المحاضرة الأولى : فسلجة النبات

Prof. Dr. Majid A. Ibrahim

المصادر : -

1. مقدمة (فسلجة النبات) ، 1985 ، تأليف يعقوب ليفيت ، ترجمة د. عاصم محمود حسين .
2. الفسلجة النباتية ، 1987 ، الجزء الأول ، تأليف د. عبد الهادي جواد الريّس و د. عبد العظيم كاظم .
3. فسلجة النبات ، 1987 ، الجزء الثاني ، تأليف د. عبد العظيم كاظم و د. عبد الهادي جواد الريّس .
4. البناء الضوئي ، 1983 ، تأليف د. عبد المطلب سيد محمد .
5. فسلجة النباتات الزهرية ، 1984 ، تأليف هـ . أ . ستريت و هـ . أوبيك ، ترجمة هيبت فائق المدرس و فائزة عزيز محمود العلي .
6. فسلجة النبات العملي ، 1980 ، تأليف د. حسين علي السعدي و السيد عبد الله حمد الموسوي .

تعريف علم فسلجة النبات Plant physiology :

هو العلم الذي يهتم بدراسة وظائف أعضاء النبات ويحاول تفسير جميع النشاطات الحيوية التي تحدث في النبات بأسس فيزيائية وكيميائية .ويرتبط هذا العلم بعلوم أخرى مثل علم النبات وعلم تشريح النبات وعلم الكيمياء الحيوية للنبات وعلم أمراض النبات وعلوم الفيزياء الحيوية .

المحاليل و الأنظمة الغروية Solutions & Colloidal systems :

المحلول :

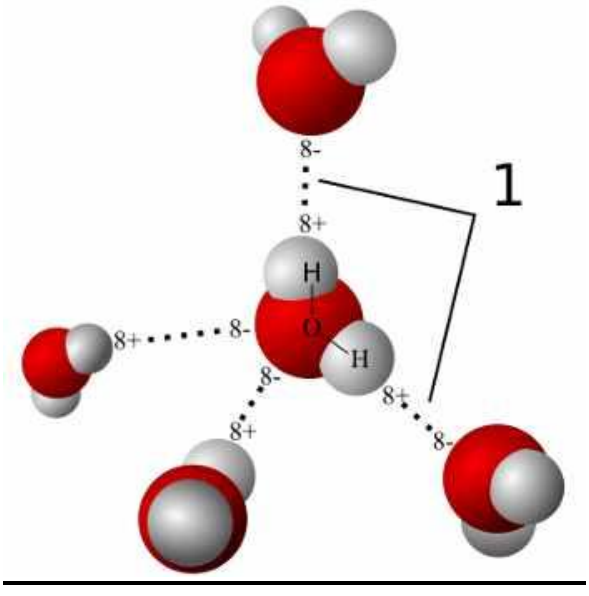
هو عبارة عن خليط من مادتين أو أكثر وبنسب مختلفة تسمى احد مكوناته بالمذاب Solute منتشر في المادة الأخرى التي تسمى المذيب Solvent .

تعتبر المحاليل التي يكون فيها المذيب سائل بالغة الأهمية بالنسبة إلى الكائنات الحية ، وان الماء هو أكثر أنواع المذيبات شيوعا وأهمية بالنسبة إلى الأحياء وذلك :

1. أن الماء يشكل حوالي أكثر من 80 % من الوزن الطري للخلايا النباتية النشطة فسلجيا . وقد تصل نسبته في أنسجة ثمار الرقي إلى 99.65 % .
2. تمتلك جزيئات الماء قوة تماسك كبيرة فيما بينها . ويرجع سبب ذلك إلى الأواصر الهيدروجينية التي تربط جزيئات الماء مع بعضها ، من خلال ارتباط ذرة الهيدروجين لجزيئة ماء مع ذرة أوكسجين لجزيئة ماء بآصرة هيدروجينية بسبب أن الكتروني ذرتي الهيدروجين لجزيئة الماء تميل إلى الاقتراب من ذرة

الأوكسجين في نفس جزيئة الماء هذه بحيث تبدو ذرتي الهيدروجين كأنها بروتونين عاريين ، مما يعطي جزيئة الماء من جهة ذرتي الهيدروجين شحنة موجبة والجهة الأخرى شحنة سالبة من جهة ذرة الأوكسجين لنفس جزيئة الماء وهذا بدوره يؤدي إلى ارتباط جزيئات الماء مع بعضها بأواصر هيدروجينية من خلال ارتباط كل ذرة هيدروجين لجزيئة ماء بذرة أوكسجين لجزيئة ماء أخرى .

3. بسبب امتلاك الماء الخاصية القطبية Polar تكون له القابلية على الادمصاص على سطوح عدد كبير من المواد وبالتالي ترطيبها كالنشأ والبروتين في الأنسجة الحية .
4. يذيب الماء عدد كبير من المواد بالمقارنة مع المذيبات الأخرى.
5. يعتبر الماء خامل من ناحية التفاعلات الكيميائية وهذا يوفر له خاصية باعتباره وسط جيد لحدوث التفاعلات الكيميائية في الخلايا الحية .
6. كما يعتبر الماء مادة تفاعل مهمة في بعض التفاعلات الكيميائية ومن أبرزها تفاعل هل في عملية البناء الضوئي Photosynthesis ، حيث يكون الماء كمصدر للأوكسجين الناتج من تلك العملية .
7. يعتبر الماء وسط مهم لنقل الذائبات مثل الأملاح المعدنية التي يمتصها من التربة عن طريق الجذور وإيصالها إلى كل أجزاء النبات عبر نسيج الخشب ، كما يقوم بنقل الذائبات مثل الغذاء المصنّع بالأوراق بعملية البناء الضوئي إلى بقية أجزاء النبات الأخرى .
8. أن الماء له دور كبير ومهم في تنظيم درجة حرارة النبات عن طريق عملية النتح Transpiration .



أنواع المحاليل :-

1. المحلول الحقيقي True solution :

أن انتشار المادة المذابة بشكل جزيئات أو ايونات بين جزيئات المذيب يؤدي إلى تكوين خليط متجانس يسمى بالمحلول الحقيقي .مثل ذوبان السكر أو الملح بالماء .

2. المعلّق Suspension :

عند انتشار دقائق كبيرة يمكن رؤيتها بسهولة في مادة أخرى وان هذه الدقائق لا تتجزأ إلى جزيئات بل تكون عالقة بين جزيئات المادة لوسط الانتشار فان هذه الدقائق الكبيرة غير الثابتة سرعان ما تترسب و تنفصل عن مكونات المحلول فيسمى هذا الخليط بالمعلّق . مثل مزج كمية قليلة من السلت مع كمية من الماء .

3. المستحلب Emulsion :

عند خلط أو مزج سائلين لا يمتزجان مع بعضهما كالماء والزيت عن طريق الرج يتكوّن المستحلب و ينفصل هذا المستحلب إلى طبقتين مرة أخرى بعد فترة قصيرة أذا لم تضاف مادة أخرى تؤدي إلى تكسير جزيئات الزيت وانتشارها في الماء مثل هيدروكسيد الصوديوم .

4. المحاليل الغروية Colloidal solution :

وهي المحاليل التي تمتلك خواص وسط بين المحاليل الحقيقية والمعلّقة ، وهي عبارة عن دقائق منتشرة خلال جزيئات المذيب وهي لا تترسب كما في المحلول المعلّق .

يتكون المحلول الغروي من طورين الأول يسمى الطور المستمر Continuous phase ويطلق عليه وسط الانتشار Dispersion medium والثاني يسمى بالطور غير المستمر Discontinuous phase والذي يطلق عليه الوسط المنتشر Dispersed medium ، أي أن الوسط المنتشر هو عبارة عن حبيبات منتشرة يفصلها عن بعضها البعض دقائق وسط الانتشار .

تقسم المحاليل الغروية إلى قسمين هما :

أ. غرويات كارهة لوسط الانتشار Lyophilic colloids :

وهي المحاليل الغروية التي يوجد فيها تنافر بين دقائق وسط الانتشار ودقائق الوسط المنتشر .وتعتبر هذه الغرويات عبارة عن مركبات ذات طبيعة لاعضوية .مثل إضافة محلول مركز من كلوريد الحديديك إلى الماء يكون محلول غروي ذو لون احمر غامق من هيدروكسيد الحديديك .

ب. غرويات محبة لوسط الانتشار Lyophobic colloids :

وهي الغرويات التي يوجد فيها تجاذب بين دقائق الوسط المنتشر ودقائق وسط الانتشار. فإذا كان وسط الانتشار هو الماء فتسمى غرويات محبة للماء فعند إضافة النشأ أو الجيلاتين أو الاكار إلى الماء الحار فان كميات كبيرة من جزيئات الماء تدمص حول المواد المذكورة أعلاه وتكوين أغشية تغلف الحبيبات المنتشرة . وتمتاز الغرويات المحبة لوسط الانتشار بقدرة معظمها على التحوّل من الحالة ذات صفة السيولة Sol إلى حالة الصلابة Gel ويمكن اعادتة إلى حالة السيولة مرة أخرى بالتسخين .وتسمى هذه الظاهرة بانعكاس الأطوار Sol-Gel system أي يصبح وسط الانتشار وسط منتشر والوسط المنتشر وسط انتشار. مثلا عند إضافة قطعة من الجيلاتين إلى ماء ساخن يتكون سائل هلامي غروي يكون فيه الماء هو وسط الانتشار لسهولة حركة جزيئاته بين دقائق الجيلاتين المغلفة بجزيئات الماء . عندما يبرد المحلول الغروي يتحول من السيولة إلى الصلابة مما يؤدي إلى تقيد جزيئات الماء نتيجة لتقارب دقائق الجلاتين مع بعضها ويتحول الماء إلى وسط منتشر نتيجة لتقيد حركة جزيئاته .

المحاضرة الثانية : فسلجة نبات :

الجدول التالي يوضح بعض الفروقات بين أنواع المحاليل:

نوع المحلول	حجم وحدة المادة المنتثرة في المحلول	درجة رؤية الوحدات
المحلول الحقيقي	قطر الوحدة 0.001 مايكرون.	لا يمكن رؤيتها بأي الة ابصار عرفت لحد الان.
المحلول الغروي	قطر الوحدة لا يقل عن 0.01 مايكرون ولا يزيد عن 0.1 مايكرون.	يمكن رؤية بعض خواصها الطبيعية بمجهر Ultra Microscope
المعلق	قطر الوحدة أكبر من 0.1 مايكرون	يمكن رؤية بعض خواصها الطبيعية بالمجهر الضوئي.
المستحلب	قطر الوحدة أكبر من 0.1 مايكرون	يمكن رؤية بعض خواصها الطبيعية بالمجهر الضوئي.

الخواص العامة للمحاليل الغروية:-

1. الانتشار Diffusion : معدل سرعة الانتشار يتناسب تناسبا عكسيا مع حجم الدقائق الغروية. اي معدل الدقائق الغروية تنتشر بمعدل منخفض جدا مقارنة مع معدل انتشار الدقائق الجزيئية أو الايونية في المحاليل الحقيقية.
2. الضغط الازموزي Osmotic pressure : يتوقف الضغط الازموزي للمحاليل على عدد الدقائق المادية الموجودة بها بغض النظر عن طبيعتها او حجمها. فاذا اخذنا محلولين تركيز كل منهما 2% الاول منهما هو عبارة عن محلول حقيقي من سكر القصب او السكروز والثاني هو محلول غروي مكون من النشأ فأن عدد الوحدات او جزيئات السكر الموجود في المحلول الاول اكبر عددا من عدد الوحدات من التجمعات الجزيئية الكبيرة من النشأ الموجودة في المحلول الثاني وعليه يكون الضغط الازموزي للمحلول الغروي هو اقل بكثير من الضغط الازموزي للمحلول الحقيقي.
3. ظاهرة تندال Tyndall phenomenon : اذا سلطنا حزمة ضوئية على وعاء زجاج ممتليء بالماء النقي او بالمحلول الحقيقي ثم فحصنا ذلك الوعاء في اتجاه عمودي على مسار الحزمة الضوئية فأننا لا يمكنا ادراك مسار الضوء اما اذا استبدلنا المحلول الحقيقي او الماء بالمحلول الغروي يمكننا ان ندرك مسار الضوء المار وذلك بسبب انعكاس الضوء بواسطة دقائق الحلول الغروي في المنطقة التي مرت بها حزمة الضوء نتيجة لكبر حجم الدقائق الغروية بالمقارنة مع دقائق المحلول الحقيقي المتناهية في الصغر وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة تندال نسبة الى مكتشف هذه الظاهرة والتي سميت باسمه وهذه الظاهرة شبيهة بمرور شعاع ضوئي في وسط حجرة مظلمة.

4. الحركة البراونية Brownian Movement : اذا فحصنا محلولا غرويا في جهاز Ultra microscope نلاحظ نقاط مضيئة لامعة تتحرك حركة شديدة في اتجاهات مختلفة تعرف بالحركة البراونية والتي سميت بهذا الاسم تيمنا بالعالم النباتي Brown الذي اكتشف هذه الحركة وتعزى هذه الحركة الى دفع الدقائق الغروية لبعضها البعض في اتجاهات مختلفة بفعل طاقتها الحركية فاذا رفعنا درجة حرارة المحلول الغروي فان حركة الدقائق الغروية تزداد لزيادة طاقتها الحركية.
5. الشحنة الكهربائية Electric Charge : توجد على الدوام الدقائق الغروية شحنات كهربائية موزعة على سطوحها الخارجية ويمكن الاستدلال على وجود هذه الشحنات الكهربائية من خلال حركة الدقائق الغروية في اتجاه معين عند وضع المحلول في مجال كهربائي ويمكن معرفة نوع الشحنة للدقائق (سالبة او موجبة) عندما تتجه نحو احد قطبي المجال الكهربائي وهذة الحركة تسمى بالترحيل الكهربائي Electrophoresis ويعزى ثبات المحليل الغروية الكارهة لوسط الانتثار هو لتشابه الشحنات وبالتالي تنافرها فتبقى معلقة في وسط الانتثار وعندما يراد ترسيبها فيضاف لها شحنات مضادة والتي تؤدي الى ترسيبها في الحال. وتستعمل هذه الحالة في تحسين خواص التربة الطينية من خلال تحسين مساميتها عن طريق تجمع دقائق الطين الغروي السالب الشحنة بفعل اضافة ايونات الكالسيوم الموجبة الشحنة الى التربة مما يزيد ذلك من مسامية التربة الطينية وبالتالي تصبح اكثر ملائمة لنمو النبات. كما ان هذه الظاهرة لها دور في تجمع طمى الانهار وتكوين الدلتا نتيجة لتعادل شحنات الطمى الغروية ذات الشحنات السالبة مع الشحنات الموجبة للاملاح المنأينة الذائبة بمياه الانهار مما يؤدي الى ترسبها.
6. التجمع السطحي او الادمصاص Adsorption : وهو الجزيئات المكونة للطبقة السطحية تتجمع فتتضائل مساحة السطح تدريجيا حتى تصل الى اقل حجم وهذا ما يسمى بالشد السطحي Surface tension وهذا ما يفسر تجمع قطرات السائل متى سقطت على سطح املس فتأخذ شكل محدب او كروي عندما تكون حرة في الهواء كما في قطرات المطر وقطرات الندى عند سقوطها على سطوح الاوراق النباتية. ويمكن اثبات التجمع السطحي من خلال استخدام صبغة ازرق المثيل والتي عند تخفيفها في الماء يتحول اللون الى الازرق وعند اضافة مسحوق من الفحم الحيواني الى المحلول تتجمع جزيئات صبغة ازرق المثيل على السطوح الخارجية لدقائق الفحم الحيواني.

