



المحاضرات النظرية

المحاضرة الاولى:مدخل لدراسة علم فسيولوجيا النبات

فسيولوجيا النبات Plant Physiology :-

هو العلم الذي يدرس كيفية قيام النبات بوظائفه الحيوية، ويشمل فهم عمليات النمو والأيض والتكاثر. يعود تاريخ هذا العلم الى تاريخ اكتشاف الخلية النباتية الذي يعود للباحث Robert Hooke عام 1665، وفي القرن التاسع عشر درست عملية امتصاص وانتقال المواد الأولية والماء في النبات، وفي عام 1894 بين Joly و Dixon نظرية الشد المتناسك ودور النتح في صعود الماء والمذابات الى قمة النبات، ووصف Hartig عام 1837 الأنسجة اللحاءية من الناحية التشريحية والفسيولوجية، وشخص Wilhelm عام 1880 الخلايا المرافقة و دورها الفسيولوجي في النقل اللحاءي، واكتشف العالم Krieb تفاعلات التنفس الهوائي داخل الماييتوكونديريا عام 1947، اما عملية البناء الضوئي ودور الضوء والصبغات فقد ابتداء البحث منذ بدايات القرن الثامن عشر ولازال مستمراً لحد اليوم، لاحظ Priestly عام 1771 تحرر الأوكسجين من النباتات، و درس Engelmann عام 1888 دور اليخضور Chlorophyll في عملية البناء الضوئي، واكتشف Blackman عام 1905 تفاعلات الضوء والظلام، وغيرهم من الباحثين الذين اسهموا في كشف الكثير من الحقائق العلمية في مجال علم فسيولوجيا النبات لحد الأن.

العلاقات المائية للنباتات Plant water Relations

تجري داخل البروتوبلازم التفاعلات الحيوية في وسط مائي بنسبة 80% إلى أكثر من 90% وهي نسبة الماء في البروتوبلازم، والمعروف أن الحياة لا يمكن أن توجد دون وجود الماء.

الخواص الفيزيائية للماء

1-سائل في درجات الحرارة الأعتيادية الملائمة للحياة على العكس من المركبات ذات الأوزان الجزيئية المقاربة.

2- الحرارة الكامنة للتبخر(هي الطاقة اللازمة لتحويل وزن جزيئي غرامي من الماء السائل إلى وزن جزيئي غرامي من بخار الماء والتي تبلغ 44 كيلو جول عند 25°س)عالية والتوصيل الحراري العالي تساعد على تبديد الحرارة العالية والحفاظ على النبات. ودرجة الانصهار(6 جول/اوزن جزيئي غرامي) عالية وهي تحمي النبات من خطر الانجماد لحدود معينة.

3- قوة التماسك والتلاصق عاليتان، مثلاً نجد أن قوة التماسك بين جزيئات الماء هي أكبر من تلاحقها مع الهواء وهذا يسبب مقاومة الشد العالي للماء الذي يفسر صعود الماء في عناصر الخشب ومقاومتها للقطع، كذلك تلعب ظاهرة التلاصق دور في صعود الماء.

4-يمتص الضوء بكميات طفيفة عند منطقة الضوء الأحمر ويشنت الأزرق، وهذا يساعد في ثبات واستقرار الحرارة للنبات ولسطح الكرة الأرضية.

5- اللزوجة العالية (مقاومة السائل لاحتكاك التدفق) وهي تزداد وتنخفض بارتفاع وانخفاض درجة الحرارة بالتتابع.

6-الماء مذيب عام وهو قطبي وذو قابلية على معادلة الجذب الكهربائي بين الجزيئات الذائبة أو الأيونات عن طريق إحاطة الأيون أو الجزيء بطبقة أو أكثر من جزيئات الماء تسمى غلاف التميؤ الذي يقلل فرصة ارتباط الأيونات لتشكل التركيب البلوري.

بعض الظواهر الفيزيائية المرتبطة بالماء

1-الانسياب(التدفق)الاجمالي أو الكتلي Mass Flow or Bulk Flow

ينتج عن قوة الضغط في النظام الفيزيائي مثلاً تحرك الماء الى اسفل منحدر بسبب الجاذبية يحول الطاقة الكامنة الى حركية ثم تتبدد بشكل حرارة وتنخفض طاقة جزيئات الماء. ومن الطبيعي أن تتحرك المذابات في الماء مع حركته.

