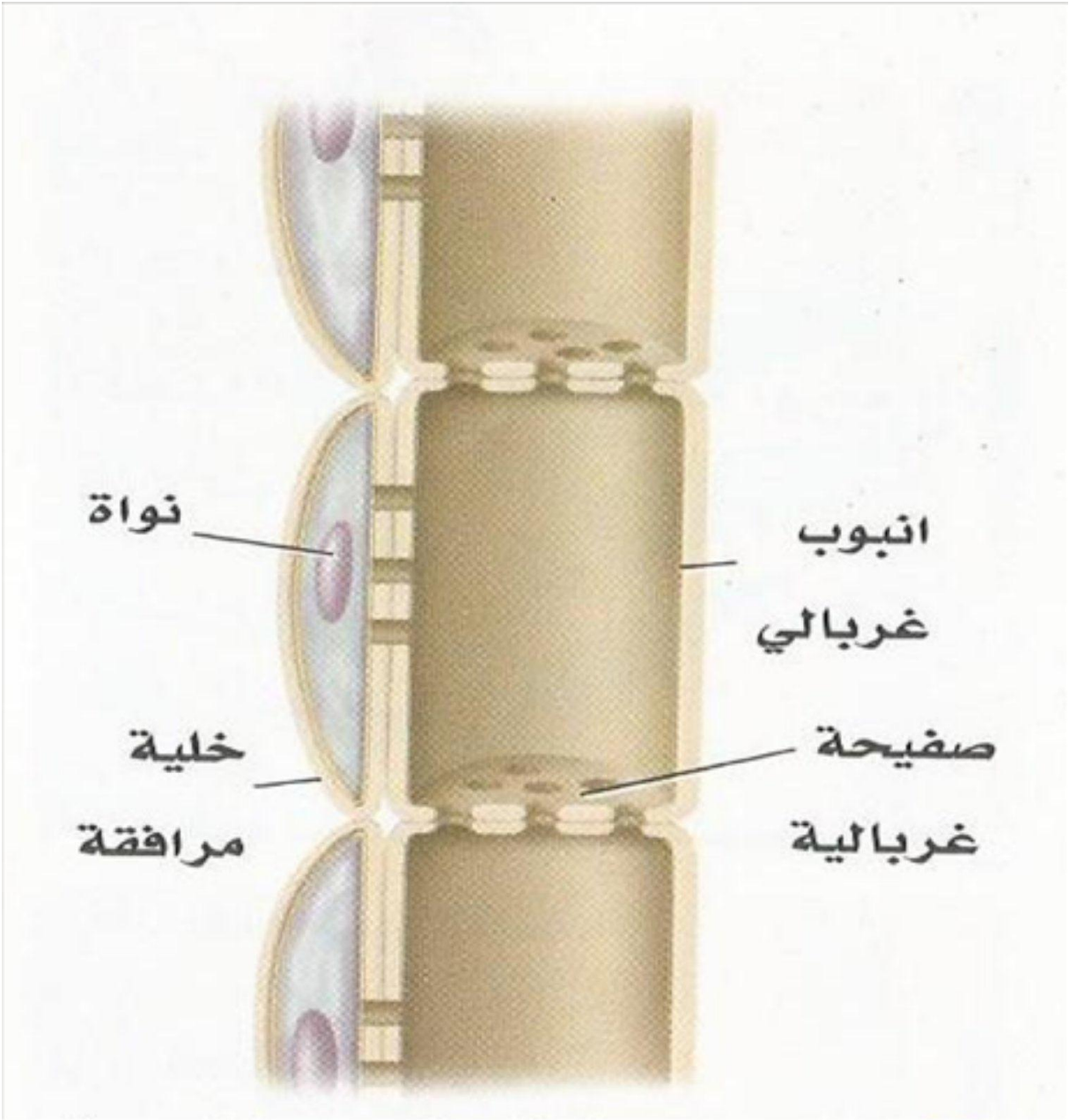
س/ بعض الباحثين يتحفظ على تسمية العصارة اللحائية بالنسغ النازل.

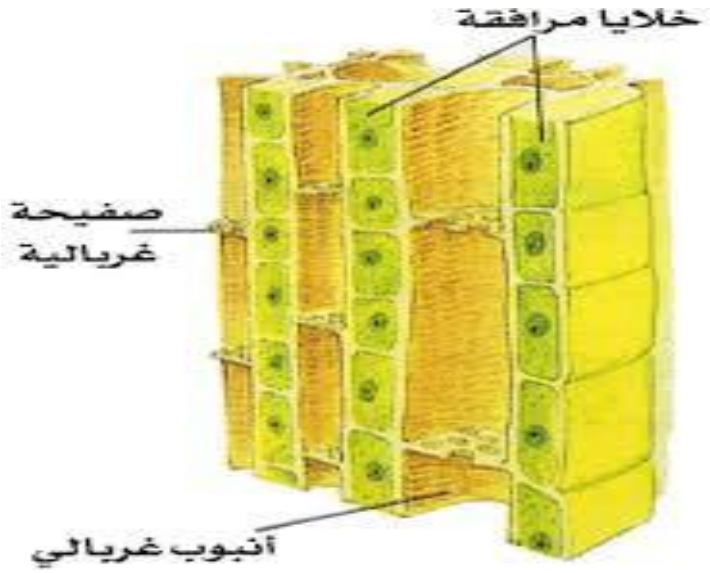
ج : لان العصارة اللحائية تنتقل في جميع الاتجاهات نحو الاعلى والاسفل والجانب وليس نحو الأسفل فقط.