أوجه الاختلاف بين محاليل الغروية الكارهة والمحبة لوسط الانتثار:

ت	غرويات كارهة لوسط الانتثار	غرويات محبة لوسط الانتثار
1	تشاهد الحركة البراونية بوضوح	لا ترى بوضوح هذه الحركة لوجود اغشية حولها من وسط الانتثار
2	تعذر مشاهدة ظاهرة تندال بوضوح	يمكن مشاهدة ظاهرة تندال بوضوح لوجود اغشية وسط الانتثار
3	لا يوجد اختلاف محسوس بين لزوجة Viscosity الوسط المنتثر ووسط الانتثار.	لزوجة دقائق وسط المنتثر عالية مقارنة بلزوجة وسط الانتثار
4	الترسيب Precipitation: يرجع الى ثباتها وعدم ترسيبها الى تشابه الشحنات وبالتالي تنافر دقائق الوسط المنتثر مع دقائق وسط الانتثار.	يرجع ثباتها الى الشحنة الكهربائية المختلفة بين دقائق الوسط المنتثر ووسط الانتثار والتشرب والذي يؤدي الى عدم ترسيبها وذلك لتغليف دقائق الوسط المنتثر بدقائق وسط الانتثار والذي يمنع من عدم تلامس دقائق الوسط المنتثر مع بعضها.

الانتشار Diffusion :

وهو حركة ذرات أو جزيئات أي مادة بشكل عشوائي وفي جميع الاتجاهات مما يؤدي إلى انتشارها . مثل انتشار جزيئات السكر في الشاي أو القهوة معطية سائل متجانس في حلاوته . كذلك عند فتح غطاء لزجاجة العطر يؤدي إلى انتشار جزيئات العطر بين جزيئات الهواء .

انتشار الغازات :

تعتبر الغازات اقل مقاومة للانتشار وذلك لان جزيئات الغاز تبتعد عن بعضها بمسافات كبيرة جدا بالمقارنة مع الجزيئات المنتشرة بالمادة السائلة أو الصلبة . وان التقارب بين ذرات أو جزيئات الغاز المنتشرة يطلق عليها بالكثافة .

العوامل المؤثرة على الانتشار :

1. درجة الحرارة :

تزداد سرعة انتشار الغازات كلما زادت درجة الحرارة والسبب في ذلك يعود إلى أن درجات الحرارة العالية تسبب زيادة الطاقة الحركية لجزيئات الغاز وبالتالي زيادة سرعة حركة جزيئات الغاز .

2. كثافة الجزيئات المنتشرة :

أي درجة التقارب أو التباعد بين جزيئات الغاز المنتشرة . استنادا إلى قانون كراهام Graham`s law تصبح سرعة انتشار الغازات تتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي لكثافاتها. وعلى هذا الأساس يمكن كتابة القانون بالشكل التالي :

سرعة انتشار الغاز الأول كثافة الغاز الثاني

ـــ = ـــ

سرعة انتشار الغاز الثاني كثافة الغاز الأول

3. وسط الانتشار :

كلما زاد تركيز وسط الانتشار كلما قلت سرعة انتشار جزيئات الغاز فيه . مثل سرعة انتشار ذرات غاز البروم تكون كبيرة عندما يوضع غاز البروم تحت ناقوس زجاجي مفرغ من الهواء بالمقارنة مع سرعة انتشاره تحت ناقوس مملوء بالهواء .

4. ممال ضغط الانتشار :

كلما زاد انحدار ممال ضغط الانتشار زادت سرعة الانتشار ، أي بمعنى آخر سرعة الانتشار تتحدد

أ. بمقدار الفرق بين تركيز المادة المنتشرة من منطقة إلى أخرى .

ب. بالمسافة بين تلك المنطقتين .

الأزموزية Osmosis :

تعتبر الازموزية نوع من أنواع الانتشار . ويستعمل مصطلح التنافذ عندما يتم انتقال أو انتشار جزيئات المذيب من محلول ذات تركيز واطيء إلى محلول ذات تركيز عالي خلال أغشية نفاذة تسمح لجزيئات المذيب بالمرور ولا تسمح لجزيئات المذاب بالمرور .

ولتوضيح ذلك نضع محلول من السكر (المذاب) في الماء (المذيب) مفصول عن الماء النقي بواسطة غشاء نفاذ لكل من المذيب والمذاب . نلاحظ تحرك جزيئات المذيب والمذاب بشكل عشوائي في كلا الاتجاهين عبر الغشاء النفاذ (الشكل 1) . ففي البداية سوف يمر الماء من ب إلى أ وكذلك الماء والسكر من أ إلى ب ، وعندما يزيد تركيز السكر في ب سيرجع قسم من جزيئات السكر إلى المنطقة أ . لذلك نجد أن عدد جزيئات الماء النافذة من ب إلى أ هو أكثر من عدد جزيئات الماء النافذة من أ إلى ب .بعدها ستصل الحركة لجزيئات الماء والسكر إلى مرحلة

التعادل نتيجة إلى استمرار انتقال جزيئات الماء من الماء النقي إلى المحلول وانتقال جزيئات السكر من المحلول إلى الماء النقي حتى يؤدي إلى تساوي التراكيز في المنطقتين أ و ب .

اما اذا كان الغشاء الذي يفصل بينهما شبه منفذ (شكل 2) أي يسمح بمرور جزيئات الماء (المذيب) دون مرور جزيئات (السكر) المذاب . لذا سيزداد مرور جزيئات الماء فقط من ب إلى أ ، وبالتالي يؤدي إلى زيادة عدد جزيئات الماء في المحلول (المنطقة أ) واستمرار انتقالها من ب إلى أ نتيجة إلى الفرق في الجهد المائي .

أن مرور جزيئات المذيب خلال الأغشية النفاذة للمذيب من المنطقة التي يكون فيها الجهد المائي عالي (محلول مخفف) إلى المنطقة ذات الجهد المائي الواطيء (محلول مركز) تسمى بالأزموزية .

شكل (1)

شكل (2)

الضغط الأزموزي Osmotic pressure :

اذا وضع مكبس في المنطقة أ كما في الشكل (3) ، فأن الماء ينتقل من ب إلى أ كما في المثال السابق وبالتالي زيادة حجم المحلول في المنطقة أ بالتدريج مما يؤدي إلى رفع المكبس إلى الأعلى . ويمكننا تقليل حجم المحلول ومنع زيادة حجمه من خلال تسليط الضغط نحو الأسفل على المكبس وبالتالي سوف يؤدي ضغط المكبس إلى زيادة الطاقة الكامنة لجزيئات الماء في المنطقة أ فيؤدي إلى زيادة سرعة حركتها ومرورها عبر الغشاء نصف النفاذ بشكل أسرع من دخولها من ب إلى أ . اذا كان الضغط على المكبس كافيا لمنع أي زيادة أو نقصان في حجم المحلول فان عدد جزيئات الماء المنتقلة من ب إلى أ ستساوي عدد جزيئات الماء المنتقلة من أ إلى ب . ويسمى هذا الضغط اللازم بالضغط الازموزي للمحلول . أن الضغط الازموزي لأي محلول يعتمد على تركيز ذلك المحلول . يزداد الضغط الازموزي لأي محلول عندما يزداد تركيزه ويقل عندما يقل تركيزه ، لذا يكون الضغط الازموزي

صفر للماء النقي (المقطّر) .تدعى المحاليل ذات الضغط الازموزي المتساوي بالـ Isotonic اما المحاليل ذات الضغط الازموزي المختلف ، فيسمى المحلول عالي التركيز (ضغطه الازموزي عالي) Hypertonic والمحلول منخفض التركيز (ضغطه الازموزي واطيء) يسمى Hypotonic .

شكل (3)

علاقة الماء بالخلايا الحية :

يحيط الخلية الحية جدار منفّذ كليا للماء والمواد المذابة يسمى الجدار الخلوي ويحتوي في داخله البروتوبلاست الذي يتكون من مواد بروتوبلازمية وغير بروتوبلازمية ويحتوي على النواة وفجوة واحدة كبيرة مملوءة بالعصير الخلوي (شكل 4) . ويتكون العصير الخلوي من محاليل مائية لأملاح مختلفة ومواد عضوية كثيرة لها ضغط ازموزي . يحاط بروتوبلاست الخلية بالغشاء البلازمي plasma membrane الذي يكون نصف نفاذ والفجوة العصيرية في الخلية تكون محاطة بغشاء يسمى بغشاء الفجوة tonoplast وهو أيضا نصف نفاذ . فعند وضع خلية نباتية في ماء نقي فان الماء سوف ينتقل إلى داخل الخلية عبر الغشاء البلازمي نصف نفاذ ومن السايتوبلازم إلى الفجوات عبر غشاء الفجوة نصف النفاذ بالتنافذ من الماء النقي (ذو الضغط الازموزي الواطيء) إلى الخلية والفجوة (ذات الضغط الازموزي العالي). ويستمر دخول الماء إلى الخلية نتيجة إلى الفرق في الضغط الازموزي مسببا زيادة في حجم الخلية الذي يولد ضغط على جدار الخلية فيسمى بالضغط الانتفاخي Turgor pressure . اما الجدار الخلوي سوف يتمدد نتيجة لانتفاخ الخلية مما يسبب الجدار الخلوي ضغط معاكس إلى الضغط الانتفاخي يحاول تقليص حجمه لكي يرجع إلى حالته الطبيعية ويسمى هذا الضغط بضغط الجدار Wall pressure كما في الشكل (5) .

شكل (4)

شكل (5)

ويمكن حساب كمية الماء الممتصة من قبل المعادلة التالية :-

م = (ت1 – ت2) – ج

م : كمية الماء الممتصة من قبل الخلية .
ت1 : الضغط الازموزي للعصير الخلوي .
ت2 : الضغط الازموزي للمحلول الخارجي (تكون قيمته صفر في الماء النقي) .
ج : ضغط جدار الخلية .

البلزمة Plasmolysis :

عند وضع الخلية في محلول ملحي ضغطه الازموزي أعلى من الضغط الازموزي للخلية ، يكون الجهد المائي للخلية عالي والمحلول الملحي جهده المائي واطيء يسبب تحرك جزيئات الماء من داخل الفجوات إلى المحلول الخارجي فيؤدي ذلك إلى تقلص الفجوة وبروتوبلاست الخلية نتيجة إلى فقدان الماء فيتحول البروتوبلازم إلى كتلة صغيرة تاركا فراغا كبيرا بينه وبين جدار الخلية (شكل 6) . وتدعى ظاهرة خروج الماء من الخلية وانفصال البروتوبلازم عن جدار الخلية بالبلزمة plasmolysis . اما اذا وضعت الخلية المبلزمة بشكل قليل في الماء النقي فستصبح لها القدرة على امتصاص الماء ورجوعها إلى حالتها الطبيعية وتسمى هذه الظاهرة بالشفاء من البلزمة deplasmolysis .

شكل (6)

أنواع البلزمة :

1. البلزمة المؤقتة :

عند وضع الخلية في محلول مركز . تحدث فيها ظاهرة البلزمة ولكن سرعان ما تستعيد الخلية النباتية شكلها الطبيعي من خلال ظاهرة الشفاء من البلزمة بسبب أن الغشاء البلازمي للخلية يكون نفاذ للمادة المذابة في المحلول المركز مما يؤدي إلى دخولها إلى الخلية نتيجة الفرق في تركيز المادة المذابة وبالتالي يقل تركيزها في المحلول ويقل الضغط الازموزي للمحلول فيؤدي إلى زيادة جهده المائي مما يؤدي إلى رجوع الماء مرة أخرى إلى الخلية وشفاءها من البلزمة . ومن الأمثلة على المواد المذابة التي تسبب البلزمة المؤقتة هي الغليسرول .

2. البلزمة الدائمة :

اذا وضعت الخلية النباتية في محلول مركز وحدثت ظاهرة البلزمة . ولم تستعيد الخلية شكلها الأصلي بعد فترة من الزمن هذا يدل على أن المادة المذابة غير قادرة على النفاذ عبر الغشاء البلازمي مما يؤدي إلى انكماش البروتوبلازم بشكل كبير جدا مؤديا إلى قتل الخلايا . كما هو الحال إلى التراكيز الملحية العالية أو أنها لاتستطيع الدخول إلى السايتوبلازم إطلاقا عبر الغشاء البلازمي .

التشرّب Imbibitions :

وهو نوع من أنواع الانتشار . فعند وضع أجزاء نباتية جافة في الماء يكون لها قابلية عالية على التشرب بالماء ويسبب زيادة كبيرة في حجمها . وتلاحظ هذه الظاهرة من خلال تمدد إطارات الشبابيك والأبواب الخشبية نتيجة لتشربها بالماء خلال فصل الشتاء نتيجة إلى ارتفاع نسبة الرطوبة في الهواء . يحدث التشرب بالماء عندما يكون :

أ . الجهد المائي للجزء النباتي الجاف صفر أو واطيء .

ب . الجزء النباتي الجاف قادر على تشرّب السائل مثلا لاتتشرب الأجزاء النباتية الجافة بالايثر ولكنها تتشرب كليا بالماء في حين أن المطاط لايتشرب بالماء لكنه يتشرب كليا بالايثر .

تعتبر البذور ذات قابلية عالية على التشرب بالماء لاحتوائها على المواد الغروية مثل البروتين والكاربوهيدرات مثل السليلوز والنشأ والتي تعتبر من الغرويات المحبة للماء . لذلك احتياجات البذور إلى الماء أثناء الإنبات تحصل عليه من خلال عملية التشرب .

أن الضغط المتولد عن نتيجة تشرب المواد وزيادة حجمها يطلق عليه بضغط التشرّب Imbibition pressure.

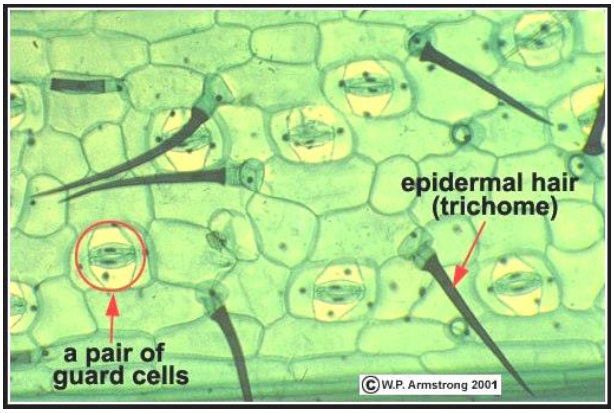
المحاضرة الثالثة : فسلجة النبات

النتح Transpiration :

يفقد الماء من النباتات بشكل بخار خلال عملية تدعى النتح . أن النبات يستفاد من كميات قليلة من الماء الممتص من قبل الجذور الذي يدخل في فعالية النبات والقسم الأعظم منه ينتقل خلال النبات ومن ثم يخرج إلى خارج النبات إلى الجو الخارجي بعملية النتح .

بعد امتصاص الماء من التربة من قبل الجذور سينتقل الماء خلال أنسجة الخشب ثم يصل إلى خلايا النسيج الوسطي mesophyll للأوراق والتي تمتاز بكثرة المسافات البينية intercellular spaces التي تعتبر المحيط المثالي لتبخر الماء من سطح هذه الخلايا إلى الحيز المحصور في المسافات البينية وبالتالي إلى المحيط الخارجي عن طريق البشرة .