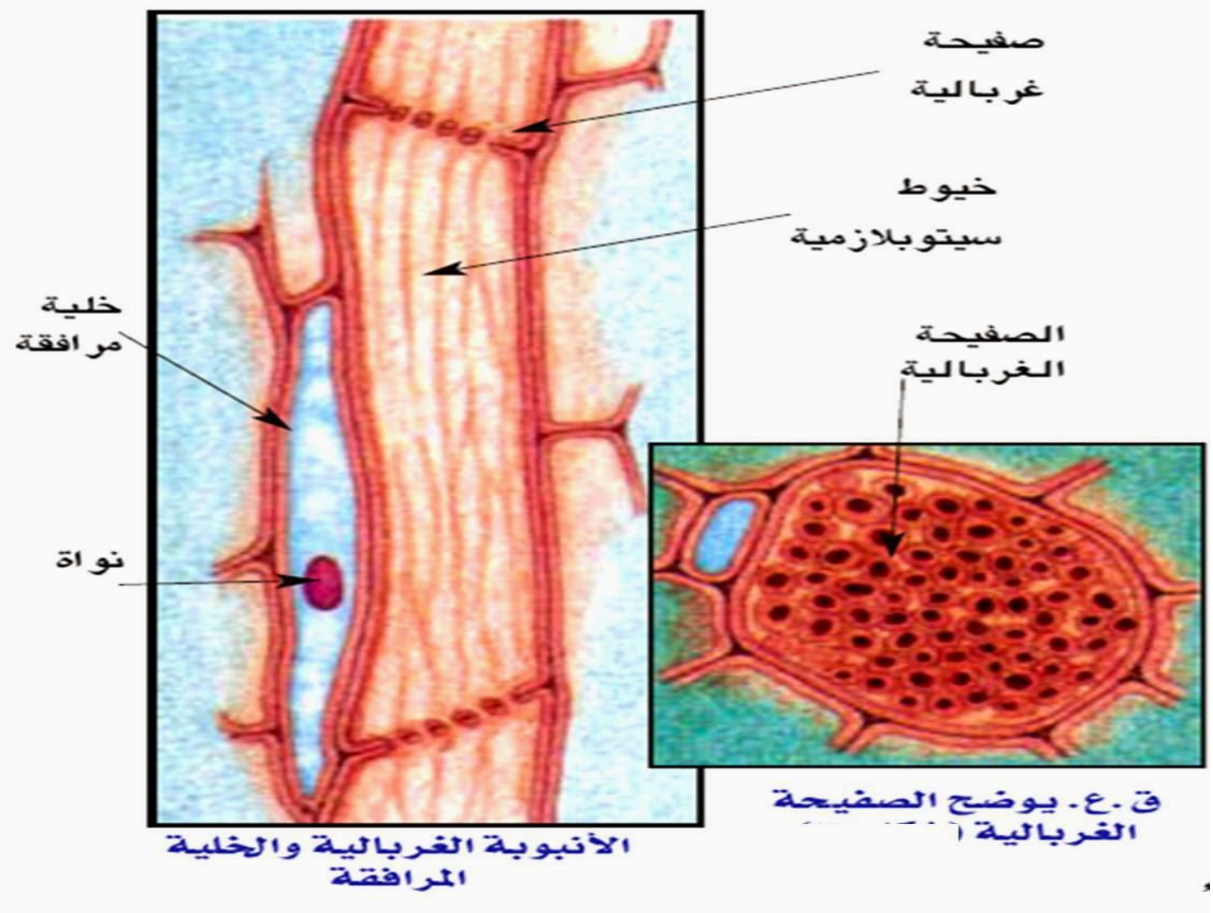
س/ ماهي اسباب غلق الانابيب المنخلية ؟

1- ترسبات مادة الكالوس في فتحاتها.

2- ارتفاع درجة الحرارة الذي يشجع تكون مادة الكالوس.


نواة
انبوب
غربالي
خلية
مرافقة
صفيحة
غربالية


خلايا مرافقة
صفيحة
غربالية
أنبوب غربالي

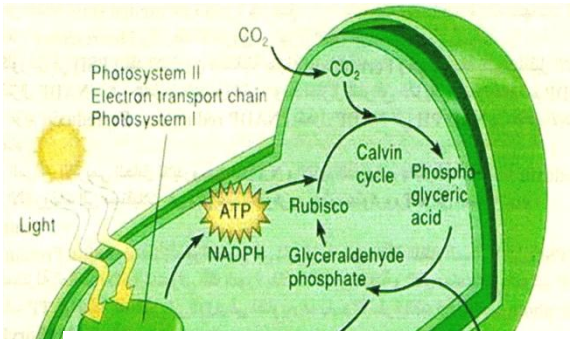

صفيحة
غربالية
خيوط
سيتوبلازمية
خلية
مرافقة
الصفيحة
الغربالية
نواة
الأنبوبة الغربالية والخلية
المرافقة
ق.ع. يوضح الصفيحة
الغربالية

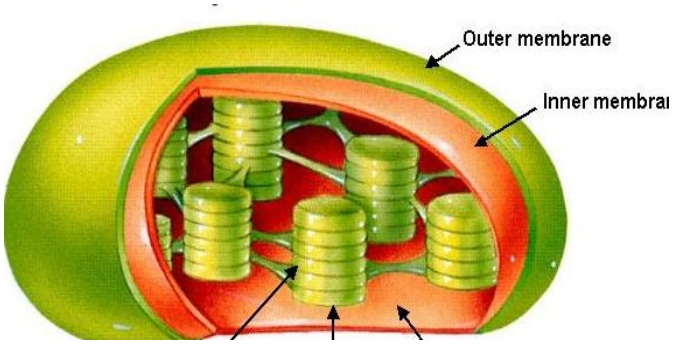
التركيب الضوئي Photosynthesis

تعد النباتات الخضراء ذاتية التغذية Autotrophic لإنها تصنع غذائها بنفسها من خلال تحويل ثاني اوكسيد الكربون اللاعضوي الموجود حولها الى مواد عضوية (سكريات ومشتقاتها) داخل البلاستيدات الخضراء بمساعدة الطاقة الضوئية وهي بذلك تختلف عن الحيوانات و الإنسان التي تعتمد في غذائها على المصادر الجاهزة للمواد الغذائية العضوية المجهزة من النبات ولهذا تسمى Heterotrophic .

لحدوث عملية التركيب الضوئي يجب توفر العناصر الأساسية المساهمة في انجازها والمتمثلة بالماء الذي يجهز من خلال القمة النامية للجذر (الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة المجاورة لها) بشكل أساس و/ أو من ما يمتصه الجزء الخضري بشكل ثانوي بالاضافة الى ثاني اوكسيد الكاربون الذي يجهز من المحيط الخارجي للنبات بشكل أساس و / أو من ما ينتجه النبات خلال عمليات التنفس الخلوي ثم البلاستيدات الخضراء والضوء . ولاجل فهم عملية التركيب الضوئي بشكل اوسع يجب دراسة و توضيح ما يلي :

أ - **البلاستيدة الخضراء (الكلوروبلاست):** عبارة عن جسيمة سايتوبلازمية تمثل المركز الذي تتم فيه عملية التركيب الضوئي . لقد كشف المجهر الالكتروني بان البلاستيدة الخضراء محاطة بزوج من الأغشية ينبعج الداخلي منها للداخل من عدة أماكن ليكون النظام الصفائحي للبلاستيدة و هو المسؤول عن تفاعلات الضوء(الكيموضوئية) و ذلك لاحتوائه على صبغات الكلوروفيل وأشباه الكاروتينات.





شكل (1) : اسر الضوء من قبل صفائح الكرانا في البلاستيدة الخضراء.

pace)

أو أكثر

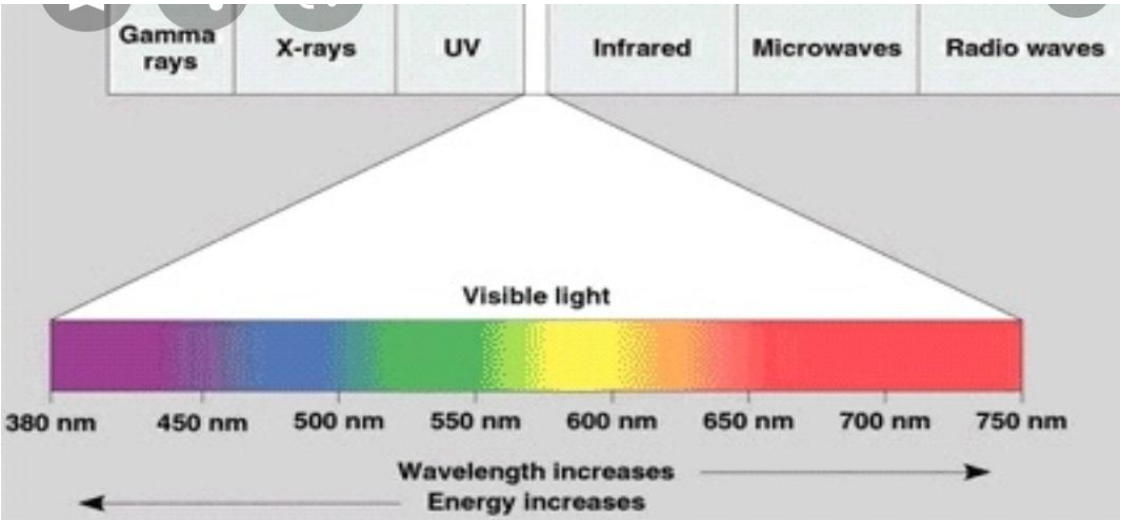
يتكون مايسمى بالبذيرة Grana (وهي جمع كلمة Granum) وعند امتداد احد الاكياس او الصفائح العائدة لبذيرة معينة خلال حشوة البلاستيدة واتصالها بكيس أو صفيحة أخرى تعود الى بذيرة ثانية يتكون ما يسمى بالصفيحة الحشوية Stromdl Lamella . فراغ البلاستيدة المسمى Stroma أو Matrix عبارة عن سائل ذات طبيعة غروية لاحتوائه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

ب- الضوء:

الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية 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 موجتها الضوئية.

يعتبر الاشعاع الشمسي جزء من الطيف الكهرومغناطيسي ويقسم حسب الطول الموجي الى عدة مناطق هي الاشعة الكونية ، اشعة كاما ، الاشعة السينية ، الاشعة فوق البنفسجية ، الاشعة الضوئية المرئية ، الاشعة تحت الحمراء ، الموجات الدقيقة وموجات الراديو(شكل 2) .

تتحسس النباتات للأشعة الضوئية المرئية (التي تراها عين الإنسان) وتستجيب لها علما بان الأشعة الضوئية المرئية (الطيف المرئي) يشتمل على الموجات الضوئية التي تتراوح أطوالها بين 400-700 مليمايكرون والتي تستطيع العين المجردة رؤيتها.



شكل (2) : اطوال موجات الأشعة الضوئية المرئية.

ج- الصبغات النباتية :

عبارة عن جزيئات كيمياوية تمتص نطاقات معينة من أطوال الموجات الضوئية وبكفاءة عالية و لا تمتص أطوال موجات أخرى ولهذا تظهر بألوان مختلفة علما بان الضوء الأبيض العادي هو خليط من الموجات كلها (بنفسجي ، ازرق ،اخضر ، اصفر ،برتقالي ،احمر، احمربعيد). أن امتصاص الطاقة الضوئية من قبل البلاستيدات الخضراء يتم بواسطة الصبغات Pigments التي تحتويها البلاستيدات والتي تصنف الى :

1- **الصبغات الرئيسية (الكلوروفيلات):**

يعتبر الكلوروفيل الصبغة الرئيسية التي تكسب الأوراق والسوق اللون الأخضر ويوجد منها عدة أنواع في المملكة النباتية لكن ما يوجد منها في النباتات الراقية هو صبغة كلوروفيل a ذات اللون الاخضر المزرق وصبغة كلوروفيل b ذات اللون الاخضر المصفر و تشكلان نسبة 65% من الصبغات الموجودة في البلاستيدات الخضراء.

تقوم صبغة كلوروفيل a بدور المستقبل الأخير للطاقة (الالكترونات) اذ ان الصبغات المساهمة باسر الطاقة والمتمثلة بصبغة كلوروفيل b ، الزانثوفيل والكاروتين تقوم بتحويل الطاقة المأسورة في نهاية الامر الى صبغة كلوروفيل a وان تاين صبغة كلوروفيل a (فقدانها للالكترونات)هو الذي يسبب انشطار (تحلل) الماء ضوئيا.

الكلوروفيل عموما غير قابل للذوبان في الماء ولكن يذوب في المذيبات العضوية مثل الكحول الاثيلي، الاسيتون ، الكلوروفورم وأثير البترول.

2- **الصبغات المساعدة (أشباه الكاروتينات):** تشمل الصبغات المساعدة كل من صبغة الكاروتين ذات اللون الأصفر- البرتقالي – الأحمر و صبغة الزانثوفيل ذات اللون الأسمر أو البني واللذان يشكلان نسبة 6 % و% 29 على التوالي من الصبغة الموجودة في البلاستيدة الخضراء.

وظائف اشباه الكاروتينات :

1- الألوان الزاهية التي تسببها اشباه الكاروتينات تعمل على جذب الحشرات الملقحة الى الازهار مما يعزز عملية التلقيح الخلطي للنبات .

2- الألوان الزاهية التي تسببها اشباه الكاروتينات تجذب الحيوانات والطيور لالتقاط الثمار وبذلك تعمل على نشر بذور النباتات.

3- وقاية الكلوروفيل من الاكسدة .

4- امتصاص الضوء الأزرق والبنفسجي ونقل طاقتهما الى كلوروفيل a أي انها تعمل كمحولات للطاقة.

5- حماية انزيمات الخلية من الأثر الضار للاشعة الضوئية ذات الموجات القصيرة حيث ان اشباه الكاروتينات تمتص الاشعة الزرقاء والبنفسجية وتنقا طاقتهما الى كلوروفيل b ومنه الى كلوروفيل a مسببة تاينه.

أن كل من الصبغات 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 تأثيراً على أحداث عملية التركيب الضوئي هي (الزرقاء – البنفسجية) و (البرتقالية – الحمراء) التي تمتص من قبل جزيئات كلوروفيل (a و b) بكفاءة عالية أما الموجات الضوئية الخضراء التي تقع ضمن المناطق الوسطى

للطيف المرئي فتمتص بصورة رئيسية من قبل أشباه الكاروتينات التي لا تمتلك القدرة على استخدام الطاقة الضوئية الممتصة من قبلها لذلك تحولها الى جزيئات الكلوروفيل لكي تستخدمها في عمليات التركيب الضوئي.