يتميز نسيج البشرة باحتوائه على فتحات كثيرة تدعى الثغور stomata . وكل ثغرة تحيط بها خليتين من الخلايا المتخصصة في البشرة وظيفتها فتح و غلق الثغور تسمى الخلايا الحارسة guard cells . وتختلف الخلايا الحارسة عن خلايا البشرة باختلافات من حيث المظهر الخارجي والتشريحي كما موضح في الشكل التالي :



أن فقدان النبات الماء عن طريق الثغور يسمى بالنتح الثغري stomatal transpiration . اما إذا فقد النبات الماء بشكل بخار ماء عن طريق سطح الأوراق وسطح السيقان للنباتات العشبية من خلال الطبقة الشمعية (الكيوتكل) cuticle فيسمى بالنتح الشمعي أو الكيوتكلي cuticular transpiration . اما اذا فقد الماء من النبات عن طريق العديسات lenticular يسمى بالنتح العديسي lenticular transpiration . بالرغم من محافظة طبقة الكيوتكل على منع تبخر الماء منها وبالتالي عدم فقدان الماء عن طريقها ولولاها لما استطاع النبات على الاحتفاظ به ، إلا أن كمية قليلة من الماء تنفذ عن طريقه بشكل بخار ماء . فالنباتات ذات طبقة الكيوتكل السميكة يكون النتح الكيوتكلي اقل من النباتات ذات طبقة الكيوتكل الرقيقة . على أية حال تعتبر كمية الماء المفقودة عن طريق النتح الكيوتكلي والنتح العديسي ضئيلة جدا مقارنة مع النتح الثغري . ولكن يزداد النتح الكيوتكلي والعديسي تحت الظروف الجوية الجافة أي عندما تكون الثغور مغلقة وكذلك الحال في الظروف الباردة حيث يقل امتصاص الماء فتقل عملية النتح الثغري وتزداد عملية النتح الكيوتكلي والعديسي .

طرق قياس النتح :-

1. طريقة الوزن : هي ابسط الطرق حيث يتم قياس النتح من خلال وزن النبات النامي بالأصيص (السندانة) في البداية ثم وزنه بعد فترة من الزمن والفرق في الوزن هو عبارة عن الماء المفقود بعملية النتح .
2. طريقة البوتوميتر photometer : وتستند هذه الطريقة على حساب كمية الماء الممتص من قبل النبات ، على اعتبار أن كمية الماء الممتص تساوي تقريبا كمية الماء المفقود بالنتح .
3. طريقة كلوريد الكوبلت : تعتمد هذه الطريقة على مقدار التغير الحاصل باللون نتيجة لعملية النتح . عند تنقيع أوراق الترشيح بحامض الخليك المخفف الذي يحتوي على 3% من كلوريد الكوبلت وتترك لكي تجف فيتحول لونها إلى الأزرق . وعند تعرضها للرطوبة يتحول لونها إلى اللون الأحمر . فعند وضع ورقة نبات على ورقة الترشيح الزرقاء سيتحول لونها إلى اللون الأحمر نتيجة لتبخر الماء من ورقة النبات بعملية النتح.
4. طريقة جمع الماء المفقود عن طريق عملية النتح ثم وزنه : تعتمد هذه الطريقة على وضع ناقوس زجاجي على النبات ثم جمع بخار الماء الناتج من النتح من خلال استخدام كلوريد الكالسيوم اللامائي الذي يقوم بامتصاص

الماء من الهواء في الحيز داخل الناقوس الزجاجي . فيتم وزن كلوريد الكالسيوم بعد امتصاصه للماء . وتعاد التجربة بعدم وضع نبات داخل الناقوس الزجاجي مع وضع نفس الكمية من كلوريد الكالسيوم ويترك لنفس الفترة الزمنية السابقة وبالتالي يتم وزن كلوريد الكالسيوم . أن الفرق بين الوزنين لكلوريد الكالسيوم في التجربتين هو كمية ماء النتح .

ميكانيكية فتح و غلق الثغور :

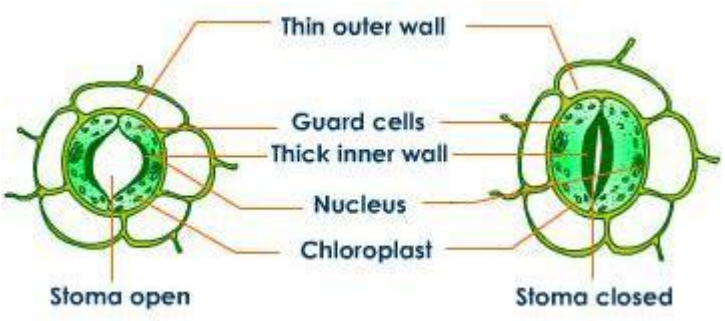
أن نسيج البشرة للورقة يحتوي على عدد كبير جدا من الثغور التي تكون بأحجام صغيرة لايمكن رؤيتها بالعين المجردة . كل ثغر يحاط بخليتين حارستين تسيطر على عملية فتح وغلق الثغور . فعندما تكون الثغور مفتوحة يصبح عرض الثغر حوالي 3–12 مايكرون وطولها 10–40 مايكرون . أعداد الثغور على سطوح الأوراق يختلف باختلاف نوع النبات وعموما يتراوح عدد الثغور في 1سم2 حوالي 1000–6000 ثغرة . ونتيجة لصغر حجمها فإنها تشغل مساحة لاتزيد عن 1–2 % من مجموع مساحة سطح الورقة .

أوضحت الكثير من الدراسات التي أجريت أن ميكانيكية فتح وغلق الثغور تعتمد على مقدار الزيادة أو الانخفاض في الضغط الازموزي للخلايا الحارسة . فالتغيير في الضغط الازموزي للخلية الحارسة سيحدد دخول أو خروج الماء منها واليها . فعند دخول الماء إلى الخلية الحارسة نتيجة للضغط الازموزي العالي فيها من خلايا نسيج البشرة المجاورة لها فان ذلك يؤدي إلى انتفاخها فتفتح الثغور . أما عند انخفاض الضغط الازموزي للخلية الحارسة فان الماء يخرج منها إلى الخلايا المجاورة فتعود الخلايا الحارسة إلى حالتها الطبيعية فتغلق الثغور .

تشريح الخلايا الحارسة :

تتميز جدران الخلايا الحارسة بتركيب خاص يختلف اختلافا تاما عن بقية خلايا الأنسجة المختلفة . فجدار الخلية الحارسة المجاور للثغرة يكون أكثر سمكا واقل مطاطية من الجدار التابع لنفس الخلية الحارسة والمجاور لخلايا نسيج البشرة الذي يكون أكثر مرونة ومطاطية وجداره رقيق . فعند دخول الماء إلى الخلية الحارسة نتيجة إلى الضغط الازموزي العالي يؤدي إلى زيادة الضغط الانتفاخي في الخلية الحارسة فان جدار الخلية المرن المجاور لنسيج البشرة سوف يتمدد نتيجة لانتفاخ الخلية الحارسة بالماء فيؤدي إلى سحب جدار الخلية المجاور للثغرة نحو الداخل فتنفتح الثغور . أما عند خروج الماء من الخلية الحارسة تعود إلى حالتها الطبيعية فيؤدي جدارها المجاور للثغرة إلى غلقه .

تحتوي الخلايا الحارسة على البلاستيدات الخضر وعلى الكلوروفيل لذلك فهي تقوم بعملية البناء الضوئي بعكس خلايا البشرة التي لاتحتوي على البلاستيدات الخضر والكلوروفيل .



العوامل التي تؤثر في فتح وغلق الثغور :-

1. الضوء : بصورة عامة تفتح الثغور عندما تتعرض للضوء وتبقى مفتوحة مادام أنها معرضة للضوء . وتغلق في الظلام . وتحتاج الثغور إلى شدة إضاءة قدرها 250 شمعة.قدم لكي تصل إلى أقصى انفتاح لها . أي تحتاج إلى شدة إضاءة اقل من عملية البناء الضوئي .
2. نقص الماء : إذا كانت عملية النتح أسرع من عملية امتصاص الماء يؤدي إلى حدوث نقص في ماء النبات . مما يؤدي ذلك إلى غلق الثغور نتيجة لتحرك الماء إلى خارج الخلايا الحارسة ز
3. درجة الحرارة : كلما زادت درجة الحرارة كلما زاد انفتاح الثغور ، أن أفضل درجة حرارة لأقصى انفتاح للثغور هي 30 م . ووجد من خلال الدراسات أن الثغور بقيت مغلقة عندما انخفضت درجة الحرارة إلى صفر م وبقيت مغلقة حتى لو تم تسليط الضوء عليها .

العوامل المؤثرة على النتح :

أ. العوامل النباتية :

1. نسبة الجذور إلى المجموع الخضري : إذا زادت نسبة الجذور إلى المجموع الخضري يؤدي إلى زيادة سرعة النتح .
2. مساحة الأوراق : إذا زادت مساحة السطوح الكلية للأوراق يؤدي إلى زيادة معدل النتح . وعند إزالة مجموعة من الأوراق من النبات يؤدي إلى زيادة النتح نتيجة إلى زيادة نسبة الجذور إلى الأوراق .
3. تركيب الورقة : يكون النتح قليل في النباتات الصحراوية لكونها تحتوي أوراقها على طبقة كيوتكل سميكة وانخفاض مستوى الثغور من على سطح الورقة ووجود بعض الشعيرات الميتة التي تكسو سطح الورقة . أو قد تكون أوراقها محورة إلى أشواك . أن مقاومة النباتات الصحراوية للجفاف هو سمك طبقة الكيوتكل وقدرتها العالية على غلق الثغور في موسم الجفاف ويصبح النتح الكيوتكلي هو الطريقة الوحيدة لفقدان الماء .

ب. العوامل الخارجية :

1. الضوء : يعتبر من العوامل المهمة التي تسيطر على النتح . وذلك لان النتح يزداد في فترة تعرض النباتات إلى الضوء نتيجة إلى فتح الثغور . ويقل النتح في الظلام نتيجة إلى غلق الثغور.
2. رطوبة الجو : أن الجو الداخلي في الأوراق يكون مشبع في الرطوبة والجو الخارجي يكون غير مشبع فيؤدي إلى زيادة النتح نتيجة إلى الاختلاف في ضغط البخار بين المحيط الداخلي والخارجي .
3. درجة الحرارة : يزداد معدل النتح بزيادة درجة الحرارة نتيجة إلى تأثيرها في فتح الثغور .
4. الرياح : الهواء هو الوسط الذي ينتشر فيه بخار الماء . أن النتح سوف يزداد نتيجة لحركة الهواء نتيجة لزيادة ضغط بخار الماء .
5. توفر ماء التربة : عند عدم توفر الماء في التربة يؤدي إلى حالة عدم اتزان بين الماء الممتص والمفقود وبالتالي يؤدي إلى ذبول النبات نتيجة لفقدانه كميات كبيرة من الماء بالنتح لعدم مقدرته على تعويضها من التربة .

الطبقة المحاددة Boundary layer resistant :

وهي طبقة من الهواء التي تحيط بالورقة والتي تكون مقاومة لخروج بخار الماء من الورقة بعملية النتح اعتماداً على نسبة الرطوبة فيها .

النظريات التي تفسر ميكانيكية فتح وغلق الثغور في أوراق النبات :

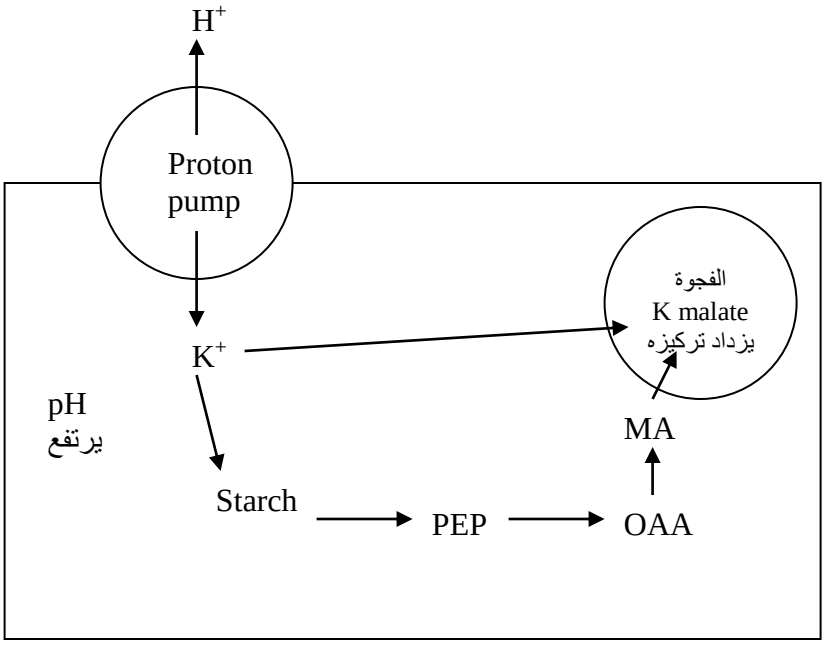
النظرية الأولى : أقترح الباحثون الأوائل أن عملية البناء الضوئي Photosynthesis في النهار تؤدي إلى تكون وتراكم السكر في الخلايا الحارسة مما يسبب ذلك ارتفاع في الضغط الازموزي لها فتفتح الثغور وعند الظلام تغلق الثغور نتيجة لتوقف عملية البناء الضوئي وبالتالي ينخفض تراكم السكر في الخلايا الحارسة مما يسبب انخفاض في الضغط الازموزي لها فتغلق الثغور . لم تلاقِ هذه النظرية قبولا من قبل مجموعة من الباحثين لكون أن عملية فتح الثغور أسرع من عملية البناء الضوئي أي ان نواتج البناء الضوئي المتكونة والمتراكمة تحتاج الى فترة طويلة لكي تسبب ارتفاع في الضغط الازموزي داخل الخلايا الحارسة وفتح الثغور .

النظرية الثانية : نظرية النشأ والسكر : تقترح هذه النظرية على أن ميكانيكية فتح وغلق الثغور تعتمد على تركيز CO_2 والـ pH في الخلايا الحارسة ، أي أن في النهار تفتح الثغور بسبب انخفاض CO_2 في الخلايا الحارسة نتيجة لاستهلاكه في عملية البناء الضوئي فيؤدي ذلك الى ارتفاع pH الخلية فيصل الى 8 فيؤدي ذلك الى تحلل النشأ الى سكر كما في المعادلة التالية :

$$\text{Starch} \underset{\text{pH=5}}{\overset{\text{pH=8}}{\rightleftharpoons}} \text{Glucose-1-phosphate}$$

أما في الظلام فأن تركيز CO_2 سوف يزداد بسبب توقف عملية البناء الضوئي وزيادة سرعة التنفس فيتكون حامض الكاربونيك من CO_2 مؤدياً الى انخفاض pH للخلية الحارسة الى 5 فيؤدي ذلك الى تكون النشأ من Glucose-1-phosphate مسبباً انخفاض في الضغط الازموزي الذي يؤدي الى غلق الثغور . لم تلاقِ هذه النظرية قبولا من عدد من الباحثين وخصوصا الباحث Steward الذي أثبت أن Glucose-1-phosphate هو غير كافٍ لرفع الضغط الازموزي في الخلية الحارسة المسبب لفتح الثغور كما هو الحال في Glucose .

النظرية الثالثة : نظرية المضخة الآيونية (Ion pump theory) : وهي النظرية الأكثر قبولاً من قبل العلماء والباحثين ، وان العلماء اليابانيون هم أكثر من أهتم بها . وتنص هذه النظرية على ان هناك مضخة ايونية تقوم بضخ ايونات الهيدروجين H^+ الى خارج الخلية الحارسة وضخ ايونات البوتاسيوم K^+ الى داخل الخلية الحارسة باستخدام الطاقة من مركب ATP المتكون من الفسفرة الضوئية في النهار مما يؤدي ذلك الى ارتفاع pH في الخلية الحارسة الى ان يصبح قاعدي فيؤدي ذلك الى تحلل النشأ الى Phospho enol pyrovate (PEP) ومنه يتكون Oxalo acetic acid (OAA) ومنه يتكون Malic acid (MA) فينتقل حامض الماليك MA الى الفجوة ويتحد مع آيون البوتاسيوم K^+ مكوناً مركب يدعى Potassium malate الذي يتجمع في الفجوة للخلية الحارسة مسبباً زيادة في الضغط الازموزي للخلية الحارسة فتنتقل جزيئات الماء من الخلايا المجاورة الى الخلايا الحارسة فتمتلأ بالماء مسببة فتح الثغور وعكس ذلك يحدث في الظلام حيث تغلق الثغور وكما هو موضح في المخطط التالي :



ملاحظة : 1. يمكن فتح الثغور في الظلام عندما تعرض لغاز الأمونيا .