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

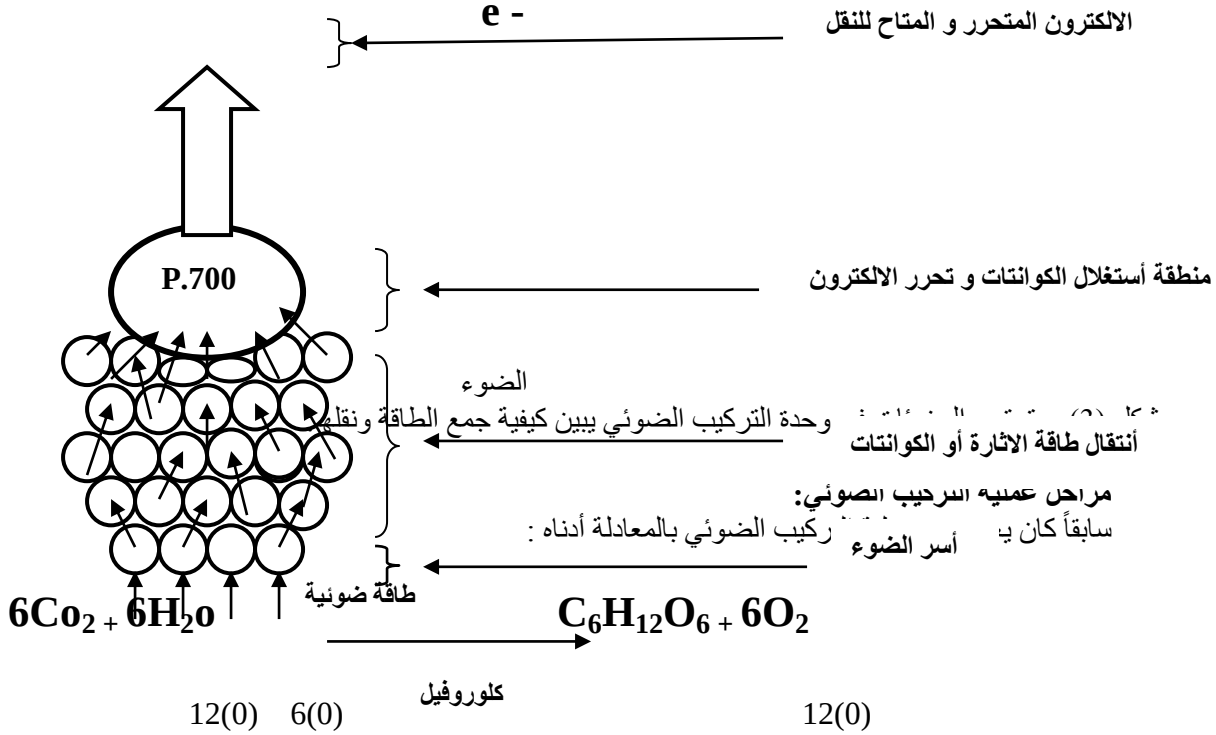
ج) لانها لا تملك القدرة على استخدام الطاقة الضوئية الممتصة من قبلها .

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 اذ ينتقل 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 (شكل 3).



وحدة التركيب الضوئي يبين كيفية جمع الطاقة ونقلها

مراحل عملية التركيب الضوئي:

سابقاً كان يـ ركيب الضوئي بالمعادلة أدناه :

لكن حديثاً ثبت عدم صحة هذه المعادلة لان بموجبها كان يعتقد بان مصدر O_2 الناتج من عملية التركيب الضوئي هو اما من Co_2 كلياً أو 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 بالشكل التالي:

$$6Co_2 + \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

$12H_2O$

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 مواد عضوية خاصةً وان التجارب قد أثبتت بان عملية التركيب الضوئي تحوي مرحلتين (ضوئية ولاضوئية) وهذا ماتؤكده الأدلة التالية :

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 والمتمثلة بتفاعل الماء مع ثاني أوكسيد الكربون.

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

C : هي نقطة انتهاء عملية التركيب الضوئي و تكون نواتجها 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 واطئ واقل من تحول B الى C. مما سبق يتضح بان التفاعل الأول (من A الى B) هو المحدد لمجمل تفاعلات التركيب الضوئي وهو تفاعل كيموضوئي أي يتطلب وجود الضوء لحدوثه بشكل أساسي.

ب - 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.

ج – تجارب اختزال Co_2:

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

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

أ- تفاعلات الضوء (التفاعلات الكيموضوئية) Photochemical reaction :

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

ب- تفاعلات الظلام (التفاعلات الكيموحرارية) 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: تفاعلات الضوء (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 تتحد مركبات ADP مع حامض الفسفوريك) . تسمى عملية دخول الفسفور برابطة غنية بالطاقة فسفرة ولان هذه التفاعلات تحدث تحت تأثير الضوء فتسمى فسفرة ضوئية وأول من ذكر الفسفرة الضوئية Photophosphorylation هو الباحث Arnon عام 1954 حيث بين من خلال تجاربه مقدرة البلاستيدات الخضراء المعزولة من النبات والمعرضة للضوء على تكوين مركب ATP الغني بالطاقة وبهذا اثبت بان المايتوكوندريا ليست هي الجزء الوحيد في الخلية الذي ينتج الطاقة.

نواتج تفاعلات الضوء هي:

أ- ATP (2) .

ب- $NADPH_2$(2).

فوائدها: تستخدم كمفتاح لتفاعلات الظلام لاحقاً.

ثانياً: التفاعلات الكيموحرارية (تفاعلات الظلام) :

تسمى أيضا بتفاعلات تثبيت واختزال Co_2 . تبين من خلال التجارب بان Co_2 يتحد مع مركب خماسي ذرات الكاربون يعرف برايبيلوز ثنائي الفوسفات Ribulose 1,5 diphophate ويرمز له rudp وذلك بمساعدة انزيم Ribulose diphophate carboxylase ويرمز له rudp carboxylase ليكون مركباً وسطي غير مستقر سرعان مايتحول الى جزيئتين من حامض الكليسريك المفسفر Phosphoglyceric 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 $NADPH_2$

العوامل المؤثرة على معدل التركيب الضوئي: د. مها

أ - العوامل الخارجية :

1- تركيز ثاني أوكسيد الكاربون: تتناسب تناسباً طردياً ضمن مدى معين.

2 - شدة الضوء: أفضلها 1000 شمعة/قدم و لنباتات الظل 100 شمعة/قدم.

3 - درجة الحرارة: حسب النوع النباتي.

4 - تركيز الاوكسجين: يتناسب تناسباً عكسياً.

5 - توفر الماء: يعتبر الماء المصدر الوحيد للألكترونات المنبعثة أثناء التفاعلات الضوئية. وتأثيره غير المباشر على انسداد الثغور. وبالتالي على عملية التبادل الغازي.

6 - العناصر الغذائية خاصة ++Mg، ++Fe، +++Fe، ++Mn، P :

Mg: يدخل في تركيب جزيئة الكلوروفيل.

Mn: عنصر أساسي أثناء انشطار الماء ضوئياً.

Fe: يدخل في تركيب النواقل الالكترونية كالسايتوكرومات، والفريدوكسين.

P: يتحد مع ADP لتكوين جزيئة ATP في التفاعلات الضوئية.

ب- العوامل الداخلية

1- الأنزيمات : تتوقف عملية البناء الضوئي على توفر الأنزيمات الخاصة بها و وكفاءتها وحدوث أي خلل بها يؤدي إلى التأثير على معدل العملية .

2- تركيب الورقة الداخلي : تتوقف كفاءة عملية البناء الضوئي على التركيب الداخلي للورقة والذي يختلف في ذوات الفلقة عن ذوات الفلقتين.

3- تراكم المنتجات : إن تراكم المنتجات الكربوهيدريتية الناتجة من عملية البناء الضوئي في الأوراق يؤدي إلى بطء العملية.

س : ماهو الفرق بين تفاعلات الضوء والظلام .

الضوء	الظلام

1- تحتاج الى وجود الضوء .	1- لا 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 لا تؤثر 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- لا تحدث .
10- تفاعلات كيموضوئية .	10- تفاعلات كيموحرارية .

س: ماهي اعضاء الخلية المنتجة للطاقة ؟ البلاستيدة الخضراء + المايتوكندريا .
س: ماهي نواتج تفاعلات الضوء وماهي اهميتها ؟

شكل (8-4): قطاع عرضي يبين التركيب الدقيق للورقة، والبلاستيدة.

التنفس Respiration

راجع : جندية ص39 و بإصلاح 398

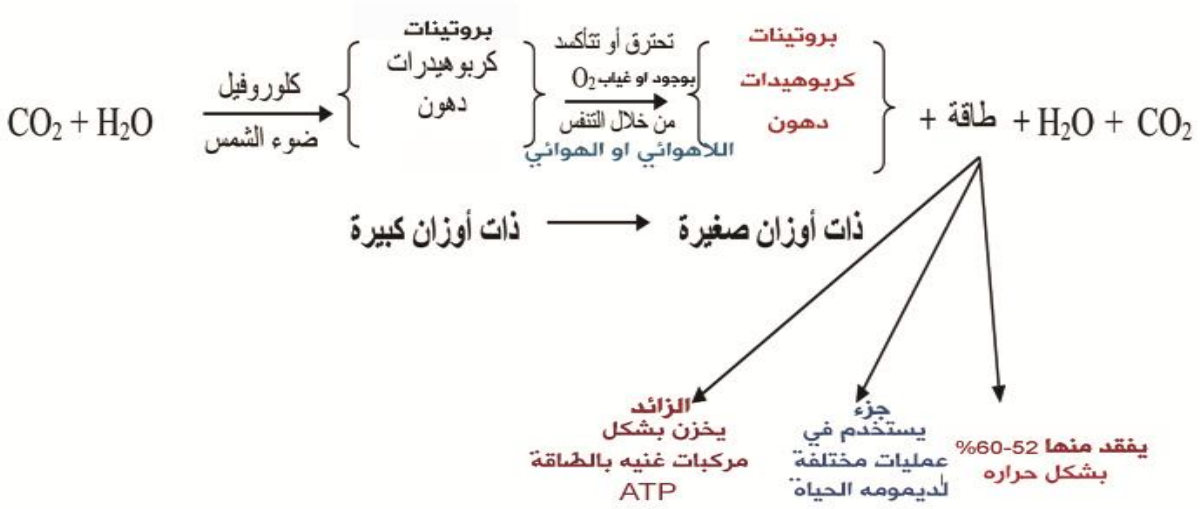
عملية التنفس عبارة عن عملية أكسدة واختزال تحدث في الخلايا الحية للنباتات والحيوانات يتم بموجبها اخذ الاوكسجين وتحرير ثاني أوكسيد الكربون بحجوم متساوية تقريبا .

كما هو معروف تقوم النباتات خلال عملية التركيب الضوئي بامتصاص الطاقة الشمسية بواسطة البلاستيدات وتحولها الى طاقة كيمياوية كامنة (مخزونة) في روابط كيمياوية داخل المركبات العضوية الناتجة (الكربوهيدرات ، البروتينات والدهون) من عملية التركيب الضوئي.

خلال عملية التنفس تتاكسد (تتحطم او تتكسر او تتحلل) المواد العضوية الناتجة من عملية التركيب الضوئي الى ثاني أوكسيد الكربون وماء وتنطلق الطاقة الكامنة فيها على شكل طاقة نشطة يستخدمها النبات في انجاز فعالياته والحفاظ على حياته . من جهة أخرى يوجد كائنات دقيقة مثل بعض الخمائر او البكتريا تستطيع التنفس لاهوائيا (من دون الحاجة الى الاوكسجين).

تجري عمليات التنفس والتركيب الضوئي في جميع النباتات . على الرغم من ان عملية التنفس يمكن ان تحدث في الضوء والظلام وفي جميع الخلايا الحية في حين تحدث عملية التركيب الضوئي في الخلايا الحية الحاوية على بلاستيدات خضراء فقط وبشرط وجود الضوء لكن يلاحظ تفوق معدل عملية التركيب الضوئي على معدل عملية التنفس وبالتالي بقاء النبات على قيد الحياة .

بينت الدراسات بان العلاقة بين عملية التركيب الضوئي البنائية (الاختزالية) وعملية التنفس الهدمية (التاكسدية) وثيقة وهي علاقة تكامل (شكل 1) .



الشكل(1) : العلاقة بين عملية التنفس والتركيب الضوئي.

خلال عملية التنفس تتاكسد المواد العضوية كالكربوهيدرات والبروتينات والدهون لكن يلاحظ بان اكسدة سكر الكلوكوز والاحماض العضوية هي الاكثر وذلك لتوفرها في النبات بكميات كبيرة ولفترات طويلة مقارنتا مع بقية المواد العضوية الاخرى اذ يمثل سكر الكلوكوز ناتج عملية التركيب الضوئي في حين تمثل الاحماض العضوية واحدة من اكبر نواتج دورة كلابس خلال عملية التنفس وعلى هذا يمكن سلسلة المواد المتاكسدة خلال عملية التنفس من الاسهل الى الأصعب تقبلا من قبل النبات الى :

1- الكربوهيدرات (نشأ أو سكريات) بسبب توفرها في النبات بكميات كبيرة نتيجة قيامه بعملية التركيب الضوئي يوميا بالإضافة الى كونها اكثر جاهزية للاحتراق من المواد العضوية الاخرى.

2- الحوامض العضوية بسبب توفرها بكميات كبيرة في النبات نتيجة قيامه بعملية التنفس وحدوث دورة كربس باستمرار هذا بالإضافة الى انها اكثر جاهزية من البروتينات والدهون.

3- البروتينات بسبب قلة جاهزيتها في النبات مقارنتا مع الكربوهيدرات و الأحماض العضوية وسهولة تقبلها من قبل النبات مقارنة مع الدهون.

4- الدهون بسبب قلة جاهزيتها في النبات مقارنتا مع الكربوهيدرات و الأحماض العضوية بالإضافة الى تعقيد تركيبها وصعوبة حرقها مقارنة مع المواد العضوية الاخرى.

س/ ما هي المواد المتأسدة خلال عملية التنفس؟ سلسلها حسب درجة تقبلها من قبل النبات من الأسهل نحو الأصعب مبيناً السبب؟

يمكن التعبير عن عملية التنفس بالمعادلة التالية على أساس ان سكر الكلوكوز هو المادة الأساسية التي تتاكسد خلال عملية التنفس .

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

ان المعادلة أعلاه تعطي صورة عامة عن عملية التنفس لكنها لا تعكس ما يحدث خلالها من تفاعلات متعددة خاصتا وان الباحثين قد صنفوا عملية التنفس على انها واحدة من اعقد العمليات الحيوية الدائرة في النبات ولا يمكن التعبير عنها بمعادلة واحدة كونها تشمل عدة تفاعلات معقدة منها مايلي:

1- امتصاص الأوكسجين .

2- أكسدة (حرق او هدم)المركبات الغذائية العضوية المعقدة الموجودة في النبات إلى مركبات ابسط منها تركيباً.

3- تكوين بعض المركبات الوسطية الضرورية لسير العمليات الحيوية الأخرى الجارية في النبات .

4- تحرير ثاني اوكسيد الكاربون والماء والطاقة .

5- تسبب عملية التنفس قلة وزن النبات نتيجة أكسدة (حرق او هدم) المواد الغذائية التي يحويها النبات.

مصير الطاقة الناتجة من عملية التنفس:

أ- يفقد جزء منها (% 60± 52) بشكل حرارة .