2. يمكن غلق الثغور في النهار عندما تعرض لحامض الكبريتيك .

الإدماع Guttation :

أن النباتات النامية في تربة دافئة ورطبة وفي جو رطب تتميز بظهور قطرات على حافة أوراقها وعملية فقدان الماء بهذه الطريقة تسمى الإدماع . ويحدث الإدماع عندما تزداد سرعة الامتصاص على النتح الذي يؤدي إلى زيادة الماء في أوعية الخشب ويزداد مع زيادة الامتصاص مولدا ضغط يعمل على دفع الماء من الأوعية الخشبية إلى ابعد منطقة في عروق الورقة مؤديا إلى خروج الماء من فتحات صغيرة في نهاية الورقة تسمى بالهيداثودات Hydathodes . ويخرج مع الماء بعض محتويات الخلايا من الذائبات مثل السكريات والعناصر الغذائية الضرورية والفيتامينات والأحماض العضوية .

المحاضرة الرابعة : فسلجة النبات :

الإخراج Elimination :

هو إخراج بعض محتويات الخلية إلى الخارج وبثلاث طرق هي :

1. الطرد Recreation :

وهو إمكانية الجذور أن تعيد المواد التي امتصتها من التربة إلى الخارج مرة أخرى . فيحدث امتصاص مادة معينة عندما يكون تركيزها عالي في التربة وقليل داخل الخلية . وعند إخراج المادة من الخلية إلى خارجها يسمى بالطرد . فمثلا عندما تريد الخلية امتصاص ايونات موجبة مثلا ايونات البوتاسيوم K^+ فإنها تطرد ايونات الهيدروجين H^+ إلى خارج الخلية لكي يزيد تركيز الايونات الموجبة خارج الخلية فيؤدي ذلك إلى دخول ايونات البوتاسيوم الموجبة إلى داخل الخلية .

2. الطرح Excretion :

وهي عملية نضح قطرات من محلول مخفف من النبات شديد الامتلاء إلى جو مشبع بالرطوبة . مثل عملية الإدماع guttation . كما أن بعض النباتات المتحملة للملوحة والتي تسمى بالـ Halophytes لها القابلية على

طرد الأملاح عن طريق غدد ملحية ، حتى لو كان تركيز الملح في خلاياها 50 مرة ضعف تركيز المحلول في المحيط الخارجي لها .

3. الإفراز Secretion :

تفرز الغدد الرحيقية nectarines محاليل سكرية في الأزهار لغرض جذب الحشرات لحدوث عملية التلقيح . كما تفرز بعض النباتات الآكلة للحشرات محاليل من أنزيمات هاضمة .

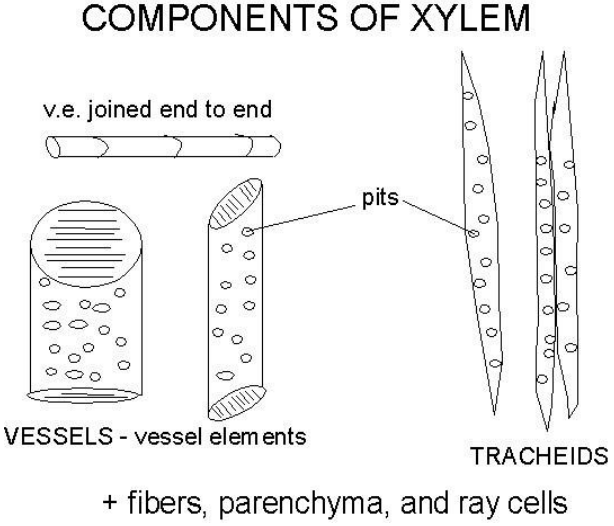
امتصاص وانتقال الماء :

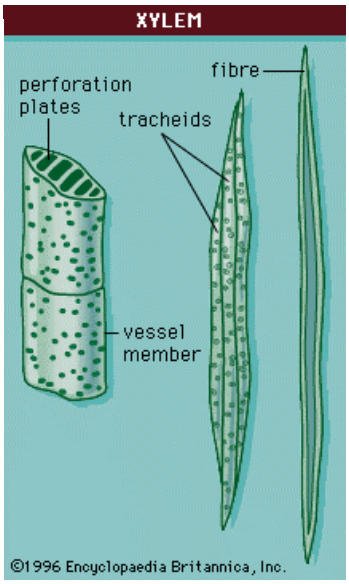
إن امتصاص الماء من التربة إلى داخل النبات عن طريق الجذور وانتقاله من الجذور إلى بقية أجزاء النبات الأخرى يحدث عن طريق خلايا متخصصة متجمعة مع بعضها مكونة مسارات متصلة مع بعضها و ممتدة عبر أجزاء النبات تسمى بنسيج الخشب xylem .

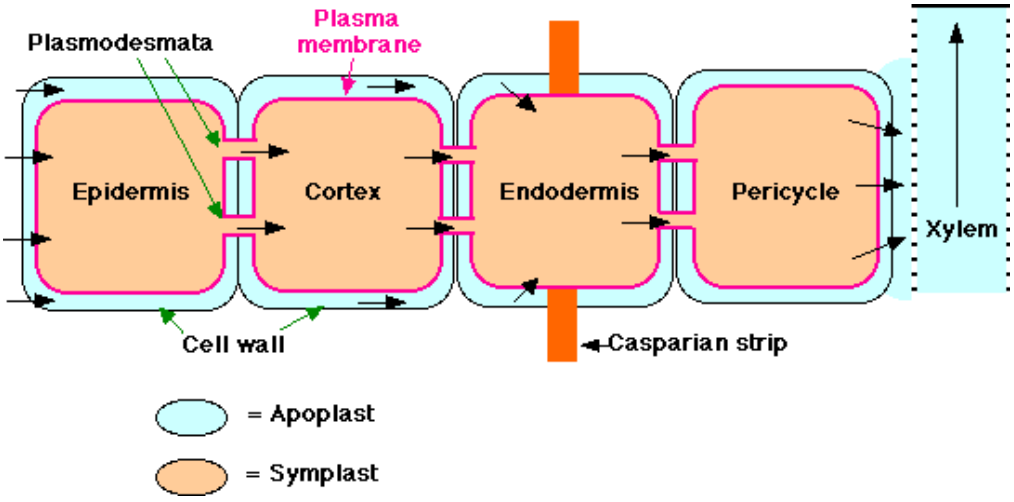
تشريح أنسجة الخشب :

يتكون نسيج الخشب في نباتات مغطاة البذور من عدة أنواع من الخلايا وهي الأوعية vessels و القصيبات tracheids وخلايا برنكيمية parenchyma cells وألياف fibers . والجزء الناقل للماء في نسيج الخشب هو الأوعية والقصيبات . الأوعية و القصيبات هي عبارة خلايا متطاولة وجدرانها سميكة ومدعمة بمادة اللجنين وهي خلايا ميتة وظيفتها نقل الماء بكميات اكبر وذلك لعدم إعاقة البروتوبلاست الميت لحركة الماء في داخلها . أن الأوعية في نسيج الخشب يكون أوسع قطرا من القصيبات وتتميز نهايات جدران الأوعية بوجود ثقوب أو فتحات عديدة تفتقر لها جدران القصيبات . لكن القصيبات تتميز بوجود النقر pits التي تعتبر كجسور يمر منها الماء من قصبة إلى أخرى . بينما الأوعية تكون نهايات جدرانها المثقبة هي منطقة اتصال وعاء بوعاء آخر وتسمى نهايتي الوعاء المثقبة بالصفائح المثقبة . وفي بعض النباتات لاتوجد هذه الصفائح المثقبة أي تكون نهايات الأوعية المتصلة مع بعضها طوليا مفقودة ، لذلك سوف تكون خلايا الأوعية عبارة عن أنبوب شعري طويل لايجد الماء الذي يمر من خلاله أي أجزاء تعترض حركته . أن التركيب المكون من اتصال الأوعية مع بعضها من نهاياتها طوليا يسمى بقنوات الخشب xylem duct . أما نباتات عارية البذور مثل الصنوبريات فان نسيج الخشب يفتقر إلى وجود الأوعية أي يحتوي فقط على القصيبات وخلايا برنكيمية وألياف . حيث تصبح القصيبات في هذه النباتات هي المسلك الرئيسي لانتقال الماء من خلاله . وخلايا القصيبات تكون طويلة مغزلية الشكل ذات نهايات مدببة وغير مثقبة كما في الأوعية . تترتب القصيبات بعضها فوق بعضها وتتصل الواحدة بالأخرى عن طريق النقر . تعتبر القصيبات اقل كفاءة في مقدرتها على نقل الماء مقارنة بالأوعية وذلك لان القصيبات لاتحتوي على ثقوب في نهايات جدرانها (الصفائح المثقبة) وإنما تكون مسدودة ، مما يؤدي إلى صعوبة في حركة الماء من خلالها لوجود حواجز والتفافات نتيجة انتقال الماء من قصيبة إلى أخرى عبر النقر بعكس الأوعية التي تشكل من خلال اتصالها مع بعضها طوليا من نهاياتها عبر الصفائح المثقبة أنبوبا شعريا طويلا يسهل من حركة الماء عبره .

أما ألياف الخشب فوظيفتها الرئيسية فيه هي الدعم . أما الخلايا البرنكيمية فهي خلايا حية وظيفتها هي خزن الغذاء حيث يتم خزن النشا فيها .



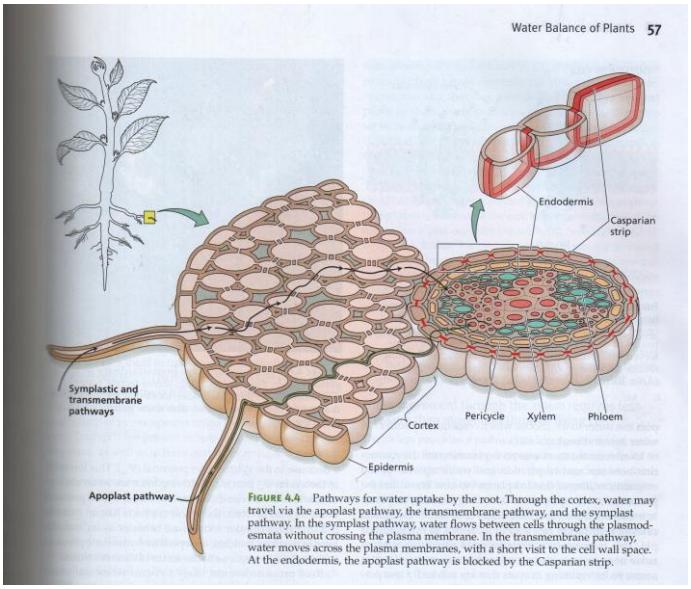




المحاضرة الخامسة : فسلجة النبات :

امتصاص الماء :

أن معظم الماء الذي يحتاجه النبات يمتص من قبل الجذور أما أكثر أجزاء الجذور التي تقوم بامتصاص الماء فهي منطقة الشعيرات الجذرية . الشعيرات الجذرية هي عبارة عن امتدادات لخلايا البشرة والتي من خلالها تزداد المساحة السطحية للامتصاص في الجذور ويدخل الماء من محلول التربة إلى خلايا البشرة للجذور بالازموزية بسبب ارتفاع الجهد المائي (انخفاض الضغط الازموزي) في محلول التربة وانخفاض الجهد المائي (ارتفاع الضغط الازموزي) لخلايا البشرة .



أنواع الامتصاص :

1. الامتصاص السلبي Passive absorption :

في النباتات السريعة النتح ، سيؤدي النتح إلى نقص الماء في خلايا الورقة فتعوض عن النقص من الخلايا المجاورة فتتكرر الحالة مع الخلايا المجاورة بسبب نقص الماء وبالتالي يستمر سحب الماء بالازموزية تدريجيا من نسيج الخشب وصولا إلى خلايا الجذور ، مما يؤدي إلى نقص الماء في خلايا الجذور والذي تعوض عنه عن طريق امتصاص الماء من محلول التربة .أي أن النبات يعتمد على الجزء الخضري في امتصاص الماء والجذور في هذه الحالة تعمل كوسيط لامتصاص الماء والدليل على ذلك لاحظ الباحثين أن الجزء الخضري يستطيع امتصاص الماء من جذور ميتة .

2. الامتصاص الفعال (النشط) Active absorption :

يعني الاعتماد على طاقة الايض الحيوي للجذور في عملية امتصاص الماء . أي أن امتصاص الماء يحدث في هذا النوع نتيجة لفعالية الجذور وليس الجزء الخضري كما في النوع الأول من الامتصاص .وذلك أن الجذور في

هذا النوع من الامتصاص تستهلك طاقة نتيجة لامتصاصها الأملاح وتجميعها في الفجوات الخلوية التابعة لخلايا الجذور . أن تجميع الأملاح في خلايا الجذور هو مهم للعملية الازموزية التي تسبب دخول الماء من محلول التربة إلى خلايا الجذور نتيجة للفرق الازموزي بينهما .

العوامل المؤثرة في امتصاص الماء :

1. درجة حرارة التربة :

يقل امتصاص الماء مع انخفاض درجات الحرارة وذلك لان الماء يصبح أكثر كثافة فيؤدي ذلك إلى قلة حركة جزيئاته . كما أن بروتوبلازم الخلايا يكون اقل نفاذية للماء عند انخفاض درجة الحرارة . وكذلك أن نمو الجذور ينخفض أو يتوقف مع انخفاض درجة الحرارة مما يؤدي إلى نقص في امتصاص الماء .

2. تركيز محلول التربة :

إذا زاد تركيز محلول التربة (الضغط الازموزي) عن الضغط الازموزي لخلايا الجذور فيؤدي إلى خروج الماء من خلايا الجذور بدلا من دخولها لها .

3. تهوية التربة :

أن الجذور تحتاج إلى عملية التنفس لذلك فتحصل على الاوكسجين من التربة وكلما كانت مسامات التربة تحتوي على الهواء كلما أخذت الجذور حاجتها من الاوكسجين وبعكس ذلك يؤدي إلى خفض فعالية الجذور فتنخفض قابليتها على امتصاص الماء وعند استمرار الحالة يؤدي إلى موت الجذور . وقلة التهوية في التربة هو بسبب أن الماء يحل محل الهواء في مسامات التربة . تحدث هذه الحالة في الترب الغدقة (المشبعة بالرطوبة) .

4. كمية ماء التربة .

5. صفات المجموع الجذري :

يختلف المجموع الجذري من نبات إلى آخر من حيث مظهرها وتعمقها في التربة . فالجذور التي تتعمق وتنمو في مساحة كبيرة تحت سطح التربة تكون أكثر كفاءة في امتصاص الماء من النباتات التي تكون جذورها سطحية .

6. امتصاص الماء من قبل الأجزاء النباتية :

يمكن للجزء الخضري أن يمتص كمية قليلة من الماء بشكل بخار ماء أو سائل من الجو ويعتمد ذلك على الفرق في الضغط الازموزي للخلايا والمحيط الخارجي ومقدار نفاذية طبقة الكيوتكل للماء .

ميكانيكية انتقال الماء :

1. نظرية الضغط الجذري Root pressure theory :

يمكن ملاحظة الضغط الجذري في النباتات عند قطع المجموع الخضري حيث يلاحظ خروج عصير الخشب من منطقة القطع . يعرف الضغط الجذري بأنه الضغط المتولد في أوعية وقصيبات الخشب كنتيجة لفعالية الجذور .