ب- جزء يستخدم في العديد من العمليات الحيوية من أجل ديمومة حياة النبات منها:

1- بناء الهيكل الكربوني للنبات.

2- تكوين 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.

5 – انقسام الخلايا واستطالتها ثم تمايزها لايداء وظائف معينة.

6- نقل المعلومات الوراثية من جيل الى اخر.

ج- المتبقي يخزن بشكل أواصر غنية بالطاقة ATP.

أهمية التنفس :

1- تحرير الطاقة الكامنة من المواد الغذائية من اجل استغلالها لانجاز العمليات الحيوية في النبات.

2- تكوين المركبات الحيوية الضرورية لبناء مكونات الخلية وما يتبعها من نمو خضري وتكاثري للنبات.

3- تحرير ثاني اوكسيد الكاربون الذي يحافظ على دورة الكاربون في الطبيعة.

يمكن الحصول على أعلى قدر من الطاقة (686 كيلو سعرة) عندما تحدث عملية التنفس بوجود الأوكسجين ويدعى التنفس بألتنفس الهوائي Aerobic respiration وتكون النواتج ثاني اوكسيد الكاربون ، ماء وطاقة لحصول الاحتراق التام للمواد الداخلة في التنفس.

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

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 اثيلي وثاني أوكسيد الكربون وذلك لعدم حصول الاحتراق التام للمواد الداخلة في التنفس.

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

كحول اثيلي

ميكانيكية التنفس (مراحل التنفس):

عندما يمتص النبات الأوكسجين فأن الأوكسجين يشترك في أكسدة (حرق او هدم) المواد العضوية المعقدة الموجودة في النبات محولا إياها إلى ثاني اوكسيد الكاربون وبخار الماء مع تحرير طاقة والحقيقة أن الأكسدة لا تتم في خطوة واحدة بل خلال سلسلة من التفاعلات الفسيولوجية المنظمة والمتكاملة مع بعضها البعض . ولسهولة دراسة وفهم عملية التنفس يقسم الباحثين تفاعلاته إلى مرحلتين أساسيتين هما:

أ – المرحلة غير الهوائية Anaerobic respiration

هي مجموعة تفاعلات غير هوائية تبدأ بالسكر عادتا (الكلوكوز أو الفركتوز أو السكروز) أو النشأ وتنتهي بتكوين حامض البايروفيك Pyruvate وتسمى بالتحلل السكري Glycolysis وتتميز بما يلي :

1- يتم خلالها هدم سكر الكلوكوز عادتا إلى جزيئتين من مركب ثلاثي ذرات الكربون هو حامض البايروفيك Pyruvate .

2- عدم تطلبها للأوكسجين (على الرغم من أن عدم احتياج الأوكسجين هو غير دقيق وليس دائماً).

3- تحدث في السايتوبلازم أو قد تحدث في غشاء البلازما.

4- تأكسد (الكربوهيدرات ، الأحماض العضوية ، البروتينات او الدهون) خلالها يكون غير كامل.

5- يتحرر خلالها قدر قليل من الطاقة بشكل ATP (2ATP).

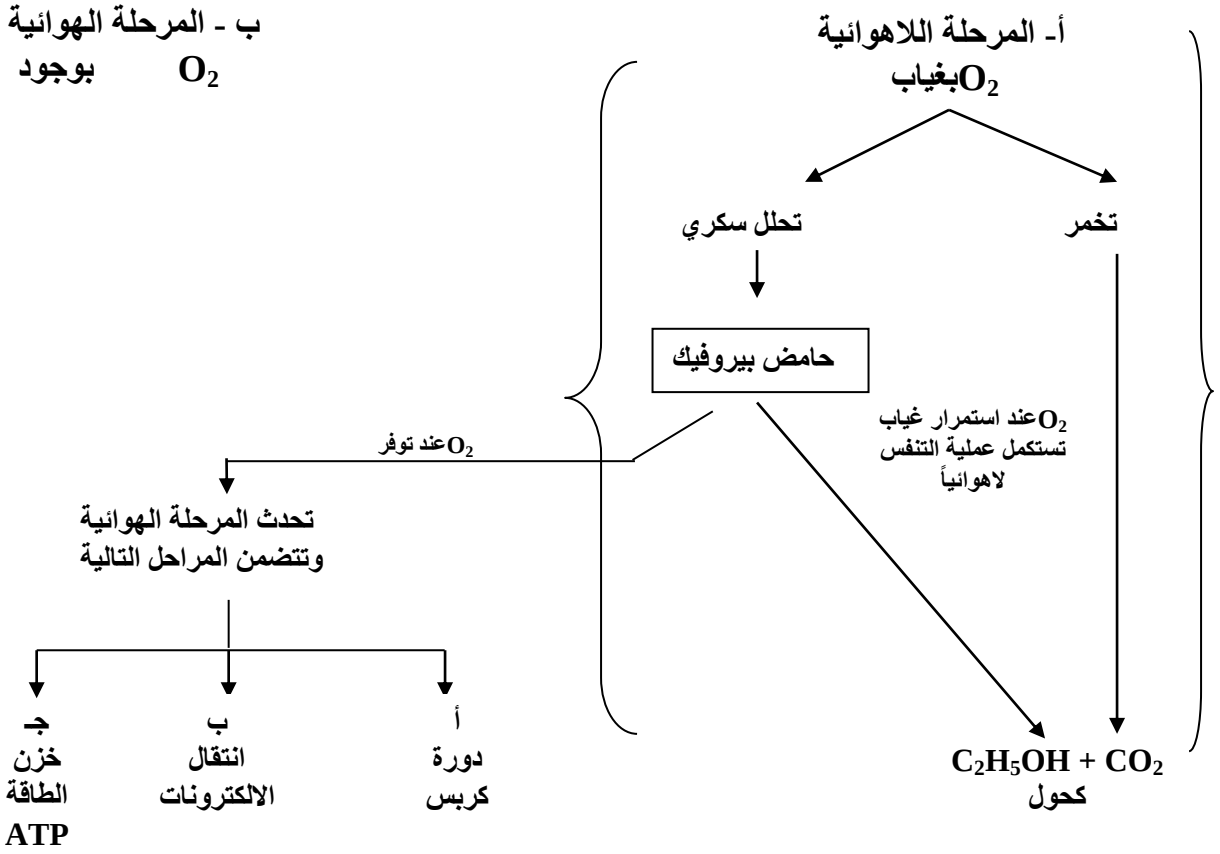
6- في حالة استمرار غياب الاوكسجين بعد تكون حامض البيروفك تستمر عملية التنفس لاهوائيا وتنتهي بتكوين الكحول الاثيلي وثاني أوكسيد الكربون مما يسبب تسمم النبات.

في بعض الحالات النادرة يغيب الاوكسجين بالكامل وفي أخرى لا تتوفر الكميات المناسبة منه لحدوث عملية التنفس الهوائي كما هو الحال في بذور بعض أنواع النباتات التي تمتلك أغلفة صلبة تمنع التبادل الغازي او زراعة البذور على أعماق كبيرة في التربة او في حالة غمر جذور النباتات في الترب المشبعة بالماء لذا تحدث عملية التنفس لاهوائيا بالكامل وتتحول المواد المتفاعلة الى الكحول الاثيلي وثاني أوكسيد الكربون اما بشكل مباشر او بشكل غير مباشر وذلك من خلال حدوث احد التفاعلات التالية :

أ-التحلل السكري : يحدث التحلل السكري بغياب الاوكسجين وعادتا ينتهي بتكوين حامض البيروفك لكن عند استمرار غياب الاوكسجين يتحول حامض البيروفك الى الكحول الاثيلي C_2H_5OH و ثاني أوكسيد الكربون CO_2.

ب-التخمر الكحولي : يحدث التخمر الكحولي وينتهي بغياب الاوكسجين وتكون نواتجه كلا من الكحول الاثيلي C_2H_5OH و ثاني أوكسيد الكربون CO_2 .

عموما يمكن تقسيم عملية التنفس الى مرحلتين الأولى لا هوائية والثانية هوائية (شكل 2) .



شكل (2): ميكانيكية التنفس (مراحل التنفس).

ب – المرحلة الهوائية Aerobic respiration:

تمتاز هذه المرحلة من التنفس بمايلي :

1- يتم خلالها تأكسد حامض البيروفيك Pyruvate الناتج من المرحلة السابقة (اللاهوائية) إلى ثاني اوكسيد الكربون وماء (الشكل 2) .

2- تتطلب وجود الأوكسجين .

3- تحدث في المايتوكوندريا .

4- يحدث خلالها تأكسد المواد الغذائية (الكربوهيدرات أو الأحماض العضوية.....إلخ) بصورة كاملة الى ثاني أوكسيد الكاربون وماء وطاقة.

5- تحرر طاقة بشكل ATP بنسبة أكثر من السابقة (34 ATP) .

6- نواتجها غير سامة.

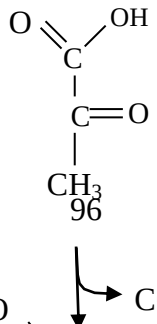
7- تتضمن هذه المرحلة ثلاثة مجاميع رئيسية من التفاعلات هي:

أ- دورة كربس Krebs cycle:

وفيها يتهدم حامض البيروفيك Pyruvate كليا داخل الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا من خلال سلسلة تفاعلات تبدأ بانتزاع مجموعة الكربوكسيل COOH من حامض البايروفيك Pyruvate وتحويل ما تبقى منه إلى مركب ثنائي ذرات الكاربون يسمى خلات قرين الانزيم Acetyl CoA . بعدها يتحد مركب Acetyl CoA مع حامض اوكزالوخليك Oxaloacetate وهو حامض رباعي الكاربون ليتكون حامض سداسي الكاربون هو حامض الستريك Citrate وتستمر التفاعلات بشكل دائرة مقفلة (الشكل 3) علماً بأن حدوث هذه الدورة يتكرر عدة مرات من أجل إنتاج المزيد من الطاقة .

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 كما يطلق عليها ايضاً اسم دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (T.C.A) بسبب احتوائها على بعض الحوامض العضوية ذات ثلاث مجاميع كاربوكسيلية.

ان حصيلة اكسدة حامض البيروفك(البيروفات) في دورة كربس هي انتاج ثلاث جزيئات من CO_2 واربع جزيئات من NADH وجزيء واحد من $FADH_2$ فضلا عن انتاج جزيء واحد من ATP .



Pyruvic acid (3C) حامض البيروفيك

Acetyl CoA (2C) مركب ذو طاقة شديدة الفعالية

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

الشكل(3) : دورة كريبس Kreb´s Cycle

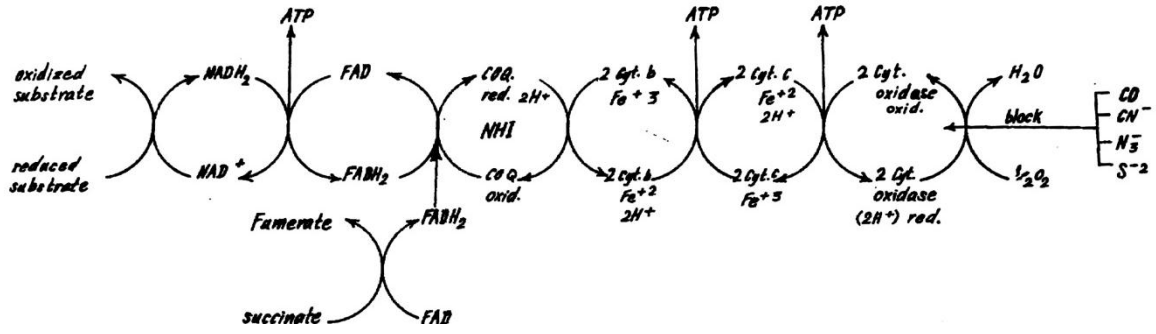
ب- سلسلة انتقال الالكترونات Electron transport chain:

أن ذرات الهيدروجين الموجودة في المستقبلات الهيدروجينية $NADH_2$ و $FADH_2$ (المواد المختزلة) الناتجة من التحلل السكري ودورة كربس لا تستطيع الاتحاد مباشرة مع الأوكسجين وتكوين الماء الا بعد أن تمر بسلسلة من التفاعلات تسمى سلسلة انتقال الالكترونات(شكل 4). تنتقل خلالها الالكترونات من المواد ذات الطاقة الاختزالية الواطئة إلى المواد ذات الطاقة الاختزالية العالية أي العالية الألفة لكسب الالكترونات مثل الأوكسجين . تسمى هذه التفاعلات أيضا باسم نظام السايتوكروم Cytochromes system لقيام السايتوكرومات بنقل الالكترونات أو بإسم السلسلة التنفسية Respiratory chain لاشتراك الأوكسجين في اخذ الالكترونات من المركبات المختزلة.

جـ- إنتاج الطاقة بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation:

أن التفاعلات الخاصة بسلسلة انتقال الالكترونات وإنتاج الطاقة متصلة اتصالاً وثيقاً مع دورة كريبس لكونها تحدث في المايتوكوندريا وتحتاج إلى وجود الأوكسجين حالها حال دورة كريبس .

ان انتاج الطاقة خلال عملية الفسفرة التاكسدية يتصاحب مع سلسلة انتقال الالكترونات وخلالها يتم تخزين الطاقة المتحررة من عملية التنفس بشكل مركبات غنية بالطاقة ATP (شكل 4). اذ يحدث تكوين ATP جراء انتقال الالكترونات بين المستقبلات الهيدروجينية NADH و $FADH_2$ التي تكونت أثناء عملية التحلل السكري ودورة كريبس وأثناء ذلك تتحول طاقة الالكترونات إلى طاقة كيمياوية بشكل ATP .



بينت الدراسات بان الالكترونات المنطلقة من أكسدة NADH إلى NAD تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين جزيئتين ATP خلال التحلل السكري وثلاث جزيئات ATP خلال انتقال الالكترونات وإنتاج الطاقة و ان الالكترونات المنطلقة من أكسدة $FADH_2$ إلى FAD تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين جزيئتين من ATP.