فهذه النظرية توضح بان الماء يرتفع للأعلى في النبات بسبب الضغط المتولد من قبل الجذور أو ما يعرف بالضغط الجذري . لم تكن هذه النظرية أكثر قبولا بسبب :

أ. أن الضغط المتولد من الجذور لا يكفي لرفع الماء إلى مسافات عالية داخل النباتات ، وذلك لان بعض النباتات قد تصل إلى ارتفاعات عالية مثلا (120) م .

ب. مقدار الماء الخارج من السيقان المقطوعة هو اقل من الماء الخارج بعملية النتح .

2. النظرية الحيوية :

يعتقد عدد من الباحثين أن الخلايا البرنكيمية الحية في نسيج الخشب هي التي لها دور في عملية رفع الماء إلى الأعلى في داخل النبات نتيجة لسيطرتها على الفعاليات الحيوية . لم يتم قبول هذه النظرية بسبب أن احد الباحثين وجد أن قتل الخلايا البرنكيمية الحية باستعمال مواد سامة لم تؤثر على نقل الماء داخل النبات .

3. نظرية التماسك والتلاصق :

تعتبر هذه النظرية هي الأكثر قبولا . فلو استعملنا أنبوب زجاجي طويل ومجوف ووضعناه بصورة عمودية في كاس يحتوي على ماء ووضعنا على قمة الأنبوب اسفنجة مشبعة بالماء بحيث أن الماء في داخل الأنبوبة متوصل غير متقطع يكون لدينا مسلك مائي يبتدئ بالماء الموجود في الكأس مارا في الأنبوبة الزجاجية ثم إلى الاسفنجة وسطحها الخارجي . عند توجيه مروحة هواء على سطح الاسفنجة فان الماء يتبخر من سطح الاسفنجة مما يؤدي إلى سحب الماء من الأنبوب الزجاجي الذي بدوره يقوم بسحب الماء من الكأس . ويزداد تحرك الماء إلى أعلى كلما زاد التبخر نتيجة لزيادة حركة الهواء عند زيادة سرعة دوران المروحة . أن صعود الماء داخل الأنبوب الزجاجي بشكل عمود متواصل دون أن ينقطع أو ينكسر هو بسبب قوة التماسك بين جزيئات الماء وقوة التلاصق بين جزيئات الماء والأنبوب الزجاجي .وعند مقارنة التجربة السابقة بالنبات النامي في التربة فان الماء الموجود في الكأس هو يمثل الماء الموجود في التربة والأنبوب الزجاجي تمثله أنسجة الخشب الناقلة وخاصة الأوعية . أما سطح التبخير (الاسفنجة) فيمثلها سطح التبخر في الورقة إلا وهي خلايا الطبقة الأسفنجية في ميزوفيل الورقة . أي كلما زاد التبخر من سطح الخلايا الخارجية للورقة يؤدي إلى سحب الماء من الأوعية الخشبية . كما يلعب الفرق في الضغط الازموزي بين الخلايا كعامل مساعد في صعود الماء إلى الأعلى .

المحاضرة السادسة (فسلجة النبات) :

انتقال الغذاء :

يوجد نظام ناقل مقتدر في نقل المواد الغذائية يفي باحتياجات الخلايا المستهلكة للغذاء . وهو موجود على شكل خلايا متخصصة تدعى بعناصر الأنابيب المنخلية وهي مجموعة من الخلايا يطلق عليها نسيج اللحاء phloem ويتشابه هذا النسيج مع نسيج الخشب حيث كليهما يمثل شبكة من القنوات التي تمتد إلى جميع أجزاء النبات والذي يقوم نسيج اللحاء بنقل الغذاء المصنع (السكر) من الأوراق التي تعتبر مصادر تصنيع الغذاء source إلى أماكن الاستهلاك sink مثل الجذور والأوراق الحديثة غير مكتملة النمو والسيقان والثمار والأزهار والبذور.

تشريح أنسجة اللحاء :

أنواع خلايا نسيج اللحاء ووظائفها :

يتكون نسيج اللحاء في نباتات مغطاة البذور من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وسكلرنكيمية وبرنكيمية بينما في عارية البذور مثل الصنوبريات من خلايا غربالية وخلايا البومية وألياف وخلايا برنكيمية .

الأنابيب الغر بالية sieve tubes :

تتكون من وحدات من الأنابيب الغر بالية وكل وحدة منها لها جدران ابتدائية رقيقة سليلوزية وتحتوي في البداية على سايتوبلازم كثيف ونواة ومحتويات أخرى بروتينية لزجة وعند النضج تختفي النواة ويكون السايتوبلازم بشكل طبقة رقيقة تبطن الجدار من الداخل مع وجود فجوة عصارية كبيرة ثم يتحلل جدار الفجوة لاحقا مسببا اختلاط محتويات الفجوة العصيرية مع السايتوبلازم . ترتبط وحدات الأنابيب المنخلية مع بعضها من نهايتيها بجدران مثقبة قد تكون أفقية أو مائلة وتسمى بالصفائح المثقبة sieve plates وتوجد ثقوب جانبية على الأنابيب المنخلية على شكل نقر وظيفتها ربط الخلايا البرنكيمية المجاورة لها عن طريق خيوط بلازمية cytoplasmic strands وهي قنوات تستخدم لنقل الغذاء من الخلايا البرنكيمية إلى الأنابيب المنخلية المجاورة لها .وتعتبر الأنابيب المنخلية حية بعكس أوعية الخشب . وتحاط الصفائح المثقبة بطبقة رقيقة من مادة الكالوس callose وهي مادة كاربوهيدراتية تتكون من وحدات الكلوكوز . توجد في الأنابيب المنخلية الأجسام البروتينية اللزجة وظيفتها هي غلق ثقوب الصفائح عند حدوث اختلال في الجهد المائي لخلايا الأنابيب المنخلية والتي تمنع الانسياب السريع للمواد الغذائية المجهزة من قبل الأوراق لأنه إذ لم تغلق هذه الثقوب فان الغذاء سوف ينتقل إلى الجذور بسرعة كبيرة دون استفادة بقية أجزاء النبات منه وتشترك هذه الأجسام البروتينية اللزجة مع الكالوس في غلق ثقوب الصفائح للأنابيب المنخلية إثناء فترة الشتاء .

الخلايا الغربالية sieve cells :

هي خلايا اسطوانية طويلة لاتوجد صفائح مثقبة فيها كما في الأنابيب الغربالية بل توجد مساحات مثقبة ثقوبها ضيقة ولا توجد لها خلايا مرافقة كما في الأنابيب المنخلية ولكن تجاورها خلايا البومية albuminous cells تشابه الخلايا المرافقة . وتوجد الخلايا الغربالية في نباتات عارية البذور .

الخلايا المرافقة companion cells :

وهي خلايا برنكيمية متخصصة ترافق الأنابيب المنخلية من خلال التصاقها بها . وتحتوي الخلايا المرافقة على سايتوبلازم كثيف ونواة وترتبط كل خلية مرافقة جانبيا بالأنبوب المنخلي عن طريق خيوط بلازمية تمر عبر النقر .توجد علاقة وثيقة بين الأنبوب المنخلي والخلية المرافقة إذ تموت الأنبوبة المنخلية في حالة موت الخلية المرافقة

لها . وتتكون الخلية المرافقة عندما تنقسم الخلية الإنشائية إلى خليتين غير متساويتين الكبيرة تكون أنبوبة منخلية والصغيرة تكون خلية مرافقة .

خلايا سكليرنكيمية :

وهي خلايا ليفية وظيفتها دعم وإسناد نسيج اللحاء .

خلايا برنكيمية :

وظيفتها الرئيسية خزن الغذاء .توجد كميات كبيرة من النشأ المخزون وينتقل الغذاء المخزون فيها إلى الخلايا البرنكيمية الأخرى أو إلى الأنابيب المنخلية المجاورة لها جانبيا بالحركة السمبلاستيكية symplastic movement وهي حركة غير قطبية non-polar exchange .

المواد التي ينقلها اللحاء :

تسعة أعشار المواد التي ينقلها اللحاء هي عبارة عن مواد كاربوهيدراتية وان أكثر المواد الكربوهيدراتية انتقالا عبر نسيج اللحاء هو السكروز . بالإضافة إلى ذلك كميات قليلة من سكر الرافينوز والستاشيوس والفيرباسكوز raffinose , stachyose , verbascose وهي مركبات سكرية تتكون من جزيئات السكروز مرتبطة مع وحدات من الكالاكتوز .

انتقال الغذاء :

ينتقل الغذاء عبر اللحاء بطريقة الحركة المزدوجة Bidirectional movement أي في اتجاهين متعاكسين فينتقل الغذاء المصنع من الأوراق إلى الأسفل لمنطقة الجذور والى الأعلى إلى القمم الخضرية النامية والأزهار والثمار والبذور .

العوامل المؤثرة على الانتقال :

1. **درجة الحرارة :**

تؤثر درجة الحرارة تأثير غير مباشر على انتقال الغذاء عن طريق تأثيرها على عملية البناء الضوئي والتنفس أو بشكل مباشر على عملية انتقال الغذاء فلقد وجد أن امثل درجة حرارة لانتقال الغذاء تتراوح بين 20 – 30 ^{o}م .

2. **الضوء :**

لقد وجد من خلال الدراسات أن سرعة انتقال الغذاء إلى الجذور في الظلام أسرع مما في الضوء إذ لوحظ أن تعريض نبات فول الصويا بعمر 30 يوم إلى الضوء لمدة ثلاث ساعات ونبات آخر لنفس النوع والعمر ترك لمدة ثلاث ساعات في الظلام قد أدى الضوء إلى نقل 4.4% من المواد العضوية في النبات المعرض للضوء في حين كانت نسبة انتقال الغذاء في النبات المعرض للظلام 16.5% . وفي تجربة أخرى مماثلة لوحظ أن نسبة السكروز المنتقلة خلال فترة 14 ساعة إضاءة عبر اللحاء إلى الجذور هي 1% بينما النبات المعرض إلى 14 ساعة ظلام كانت نسبة السكروز المنتقلة إلى الجذور 40% .

3. **اختلاف التركيز :**

أن انتقال الغذاء سوف يعتمد على الفرق في التركيز أي من التركيز العالي إلى الواطيء .

4. **نقص العناصر :**

لقد وجدت الدراسات أن عنصر البورون له دور كبير في عملية انتقال السكروز إذ ازداد سرعة انتقال السكروز عبر نسيج اللحاء عند إضافة عنصر البورون .

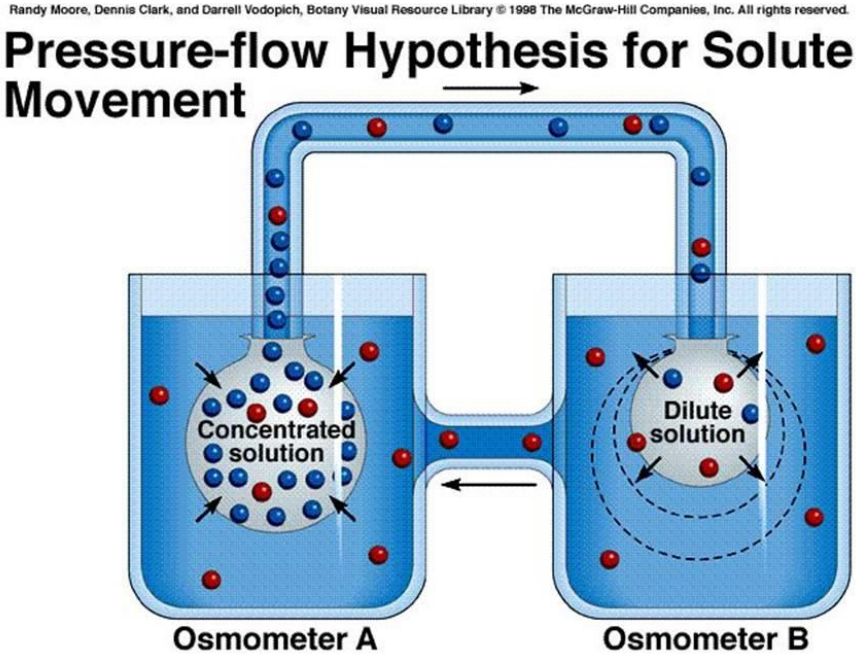
5. **الهورمونات :**

نتيجة لوجود الهرمونات في القمم النامية فأنها سوف تشجع انتقال المغذيات إلى أماكن النمو وذلك لحاجتها لها ومن أهم الهرمونات النباتية التي تشجع انتقال المغذيات هي الكاينتين kinetin وحامض أندول الخليك IAA وحامض الجبرليك GA .

ميكانيكية انتقال الغذاء عبر اللحاء :

1. **نظرية التدفق الكبير Bulk flow theory :**

وهي النظرية التي وضعها الباحث الألماني مونش Munch من خلال تجربته المبينة في الرسم التالي :



حيث أن المواد المذابة سوف تنتقل من المنطقة أ التي أضيف لها السكروز إلى المنطقة ب بالعملية الازموزية . أن الضغط المتولد في المنطقة أ نتيجة لإضافة السكروز سوف يؤدي إلى دفع الماء خارج

المنطقة ب ثم يخرج الماء من المنطقة ب عائدا إلى المنطقة أ . أن سرعة التدفق من المنطقة أ إلى ب سوف تؤدي إلى نقل الذائبات معها (السكروز) .

2. **نظرية التيارات السايتوبلازمية Cytoplasmic streaming :**

أن عملية انتقال الغذاء يكون عبر الخيوط البلازمية التي تربط الخلية مع الخلية المجاورة لها عن طريق حركة السايتوبلازم داخل الخلية بشكل دائري كما موضح في الشكل التالي :

3. **نظرية الانتشار الفعال Activated diffusion theory :**

تفترض هذه النظرية أن الخلايا المرافقة للأنابيب المنخلية أو الصفائح المنخلية تعمل كمضخات تعمل عل دفع ونقل الغذاء عبر الأنابيب المنخلية من خلال وجود مادة البروتين التقلصي contractile proteins والتي تغلف الأشرطة الناقلة للغذاء داخل الأنابيب المنخلية .

4. **نظرية الانتشار الطبقي Interface diffusion theory :**

أن المواد التي تقلل من الشد السطحي بين سائلين لا يمتزجان أو بين سائل وغاز سوف يكون لها القابلية العالية على الانتشار بين السطحين . مثلا عند انتشار طبقة رقيقة من النفط على سطح الماء سوف يكون طبقة عازلة بين الماء والهواء فيكون بهذه الحالة سرعة انتشار النفط عالية أكثر من 50000 مرة ضعف سرعة انتشاره في الماء فقط أو في الهواء . وعلى ضوء ذلك يعتقد العلماء المؤيدين إلى هذه النظرية أن سايتوبلازم خلايا عناصر اللحاء توفر طبقات مشابهة لما ذكر في المثال السابق تعمل على انتشار سريع للعصير الخلوي وانتقاله بين الخلايا عن طريق الروابط أو الخيوط البلازمية .

المحاضرة السابعة : فسلجة نبات :

البناء الضوئي Photosynthesis :

تصور الباحثون قبل القرن الثامن عشر أن النبات يحصل على كل شيء من احتياجاته من الغذاء من التربة حتى سنة 1727 م اقترح الباحث Hales بأن جزء من غذاء النبات يأتي من الجو المحيط وان الضوء يشارك في عملية تصنيعه وكان في ذلك الوقت مكونات الهواء غير معروفة .

وفي عام 1804 م استنتج الباحث De Soussure أن هنا نوعين من التبادل الغازي في النباتات احدهما يحدث بوجود الضوء والثاني في الظلام كما وان الأنسجة الخضراء وحدها هي التي تقوم بامتصاص CO_2 وتحرير O_2 في الضوء وان الماء يساهم في عملية البناء الضوئي .