يتضح من الجدول (1) أن أكسدة جزيىء سكر كلوكوز اكسدة كاملة الى ثاني أوكسيد الكربون وماء خلال مرحلة التنفس الهوائي تنتج عشرة جزيئات NADH وجزيئين $FADH_2$ واربعة جزيئات ATP وعند الاخذ بالاعتبار ان تأكسد NADH إلى NAD تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين جزيئتين ATP خلال التحلل السكري وثلاث جزيئات ATP خلال انتقال الالكترونات وإنتاج الطاقة و تأكسد $FADH_2$ إلى FAD ينتج جزيئتين منATP في نظام نقل الالكترونات في اغشية المايتوكندريا لذلك يكون الناتج الصافي من الطاقة لعملية التنفس الهوائي هو36ATP.

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

الخطــوة	NADH	$FADH_2$	ATP	صافي ATP
التحلل السكري (الكلوكوز) تحول البيروفيك الى خلات دورة كريبس	2 2 6	صفر صفر 2	2 صفر 2	6 6 24
المجموع	10	2	4	36

ملاحظة:

1- تأكسد NADH إلى NAD خلال التحلل السكري تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين جزيئتين ATP.

2- تأكسد NADH إلى NAD خلال دورة كربس و انتقال الالكترونات وإنتاج الطاقة تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين ثلاث جزيئات ATP.

3- تأكسد $FADH_2$ إلى FAD يفقد مقدار من الطاقة يكفي لتكوين جزيئتين من ATP.

العوامل المؤثرة على عملية التنفس : **راجع وصفي 1998 حتما ص55(505)+جندية ص 40**

1- **التجويع** : النباتات المجوعة تمتلك مخزوناً منخفضاً من النشأ والسكر لذلك تتنفس بمعدل واطئ نسبياً فاذا ماقل مخزون الخلايا من الكاربوهيرات فأن الخلايا النباتية تبدأ بأكسدة المواد البروتينية وتحللها الى الحوامض الامينية والتي تتحول فيما بعد الى المركبات المكونة لدورة كريبس والتخمر واذا

مااستمر نقص المواد الكاربوهيراتية 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 – 30 م) 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 . اذ ان التأكسد السريع لهذا المركب يؤدي الى امتصاص الاوكسجين و تحرير CO_2.

5- **المحتوى المائي للخلية:** تحت ظروف قلة الرطوبة تنخفض عملية التنفس وبعض الفعاليات الحيوية الاخرى الى الحد الادنى ولكنها تستهلك كمية قليلة من الاوكسجين وتحرر كمية قليلة من ثاني أوكسيد الكربون وكمية صغيرة من الطاقة . ان الطاقة المتحررة تكون ضرورية للابقاء على حيوية البروتوبلازم لخلايا البذرة هذا ما يحدث 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:** الاوكسجين ضروري للمرحلتين الاخيرتين من مراحل التنفس التي يحدث خلالها تكون 95 ٪ تقريباً من الطاقة ATP لهذا فان قلة أو عدم توفر الاوكسجين يؤدي الى توجه النسيج النباتي للقيام بعملية التخمر والتي يكون مردودها من الطاقة ATP اقل بكثير من التنفس الهوائي .

س : ماهو الفرق ما 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 36 ATP	أثناء تكون مول واحد من الكلوكوز تتطلب 18 ATP

س: ماهو الفرق ما بين الفسفرة التأكسدية والفسفرة الضوئية؟ فسلجة العناصر الغذائية في النبات ص257 –268

ت	الفسفرة التأكسدية	ت	الفسفرة الضوئية
1	مرحلة من مراحل عملية التنفس .	1	مرحلة من مراحل عملية التركيب الضوئي.
2	تحدث في المايتوكوندريا.	2	تحدث في أغشية الكرانا grana للبلاستيدة الخضراء.
3	تتم ليلا ونهارا .	3	تتم في النهار فقط .
4	مصدر الالكترونات هو المواد المختزلة.	4	مصدر الالكترونات هو الماء.
5	يتكون فيها الماء.	5	تستهلك الماء .

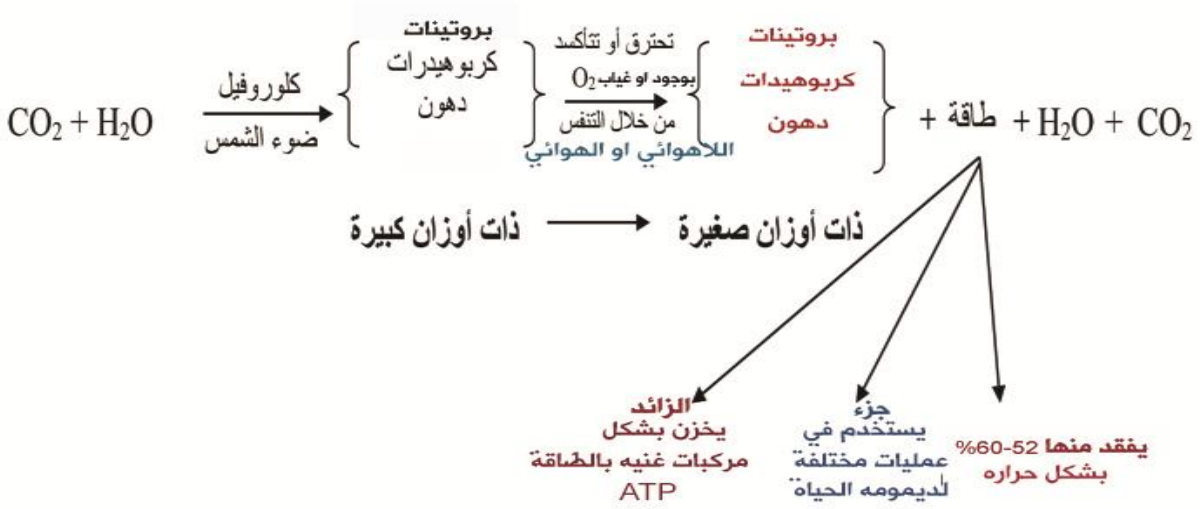
ملاحظات عامة عن التنفس للاطلاع

عملية التنفس عبارة عن عملية أكسدة يتم بموجبها تبادل الاوكسجين و ثاني أوكسيد الكربون مع بعضها من خلال ثغور الاوراق علما بان كل عملية اكسدة يقابلها عملية اختزال .

يحدث خلال عملية الاكسدة فقدان (ازالة) الالكترونات من المركب وهي ترافق فقدان الهيدروجين من المركب في حين يحدث خلال عملية الاختزال إضافة الالكترونات الى المركب وهي ترافق اضافة الهيدروجين الى المركب .

تتكون عملية التنفس من عمليات اكسدة واختزال ويقصد بعملية الاكسدة إزالة الكترونات من المركب وهي ترافق إزالة الهيدروجين من المركب فمثلا يتاكسد المركب NADH الى NAD في حين يقصد بعملية الاختزال إضافة الكترونات الى المركب وهي ترافق إضافة الهيدروجين الى المركب فمثلا يختزل المركب NAD الى NADH .

س/ علل/ (ناقش) يمكن اعتبار عملية التنفس مكملة لعملية التركيب الضوئي.



س: علل/ (ناقش) لا يمكن اعتبار عملية التنفس معكوس لعملية التركيب الضوئي .

ج

1- لأن موقع التفاعلات مختلف بالنسبة للاثنين .

2- لأن مواد التفاعل هي مختلفة بالنسبة للاثنين .