كما استنتج الباحث Robert Mayer عام 1842 م بأن الشمس هي مصدر الطاقة لكل من النباتات والحيوانات وان النباتات تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية في عملية البناء الضوئي .

أما الباحث Sachs فقد وجد في عام 1864 م أن ناتج البناء الضوئي هو عبارة عن مادة عضوية من خلال ملاحظته نمو حبيبات النشا في البلاستيدات الخضراء المعرضة للإضاءة .

وفي عام 1905 تمكن العالم الفسيولوجي Blackman من توضيح ميكانيكية البناء الضوئي . وبين هنالك نوعين من التفاعلات الكيميائية النوع الأول يحدث بوجود الضوء والنوع الآخر لايحتاج الضوء في تفاعلاته .

مصدر الطاقة Source of energy :

أن معظم الطاقة الضرورية للحياة تنشأ بشكل اشعاع كهرومغناطيسي من الشمس . ومقدار الطاقة الشمسية التي تنفذ إلى جو الأرض في كل سنة تقدر بحوالي 56×10^{23} جول بشكل حرارة . ولكن نصف هذه الكمية من الطاقة تنعكس إلى أعالي الجو بواسطة الغيوم والغازات . والنصف الآخر الذي يصل إلى الأرض حوالي 40% منه ينعكس بواسطة سطوح المحيطات والصحاري والباقي من هذا الاشعاع يمتص بواسطة النباتات النامية في اليابسة والبحار لغرض استخدامه في البناء الضوئي . وذلك فان مجموع الطاقة الفعالة المستعملة بصورة حقيقية بعملية البناء الضوئي هي 15×10^{23} جول .

أن الطاقة الهائلة المنبعثة من الشمس تتكون نتيجة للتحولات الذرية التي تحصل لذرات الهيدروجين مكونة ذرات من الهليوم كما في المعادلة التالية :

$$4\ H \longrightarrow He + 2\ e^- + Energy$$

الاشعاع الكهرومغناطيسي Electro-magnetic radiation :

أن الاشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس يصل إلى الأرض على شكل موجات ولكل موجة منها لها طول موجي معين ويقاس بوحدة النانوميتر nanometer (nm) . وتستخدم هذه الوحدة لقياس الطول الموجي للضوء المرئي (وكل واحد نانوميتر يساوي 10^{-9} متر) . لقد بين العالم الفيزيائي إسحاق نيوتن

أن الضوء المرئي مكون من عدة ألوان يترواح بين اللون البنفسجي 380 نانوميتر إلى اللون الأحمر بطول 750 نانوميتر .

وضع العالم انيشتاين نظريته على الضوء عام 1905 م وافترض بان الطاقة الضوئية تنبعث على هيئة جسيمات صغيرة تسمى الفوتونات photons وهي وحدات منفصلة من كوانتم الضوء . أي أن الطاقة الناتجة من كوانتم ضوئي واحد تدعى بالفوتون . ويتناسب طول الموجة عكسيا مع طاقة الفوتون أي أن الفوتون للإشعاع الضوئي ذي الطول الموجي القصير يكون يمتلك طاقة كبيرة في حين الفوتون للإشعاع الضوئي ذي الطول الموجي الطويل يمتلك طاقة اقل .

في عملية البناء الضوئي تمتلك الأنسجة النباتية الخضراء صبغات لها القابلية على امتصاص الطاقة الموجودة في الفوتونات والتي تكون ضمن طول موجي محدد . ثم يتم تحويلها إلى طاقة كيميائية ضمن سلسلة من التفاعلات الكيميائية الخاصة بعملية البناء الضوئي .

أ. صبغات الكلوروفيل Chlorophyll pigments :

أن أهم الصبغات الخضراء الموجودة في النبات التي تشترك في عملية البناء الضوئي هي الكلوروفيل وهي غير قابلة للذوبان في الماء ولكنها تذوب في المذيبات العضوية .

أنواع صبغات الكلوروفيل :

1. كلوروفيل A :

هو المكون الرئيسي للبلاستيدة الخضراء حيث يقوم بامتصاص الضوء أعلى ما يمكن في منطقة الضوء الأزرق والأحمر وتقع ذروة الامتصاص لهذه الصبغة عند طول موجة 663 نانوميتر .موجود في النباتات الخضراء .

2. كلوروفيل B :

ويختلف عن تركيب كلوروفيل A بأنه يحتوي على مجموعة H C O بينما كلوروفيل A يحتوي على مجموعة المثيل CH_3 وقمة الامتصاص لهذه الصبغة عند الطول الموجي 645 نانوميتر . ويوجد في الطحالب الخضراء والنباتات الراقية مع الكلوروفيل A .

3. كلوروفيل C,D :

موجود كلوروفيل A,C في الطحالب البنية أما الكلوروفيل A,D فيوجد في الطحالب الحمراء .

ب. الكاروتينويدات Carotenoids :

وهي موجودة في النباتات والطحالب الحمراء والخضراء والبكتريا القادرة على البناء الضوئي والفطريات وتشمل :

الكاروتين Carotene :

وهـي صـبغة يكـون لونهـا برتقـالي كمـا فـي الجـزر وهـي مشـتقة مـن الصـبغة الحمـراء اللايكـوبين Lycopene الموجودة في ثمار الطماطة وهي عبارة عن جزيئتين متماثلتين من فيتامين A مرتبطة مع بعضهما باصرة مزدوجة وتحتوي جزيئات الكاروتين على H , C فقط .

الزانثوفيلات Xanthophylls :

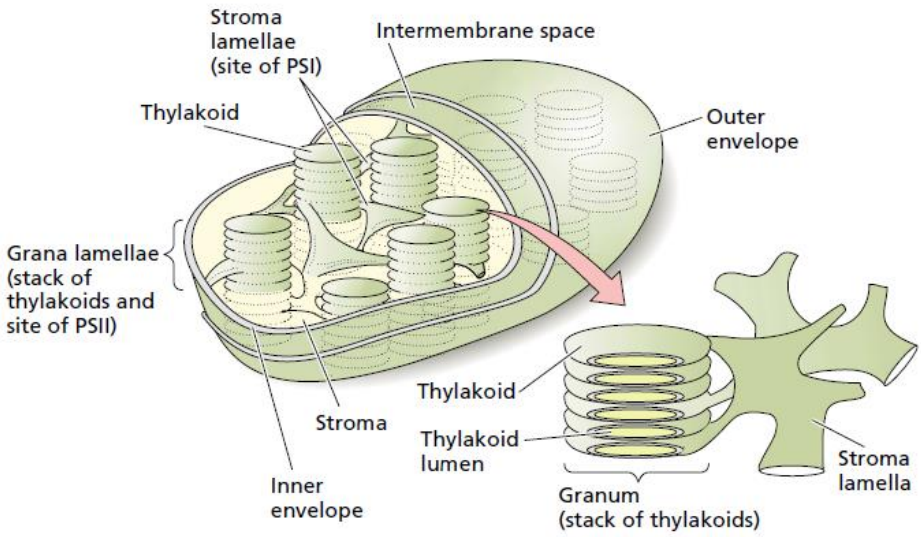
وتوجد بتراكيب مختلفة وأعداد كبيرة ولونها اصفر .

البلاستيدات Plastides :

هي أجسام بروتوبلازمية تعتبر من مكونات الخلية الحية لها القدرة على النمو والانقسام .

أنواع البلاستيدات :

1. البلاستيدات الملونة Chromoplasts : وهي بلاستيدات ذات ألوان مختلفة عدا اللون الأخضر مثل الأصفر والبرتقالي والأحمر ويتوقف اللون على نوع الصبغة الكاروتينية الموجودة فيها كما في البلاستيدات الموجودة في الأزهار والثمار كالطماطة وبعض أنواع الجذور كما في الجزر .
2. البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts : هي بلاستيدات لاتحتوي على صبغات ولها أشكال متعددة وتقوم بخزن الغذاء على شكل نشا فتسمى ببلاستيدات النشا أو على شكل دهون وتسمى ببلاستيدات الدهن . وتوجد البلاستيدات عديمة اللون في الأجزاء غير المعرضة للضوء كما في الدرنات والكورمات واندوسبرم البذور .
3. البلاستيدات الخضراء Chloroplasts : عددها في الخلية الواحدة حوالي 50 –100 بلاستيدة طولها 4–10 مايكرون شكلها يشبه العدسة وهي بلاستيدات ذات لون أخضر وذلك لاحتوائها على صبغة الكلوروفيل وأهمها صبغة كلوروفيل A , B والكاروتين والزانثوفيل وتتكون من كتلة بروتوبلازمية كثيفة تعرف بالحشوة stroma ومغلفة بغلاف مزدوج يتركب من طبقتين بروتينيتين وبينهما طبقة دهنية ويسمى بغلاف البلاستيدة Envelope . وتحتوي الحشوة على أقراص محببة وهي عبارة عن مجموعة من أغشية الثيلاكويد Thylakoid مرتبة بعضها فوق بعض وتسمى بالكرانا grana وتحتوي بداخلها على صبغات البناء الضوئي وعددها يتراوح بين 40–60 في البلاستيدة الخضراء الواحدة في النباتات الراقية . وترتبط الكرانا مع بعضها بممرات أو قنوات تسمى صفائح ما بين الكرانا inter-grana lamellae . ويوجد في الحشوة الإنزيمات المتعلقة بتثبيت ثنائي اوكسيد الكاربون وتحتوي أيضا على الرايبوسومات وحبيبات دهنية ونشوية . كما موضح في الرسم التالي :



تحويل الطاقة :

يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية من خلال امتصاص الطاقة الضوئية من قبل الصبغة فيؤدي ذلك إلى أثارة الالكترونات الموجودة في الصبغة فتتحول من الحالة المستقرة ground state إلى الحالة المثارة excited وذلك لان امتصاص الإلكترون الموجود في جزيئة الصبغة سوف يثار نتيجة لحصوله على طاقة ضوئية عالية يؤدي إلى انتقاله من مداره إلى مدار ابعد وعندما يريد العودة إلى حالته المستقرة أي إلى مداره الأصلي فانه يفقد هذه الطاقة بشكل اشعاع وتسمى هذه العملية بالفلورة fluorescence . ثم يتم استلام هذه الطاقة وتحويلها إلى طاقة كيميائية .

البناء الضوئي :

يتم البناء الضوئي في بكتريا الكبريت الخضراء من خلال تثبيت CO_2 باستخدام كبريتيد الهيدروجين H_2S كما في المعادلة التالية : $2H_2S + CO_2 \longrightarrow 2S + (CH_2O) + H_2O$

أما في النباتات الراقية والطحالب : $2H_2O + CO_2 \longrightarrow O_2 + (CH_2O) + H_2O$

يمكن من خلال المعادلتين وضع معادلة عامة للبناء الضوئي :

$2H_2A + CO_2 \longrightarrow 2A + (CH_2O) + H_2O$.

هناك نوعين من التفاعلات تحدث في عملية البناء الضوئي :

أولا: تفاعلات الضوء :

وتتم هذه التفاعلات بوجود الضوء ومن هذه التفاعلات هي :

أ. التحلل الضوئي لجزيئة الماء Photolysis ويسمى بتفاعل Hill reaction كما في المعادلة التالية :

$$H_2O \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2e^- + 2H^+$$

ب. اختزال المرافق الإنزيمي Nicotine amide Adenine di nuclide phosphate ($NADP^+$) إلى NADPH كما في المعادلة التالية :

$$NADP^+ + H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH$$

ج. تكوين جزيئة adenosine tri phosphate (ATP) من adenosine di phosphate (ADP) وفوسفات عضوية (Pi) كما في المعادلة التالية :

$$ADP + H2PO_4^- \longrightarrow ATP$$

هذا التفاعل أول من لاحظه باحث يسمى Arnon حيث وجد أن جزيئة الـ ATP يتم بناءها في البلاستيدة الخضراء المعزولة تحت الضوء وسميت هذه الحالة بالفسفرة الضوئية Photo phosphorylation :

$$ADP + Pi + Light \xrightarrow{chloroplast} ATP$$

ميكانيكية اكتساب الطاقة الضوئية في البلاستيدة الخضراء :

هنالك نوعين من الصبغة تتعاون بشكل منفصل بعملية البناء الضوئي :

1. صبغة P680 :

يحتوي كلوروفيل A على كمية كبيرة من هذه الصبغة وهي موجودة بكمية قليلة في كلوروفيل B و الكاروتين . وتسمى هذه الصبغة بالنظام الضوئي الثاني Photo system II (PSII) . ويوجد في هذا النظام مستقبل للإلكترون وهو (Pheo phytin) ويرمز له pheo والكوينون Quinone الذي يرمز له Q ويحتوي كذلك على البروتين الحاوي على المنغنيز ويرمز له (Mn-protein) .

2. صبغة P700 :

يحتوي كلوروفيل A على كمية كبيرة من هذه الصبغة وهي موجودة بكمية قليلة في كلوروفيل B و الكاروتين . وتسمى هذه الصبغة بالنظام الضوئي الأول Photo system I (PSI) . ويوجد في هذا النظام مستقبل للإلكترون وهو بروتين يحتوي على الحديد والكبريت ويرمز له (Fe-S- protein) وبروتين حاوي على الحديد فقط يسمى الفيرودوكسين Feiredoxin (Fd) .

ولغرض انتقال الالكترونات من النظام الضوئي الثاني (PSII) إلى النظام الضوئي الأول (PSI) هنالك نوعين من حوامل الالكترونات electronic carriers لغرض ربط النظامين معاً هما :

أ. بروتين حاوي على النحاس Plastocyanin (PC) ينقل الإلكترون من (PSII) إلى (PSI) ويعود إلى (PSII) مرة أخرى .

ب. الحامل الثاني يسمى Plastoquinone (PQ) ينقل الإلكترون من (PSII) إلى (PSI) ويعود إلى (PSII) مرة أخرى .

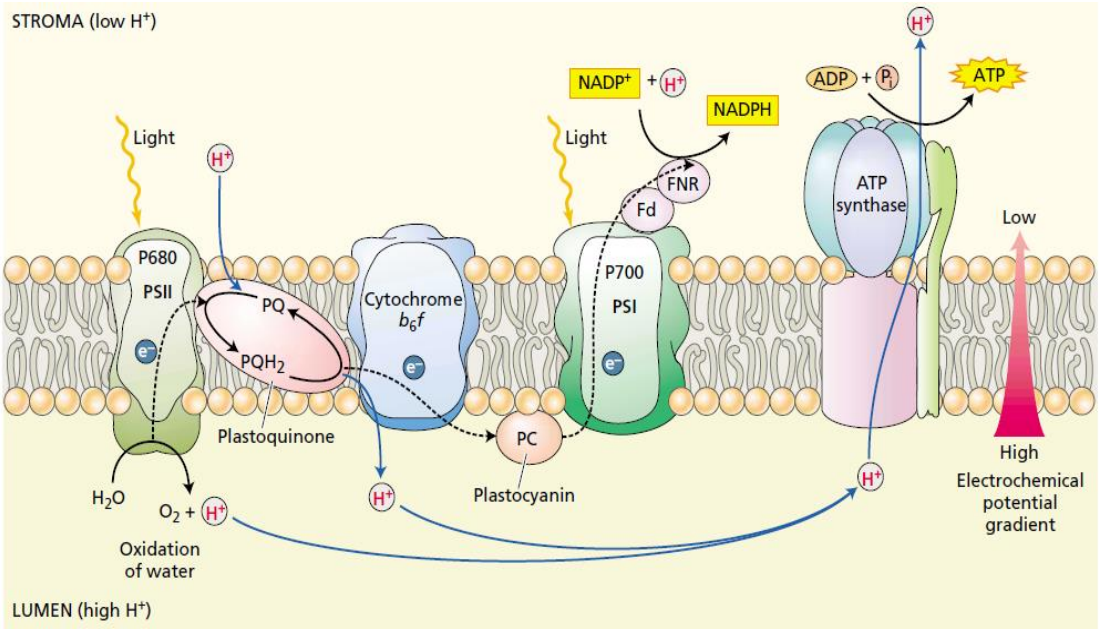
ميكانيكية عمل النظامين سوية في البناء الضوئي :

يتم امتصاص الطاقة الضوئية (الفوتونات) من قبل مركز التفاعل (P680) للنظام الضوئي الثاني (PSII) وهذه الطاقة المكتسبة من قبل الصبغة سوف تؤدي إلى أثارة الإلكترون الموجود في الصبغة (P680) مما يؤدي إلى انتقال الإلكترون من مداره إلى مسافة ابعد أي تحوله من الحالة المستقرة إلى الحالة المثارة ، مما يؤدي ذلك إلى اكتسابه من قبل الـ (Pheo) . أما الإلكترون الذي تم فقدانه من قبل الصبغة نتيجة إلى حالة الإثارة فيتم تعويضه من (Mn-protein) والإلكترون الذي يفقده هذا المركب (Mn-protein) يتم تعويضه من الالكترونات الناتجة من تحلل الماء بتفاعل هل (Hill-reaction) .

أما الإلكترون المكتسب من قبل (Pheo) سوف ينتقل إلى ناقل آخر الكوينون (Q) ومنه إلى (PQ) الذي يختزل إلى (PQH2) وبعدها إلى Fe-S protein ومنه إلى Cyt F الموجود بين النظامين الثاني والأول . وبعدها ينتقل الإلكترون إلى (PC) الذي يتحرك عبر أغشية الثيلاكويد والذي ينقل الإلكترون إلى النظام الضوئي الأول (PSI) .

وتستقبل الصبغة (P700) في النظام الضوئي الأول هذا الإلكترون من (PC) نتيجة لتهيج (أثارة) الإلكترون الذي فقدته نتيجة لاكتسابها الطاقة الضوئية والذي اكتسب من قبل (Fe-S protein) ومنه إلى (Fd) والذي يقوم باختزال مركب NADP+ إلى NADPH .

كما يوجد مركب بروتيني معقد يسمى Coupling Factor (CF) وهو المسؤول عن بناء ATP من ADP و Pi بواسطة إنزيم ATPase بواسطة الفسفرة الضوئية .



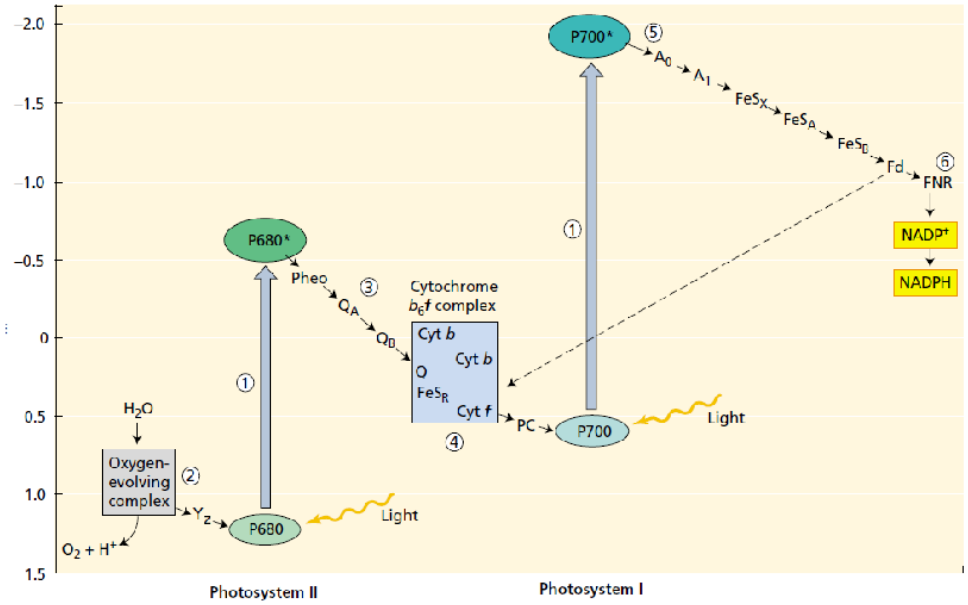
أنواع الفسفرة الضوئية :

1. الفسفرة الضوئية غير دائرية :

وهي عملية بناء الطاقة بوجود الضوء من خلال بناء جزيئة ATP من ADP و Pi بوجود الضوء وان الإلكترون المثار في هذه العملية ينتقل إلى مركب آخر يسمى مكتسب للإلكترون والطاقة التي يتم تحررها من الإلكترون المثار لكي يعود إلى حالته المستقرة يتم تحويلها إلى طاقة كيميائية ولايعود هذا الإلكترون إلى المركب المانح للإلكترون مرة أخرى وإنما يتم تعويض المركب المانح للإلكترون من الالكترونات الناتجة من التحلل المائي في تفاعل هل . وان نواتج الفسفرة الضوئية غير الدائرية هي O_2 , NADPH , ATP .

2. الفسفرة الضوئية الدائرية :

تحصل في النظام الضوئي الأول (PSI) ، حيث ينتقل الإلكترون المثار من (P700) إلى (Fe-S protein) ومنه إلى (Fd) وبعدها ينتقل إلى Cyt b ومنه إلى PQ ومنه إلى Fe-S protein ومنه إلى Cyt F ثم إلى PC ثم يعود الإلكترون مرة أخرى إلى (P700) بعد أن حرر الطاقة إلي تم اكتسابها نتيجة الإثارة والتي تم اكتسابها وتحويلها إلى طاقة كيميائية . أي أن الفسفرة الضوئية الدائرية تحدث في النظام الضوئي الأول ولا تحتاج إلى النظام الضوئي الثاني . وان نواتج الفسفرة هي مركب ATP فقط الذي يتم بناءه في Coupling factor (CF) .



ثانياً : تفاعلات الظلام :

دورة كالفن (Calvin cycle) :

تحدث دورة كالفن في الستروما (الحشوة) في الكلوروبلاست (البلاستيدة الخضراء) وتتضمن ثلاثة أقسام رئيسية هي :

أ. **Carboxylation** : تثبيت CO_2 : كما في المعادلة التالية :

$3CO_2 + 3RuBP + 3H_2O \longrightarrow 6(3PGA)$

يتضمن اضافة CO_2 والماء الى RuBP لتكوين جزيئتين من (3PGA) .

RuBP : Ribulose bis phosphate .
3PGA : Phospho Glyceric Acid .

ب. **Reduction :**

$6(3PGA) + 6NADPH + 6H^+ + 6ATP \xrightarrow{\text{Reduction}} 5(3PGAld) + (3PGald) + 6NADP^+ + 6ADP + 6Pi$

* يتم فيها اختزال (3PGA) الى (3PGald) .

3PGald : 3 phospho glyceric aldehyde
Pi : inorganic phosphate

ج. **Regeneration :**

$5(3PGald) \xrightarrow{\text{Regeneration}} 3RuBP$

المقصود بـ Regeneration هو استعادة تكوين RuBP لكي يتفاعل مرة اخرى مع CO_2 .

الملخص :

كل ثلاث دورات من كالفن تثبت ثلاثة جزيئات من CO_2 والصافي هو جزيئة واحدة من (3PGald) .

اي ان متطلبات تثبيت جزيئة واحدة من CO_2 هي جزيئتين من NADPH وجزيئتين من ATP . أما جزيئة ATP الثالثة تستعمل في استعادة تخليق (regeneration) مركب RuBP .

تثبيت CO_2 في نباتات رباعية الكاربون :

هنالك نباتات اخرى تقوم بتثبيت CO_2 كما في نباتات قصب السكر وأشجار نخيل التمر حيث تقوم بتثبيت CO_2 الى حوامض رباعية الكاربون مثل حامض الماليك Malic acid وحامض الأسبارتيك Aspartic acid . ويتم تثبيت CO_2 من خلال اتحاد CO_2 مع Phospho enol pyrovate (PEP) ويكون CO_2 متأيناً بصورة (HCO^-_3) ايون الكاربونات كما في المعادلة التالية :

$HCO^-_3 + PEP \xrightarrow{\text{PEP-carboxylase}} OAA + Pi + H_2O$

OAA : oxalo acetic acid .

$OAA \xrightarrow{\text{malate dehydrogenase}}$ Malic acid

$OAA + \text{alanine} \xrightarrow{\text{Transmination}} \text{Aspartic acid} + \text{Pyrovic acid}$

توجد في اوراق نباتات رباعية الكاربون نوعين من الخلايا في اوراقه هي :

Mesophyll cells : MC وخلايا BSC (Bundle sheath cells) .

تتكون خلايا BSC من طبقة او طبقتين من الخلايا المتراصة ذات الجدار المثخن ويحاط بالحزم الوعائية بحيث تفصلها هذه الحزم الوعائية عن MC وهي تحتوي على اكبر عدد من البلاستيدات الخضر والمايتوكوندريا والجسيمات الاخرى وفجواتها تكون أصغر . كما ان حامضي الماليك والاسبارتيك يتكون فقط في خلايا MC بينما

يتكون حامض3PGA في خلايا BSC فقط . وان انزيم Rubisco موجود فقط في خلايا BSC اما انزيمات دورة كالفن موجودة فقط في خلايا BSC بينما يوجد انزيم PEP-carboxylase في خلايا MC فقط .

ميكانيكية تثبيت CO_2 في نباتات رباعية الكاربون :

1. يدخل CO_2 من الثغور ويثبت بصورة حامضي الماليك والاسبارتيك في خلايا MC .
2. بعدها ينتقل حامضي الماليك والاسبارتيك الى خلايا BSC بواسطة الروابط البلازمية .
3. يتم ازالة مجموعة الكاربوكسيل (COOH) منها فيتكون CO_2 الذي يثبت بواسطة RuBP وانزيم Rubisco الى 3PGA في BSC .
4. الحوامض الناتجة من تكوين 3PGA هي البايروفيك والانين تعود مرة اخرى الى خلايا MC لغرض استمرارها في تثبيت CO_2 مرة اخرى من خلال تكوينها PEP الذي يثبت CO_2 في خلايا MC بواسطة انزيم PEP-carboxylase .

نباتات CAM (Crassalacean acid metabolism):

تحتوي العديد من الاوراق الصحراوية على اوراق سميكة وقليلة النتح وخلاياها تحتوي على فجوة كبيرة وتسمى هذه النباتات بالنباتات العصارية Succulent plants تفتح ثغورها في الظلام (الليل) لتكوين OAA الذي يختزل الى حامض الماليك ويتجمع في الفجوة العصارية . وفي اثناء النهار (فترة الضوء) تغلق الثغور ، ويتحول حامض الماليك الى 3PGA بواسطة انزيم Rubisco كما في نباتات رباعية الكاربون C4-Plants . كما في المخطط التالي :-

(Night)Starch Glycolysis→PEP $\xrightarrow{CO_2}$ OAA ⟶ Malate ⟶ Malic acid ⟶ Vacuole
(Light) Malic acid ⟶ Malate ⟶ OAA → CO_2 + PEP ⟶ 3PGA (Calvin cycle)

أهم الفروقات بين نباتات C4 و CAM في تثبيت CO_2 :

1. يوجد نوعين من الخلايا في نباتات C4 هي MC و BSC تتعاون فيما بينها لغرض تثبيت CO_2 بينما في في نباتات CAM يوجد نوع واحد من الخلايا ولكنها تنظم عملها بين فترتي الليل والنهار .
2. الفجوات العصارية في نباتات C4 تكون صغيرة بينما في نباتات CAM تكون كبيرة .

<u>ملاحظات</u> :

أ. ينخفض pH في الليل في نباتات CAM ليصل pH الى 4 وذلك لانها تخزن حامض الماليك اثناء الليل داخل الفجوة .

ب. تسلك نباتات CAM في حالة الظروف الطبيعية عند توفر الماء والامطار الغزيرة وانخفاض درجات الحرارة سلوك نباتات C3 في طريقة تثبيت CO_2 اذ تفتح ثغورها في النهار وتغلق بالليل .

المحاضره الثامنه:

التنفس Respiration :

التنفس هو تحرير الطاقه اللازمه للنمو والتكاثر من خلال تحويل المركبات المعقده مثل الكاربوهيدرات الى جزيئات صغيره. أن عمليات الأيض Metabolism في الخليه تنقسم الى نوعين الأول هو عمليات الهدم والثاني عمليات البناء. أن عملية التنفس Respiration هي عملية هدم Catabolism للمركبات المعقده وتحويلها الى جزيئات صغيره وهي تفاعلات محرره للطاقه Exergonic reaction. أما عملية البناء الضوئي Photosynthesis فهي عملية بناء Anabolism وهي تفاعلات تحتاج الى طاقه Endergonic reaction.

هنالك نوعين من التنفس الذي يحدث في الكائنات الحيه هما:

1. التنفس الهوائي Aerobic Respiration: ويحدث في الكائنات الراقيه مثل الأنسان والنباتات والحيوانات. ويتم هذا النوع من التنفس بوجود الاوكسجين والذي تنهدم به المركبات المعقده بصوره كليه مثل الكاربوهيدرات الى جزيئات من ثنائي أوكسيد الكاربون والماء ويكون مصحوبا هذا الهدم بتحررطاقه عاليه كما موضح في المعادله التاليه:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O \quad \text{Energy} = -686 \text{ Kcal./Mol.}$$

2. التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration: ويحدث في الكائنات البدائيه مثل بعض أنواع البكتريا والخميره. ويتم هذا النوع من التنفس بغياب الاوكسجين والذي تنهدم به المركبات المعقده بصوره جزئيه مثل الكاربوهيدرات الى جزيائات مثل ثنائي أوكسيد الكاربون والكحول ويكون مصحوب بتحرر طاقه قليله كما موضح بالمعادلة التاليه:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH \quad \text{Energy} = -56 \text{ Kcal./Mol.}$$

ويطلق ايضا على عملية التنفس اللاهوائي بالتخمر الكحولي Fermentation .

أن الأنسجة النباتيه يمكنها ان تتنفس تنفسا لاهوائي بغياب الاوكسجين ولكن ليس على مده طويله وذلك بسبب أن الطاقه المتحرره تكون غير كافيه لحدوث الفعاليات الحيويه بالانسجه مثل الانقسام الخلوي والتخليق اللاهوائي وانتقال الاملاح أولا. والسبب الاخر هو تراكم المواد السميه الناتجه من التنفس اللاهوائي في الخلايا مثل الكحول والاستيلديهايد.

مراحل التنفس الهوائي Aerobic respiration stages :

أولا: مرحلة التحلل الكلايكولي Glycolysis:

وهي التفاعلات التي تحدث في سايتوبلازم الخليه اذ تتوفر انزيمات هذه المرحله التي تحول جزيئة سكر الكلوكوز الى جزيئتين من حامض البايروفيك وتحدث بغياب الاوكسجين وتنقسم الى اربعة تفاعلات:

أ. فسفرة جزيء الكلوكوز الى فركتوز ثنائي الفوسفيت وذلك يتم باستهلاك جزيئين من ATP.

ب. يتفكك جزيء الفركتوز ثنائي الفوسفيت الى جزيئين من مركب ثلاثي الكربون المفسفر.

ت. يتأكسد المركب الثلاثي المفسفر PGAld الى PGA ويتكون جزيئين من ATP في هئه الخطوه.

ث. يتحول PGA بسلسله من التفاعلات الى حامض البايروفيك (حامض ثلاثي الكاربون) ويكون مصحوب بتكوين جزيئين من ATP .

ثانيا: المرحله الانتقاليه Transition stage:

تتضمن سلسله من التفاعلات الهوائية لحامض البايروفيك التي تؤدي الى انتاج مركب Acetyl CoA ويكون مصحوبا بتوليد 3 جزيئات من ATP كما هو موضح في المعادلة التاليه :

$$\text{Pyrovic acid} + \text{CoA-SH} + NAD^+ \longrightarrow \text{Acetyl –S-CoA} + NADH + H^+ + CO_2$$

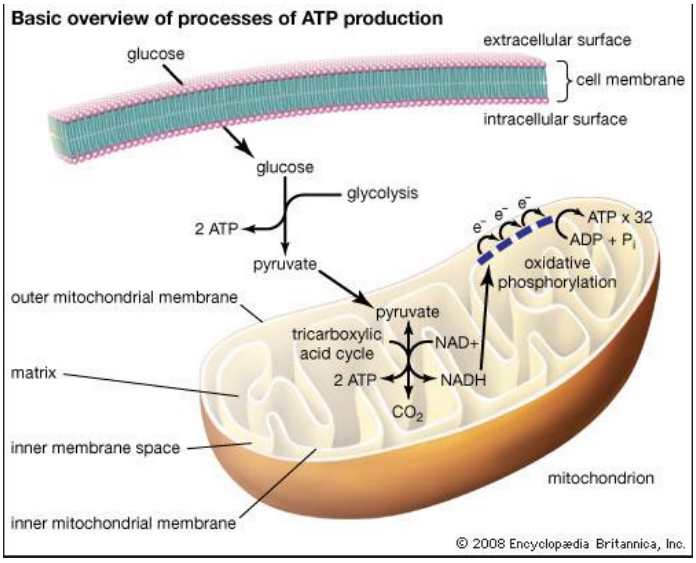
ثالثا: دورة كريبس Krebs cycle:

وهي تفاعلات هامه تحدث بشكل دائره تبدأ باكسدة الاستيل المرافق الانزيمي أ (Acetyl CoA) الى ثنائي اوكسيد الكاربون والماء مع انتاج عدة جزيئات من ATP وهي تتضمن اربعة تفاعلات تأكسديه اختزاليه لذلك تتكون 12 جزيئة من ATP وسميت هذه السلسله من التفاعلات بدورة كريبس تيمنا بالعالم الكيميائي Hans Krebs الذي اكتشفها.

رابعا: مرحلة نقل الالكترونات Electronic transport stage:

ويتم نقل 10 الكترونات بواسطة نواقل الكترونيه و10 بروتونات (ايونات الهيدروجين) تستخدم في أكسدة الاوكسجين لتكوين خمسة جزيئات من الماء كما موضح في المعادلة التاليه:

$$10\ H^+ + 10\ e^- + 2.5\ O_2 \longrightarrow 5H_2O$$



شكل يوضح تركيب بيت الطاقه المايتوكوندريا

المحاضرة التاسعه : النمو The Growth:

هو أبرز صفه من صفات الكائن الحي وهي عملية فسيولوجيه مهمه تكون مصحوبه بزياده في حجم وتغير في الشكل وزياده في الماده الجافه. يجب أن نفرق بين النمو والتطور (التكشف) Development. فالتكشف يمكن أن يعرف هو التغير في شكل الكائن الحي أو في درجة تنوعه وتعقيد تركيبه. أما النمو فهو التغير الكمي لما يضيفه الكائن الحي خلال مده زمنيه محدده. يمكن تقدير معدل النمو عن طريق قياس الزياده في طول بعض أعضاء النبات مثل طول الساق أو الجذر أو الزياده في قطر أعضاءه أو المساحه كما في حساب مساحة الأوراق أو الزياده في حجم البذور أو الثمار أو الزياده في الوزن الطري أو الجاف للنبات كله أو أحد أعضائه خلال مده زمنيه محدده.

يحدث النمو عندما تزداد فعالية النبات في بناء الغذاء أكثر من استهلاكه. عند النمو يتم مضاعفة البروتوبلازم الخلوي وتكوين الجدران الخلويه وهذا يحتاج الى غذاء وطاقه لازمه للنمو ولذلك سوف تكون عملية البناء الضوئي وصنع الغذاء من قبل النبات عمليات ضروريه لحدوث النمو. ولايحدث تكوين للبروتينات أذا لم يكن هنالك أحماض أمينيه ومواد سكريه للحصول على الطاقه ولاتتكون جدران خلويه مالم يكن هناك سكريات معقده مثل السليلوز. ويحدث النمو بشكل عام اذا تفوقت عمليات البناء Anabolism على عمليات الهدم Catabolism .

يكون نمو الأوراق والثمار نموا محدودا أي بعد مده محدده من الزمن تصل الى مرحلة البلوغ الفسيولوجي أو اكتمال النمو Maturation . الا أن بعض أنواع من خلايا النبات مثل الخلايا البارنكيميه لها القدره على فقدان التمايز De-differentiation أي تتحول من خلايا ناضجه أو بالغه الى خلايا انشائيه أو مرستيميه الذي يجعل منها قادره على استئناف النمو من جديد عن طريق تكوين خلايا جديده لتكوين جذور عرضيه أو براعم أو ما شابه ذلك على سبيل المثال.

أن النمو يمكن أن يقسم الى ثلاث مراحل يمكن تمييزها بسهوله وهي:

1. عمليات الانقسام الخلوي Cellular division وتكوين خلايا جديده.
2. كبر حجم الخلايا الجديده وزيادة اتساعها Cell enlargement.
3. تمايز هذه الخلايا بعد اكتمال اتساعها وبلوغها أو اكتمال نضجها.

لا يوجد حدود فاصله بين تلك المراحل الثلاثه للنمو وانما تنتقل تدريجيا من مرحلة نمو الى أخرى. ويمكن اطلاق الاصطلاحات التاليه على المراحل الثلاثه للنمو كما يلي:

1. Cell Division.
2. Cell Elongation.
3. Cell Differentiation.

ففي مرحلة انقسام الخلايا يكون النمو ضئيل جدا نتيجه لتكوين الخلايا الانشائيه او المرستيميه خلايا جديده عن طريق الانقسام الخلوي. يلي تلك المرحلة مرحلة اتساع حجم الخلايا الجديدة من خلال امتصاص الماء والأملاح

والمغذيات من قبل الخلايا الجديده ودخولها الى داخل الخلايا الجديده المتكونه وتجمعها في الفجوات العصيريه مسببا ذلك زيادة حجم الخلايا واتساعها ويصحب ذلك زيادة وزنيه في الخليه نتيجه لزيادة كمية الماء والاملاح المتجمعه في تلك الخلايا. بعد ذلك تدخل الخلايا في مرحلة التمايز والتخصص بالوظيفه فقد تتخصص كوعاء في نسيج الخشب أو انبوب غربالي في نسيج اللحاء أو خلية في نسيج البشره أو غير ذلك ويكون لها وظائف متخصصه بها.

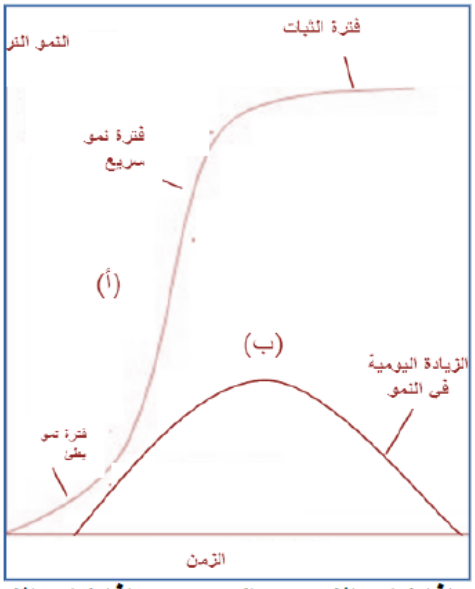
دراسة معدل النمو في الكائن الحي:

عند دراسة نمو خليه مفردة أو مجموعه من الخلايا أو عضو نباتي (جذر أو ساق أو ورقه) أو نبات بأكمله أو مزرعه من البكتريا أو الفطريات أو الخمائر أو الطحالب سوف يكون النمو منخفض او قليل نسبيا في المرحله الاولى من النمو ثم يزداد بسرعه مع مرور الزمن ويصبح سريعا حتى الوصول الى أقصى معدل للنمو ثم ينحدر تدريجيا النمو ويصل الى أقل سرعه وبعدها تصل قيمته الى الصفر. ويكون نمط النمو متشابه في كل قياسات النمو سواء كانت القياسات أبعاد طوليه أو وزنيه أو حجميه وكذلك الحال اذا استغرقت مراحل النمو مده قصيره جدا أو طويله تكون قد مرت بذلك المنحنى الثابت للنمو.

يعبر عن النمو بالمنحنى الأسي للنمو Sigmoid curve وسمي بالأسي لان منحنى النمو هذا يأخذ شكل حرف S باللغه الانكليزيه وهو يمثل التغير الكلي أو التراكمي لمعدل النمو خلال مده زمنيه محدده. أما اذا كان منحنى النمو يمثل فقط معدل الزياده في النمو وليس معدل النمو الكلي فانه يأخذ منحنى النمو متماثل الجانبين اي الجانب الاول يكون هناك زياده في النمو وبعدها يصل الى مرحلة الاستقرار في النمو ثم يحدث هبوط في معدل النمو في الجانب الاخر كما هو موضح في المخطط البياني للنمو الكلي الاسي والزيادة في النمو ذات المنحنى متماثل الجانبين من النمو.

وفي كل منحنى للنمو يمكن تمييز ثلاثة أطوار للنمو هي:

1. طور النمو البطيء Lag phase.
2. طور النمو السريع Log phase.
3. طور استقرار النمو Steady phase.

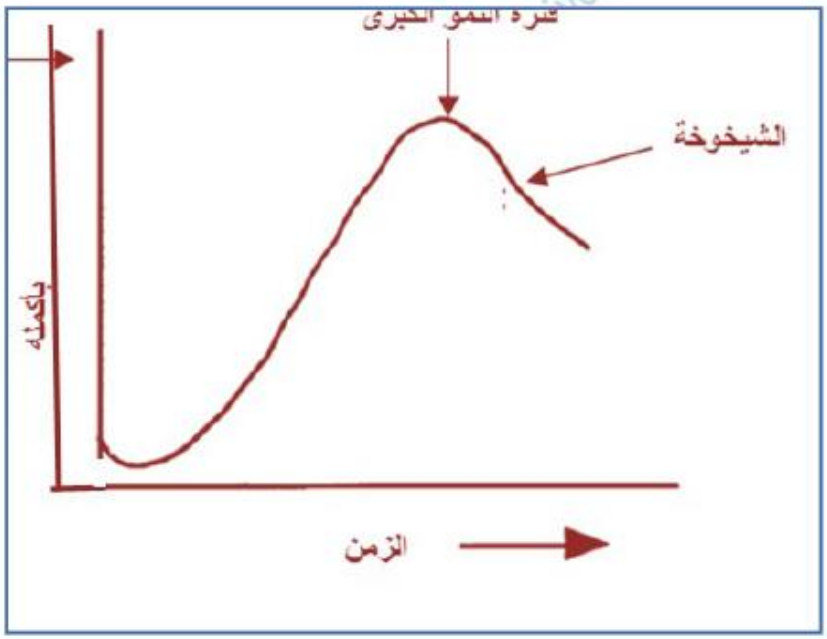


شكل رقم (14) منحنى النمو أ- إذا كان النمو تراكمي ب- إذا كان النمو يمثل الزيادة اليومية الدورية

تؤثر عوامل البيئه في طول المده اللازمه لاتمام النمو . مثلا أن النبات النامي في ظروف غير ملائمه يكون أقصر طولا من النبات الذي ينمو في ظروف أكثر ملائمه للنمو اذا ما ثبتنا المدة عند أخذ قياس الطول وذلك لأن النبات النامي في ظروف بيئيه غير ملائمه للنمو سوف يحتاج الى مده زمنيه أطول للوصول الى الطول الذي وصل اليه النبات الأخر النامي في ظروف بيئيه مثلى.

عند تتبع دورة حياة نبات حولي كما موضح في المخطط في أدناه نلاحظ مايلي:

عند انبات البذور يكون التنفس عاليا لانتاج الطاقه لغرض انقسام الخلايا لتكوين خلايا جديده اثناء الانبات ونمو الجنين ويكون مقدار تراكم الماده الجافه قليل لكون عملية البناء الضوئي تكون قليله او معدومه في تلك المرحله فيكون هناك انخفاض في معدل النمو ثم يليها زياده سريعه جدا في معدلات النمو لزيادة سرعة البناء الضوئي وصنع الغذاء على معدلات التنفس مما يؤدي الى تكوين سلاميات وأوراق جديده وزيادة وزنيه في النبات. بعد هذه المرحلة يبدأ النمو بالهبوط نتيجه لدخول النبات في مرحلة الشيخوخه وذلك لتوجيه الغذاء الى البذور والثمار بدلا من وصولها الى الاوراق الفتيه. وعند هذه المرحله تزداد معدلات عمليات الهدم على عمليات البناء فيفقد النبات من وزنه الجاف ودخوله في طور الشيخوخه.



شكل (15) يوضح المنحنى العام لدورة الحياة الكاملة لنبات حولي

يتأثر النمو بعوامل داخلية وخارجيه وهي كما يلي:-

أ- العوامل الداخليه:

1. الطبيعه الوراثيه للنبات: ويكون النمو محدد بالصفات الوراثيه التي يحملها النبات فقد يكون النمو سريع في بعض النباتات مثل الصفصاف عند توفر الظروف البيئيه المناسبه بينما هناك اشجار بطيئة النمو عند توفر الظروف البيئيه المناسبه مثل الصنوبر والبلوط.
2. الهرمونات النباتيه : توجد مركبات عضويه في النبات تصنع في اماكن معينه في النبات وتنتقل الى أماكن اخرى للنمو في النبات اذ تحفز النمو فيها وبتراكيز ضئيله ومن الهرمونات التي تشجع النمو هي الاوكسينات Auxins والسايتوكاينينات Cytokinins والجبرلينات Gibberellins ويطلق عليها مشجعات النمو Growth Promoters .
3. توفر الغذاء : يعد توفر الغذاء من أهم الشروط اللازمه لحدوث النمو وذلك لغرض بناء الكاربوهيدرات والاحماض النوويه والامينيه والبروتينات والدهون التي تدخل في بناء البروتوبلازم الخلوي والجدران الخلويه كما ان الغذاء هو مصدر الطاقه المتحرره اللازمه في حدوث النمو.

ب-العوامل الخارجيه :

1. توفر الماء: الماء ضروري للنمو ولايمكن للكائنات الحيه النمو والتكاثر عند انعدام الماء.
2. توفر الاملاح المعدنيه في التربه وتمتص من قبل الجذور وتنتقل الى داخل النبات وتصل الى جميع الخلايا في النبات عن طريق نسيج الخشب.

3. درجة الحراره مهمه للنمو لكل نبات درجة حراره مثلى للنمو وعند انخفاض درجات الحراره أو ارتفاعها عن الدرجه المثلى فان ذلك يبطيء من معدل النمو في النبات.
4. توفر الاوكسجين : أن الاوكسجين ضروري لعملية التنفس وتحرر الطاقه اللازمه لحدوث النمو.
5. توفر الاضاءة الكافيه: ويعد عامل الضوء من أهم العوامل المؤثره في النمو وذلك لدوره الكبير في عملية صنع غذاء النبات بعملية البناء الضوئي وكما ان الضوء مهم في صنع الصبغه الخضراء التي تتكون بكميات اكبر عند تعرض الاجزاء النباتيه الى الضوء. اما النباتات التي تتعرض الى ضوء قليل او معدوم (ظلام) فان ذلك يضعف من نمو النبات اذ تكون سيقانه ضعيفه وغضه سهلة الكسر كما تكون شاحبه اي لا تتلون باللون الاخضر المميز للاجزاء الخضريه للنبات فيعرف النبات الشاحب ظلاميا باصطلاح Eliolated.