معدل انسياب الماء=فرق الضغط\المقاومة

2-الانتشار Diffusion

وهو يمثل الحركة العشوائية غير المنتظمة للدقائق، ويحدث بوجود فرق في الطاقة الحرة(كمية الطاقة الممكنة لأداء شغل) بين نظامين. كمية الطاقة الحرة في الوزن الجزيئي الغرامي للمادة تعرف بمفهوم الجهد الكيميائي الذي يقاس بوحدات الطاقة مثل جول/مول. ويمكن تحويلها الى وحدات الضغط مثل باسكال، ويعتمد الجهد الكيميائي لمادة ما تحت ظروف ثابتة من ضغط وحرارة على الأوزان الجزيئية الغرامية من تلك المادة. وتنتقل المواد المذابة من منطقة الجهد الكيميائي العالي الى المنخفض، وهو صحيح بالنسبة للمذيب الماء مثلاً.

العوامل المؤثرة في الانتشار تشمل مقاومة الاحتكاك و التركيز ومساحة المنطقة التي تمر عبرها المادة المنتشرة و الوزن الجزيئي و حجم الذرات المنتشرة ودرجة الحرارة والضغط و نوع وسط الانتشار وقابلية الدقائق المنتشرة للذوبان فيه.

ما اهمية الانتشار لحياة النبات؟

3-الأزموزية Osmosis

هي عملية انتشار الماء عبر اغشية شبة منفذة Semi-permeable membranes أو الأغشية ذات النفاذية الاختيارية Differentially permeable membranes ، الغشاء شبه المنفذ هو الذي

يسمح بمرور دقائق المذيب ولا يسمح بمرور دقائق المذاب مثل ورق السيلوفان، لا توجد أغشية تمنع دقائق المذاب من المرور كلها لكن يبقى هناك بعض الدقائق التي تعبر وهذا الحال ينطبق على الأغشية البلازمية الحية مع خصوصية هذه الأغشية في السيطرة على مرور المواد المذابة. عند فصل الماء المقطر عن محلول سكري أو ملحي بغشاء شبه منفذ مثل السيلوفان فإن فرق الجهد الكيميائي للمذاب والمذيب سوف يلعب دوراً في التوازن إلا أن المذاب لا يستطيع المرور عبر الغشاء سبه المنفذ أي أنه محتجز داخله وعليه يبقى الماء النقي من يملك حرية الحركة وينتقل إلى منطقة المحلول لأن جهدة الكيميائي منخفض فيها على العكس من منطقة الماء المقطر وعند دخوله يعلق في المحلول بسبب جهد الذائبات مما يسبب ضغطاً أزموزي داخل الغشاء يعمل على رفع مستوى الماء لحد معين يساوي الضغط الناشئ عن عمود الماء.

مفهوم الجهد المائي ومكوناته في الخلية

لتعريف الجهد المائي يجب أن نعرف أولاً الجهد الكيميائي الذي يمثل مقدار الطاقة الحرة في جزيء غرامي من المادة وإذا كانت هذه المادة ماء فإنه يعرف بالجهد المائي، وبما أن الطاقة الحرة للماء متغيرة حسب محتوى الماء من الذائبات بثبات العوامل الأخرى فإن الجهد المائي يمثل الفرق بين الجهد الكيميائي للماء في محلول ما والجهد الكيميائي للماء النقي عند درجة الحرارة والضغط نفسهما.

لاحظ الارتباط بين مفهوم الطاقة الحرة والجهد الكيميائي والجهد المائي، فهم الجهد المائي يعتمد على أساس أن لكل مادة طاقة كامنة في جزيئاتها وتسمى بالطاقة الحرة وتكون أعلى ما يمكن عندما تكون المادة نقية، وهي تتأثر بالعوامل:

1- الذائبات 2- الضغط المسلط 3- درجة الحرارة 4- المواد الغروية

أما الجهد المائي للخلية النباتية فهو يمثل محصلة القوى المؤثرة في الجهد الكيميائي للماء في الخلية. الخلية النباتية محاطة بجدار صلب نسبياً تام النفاذية يليه غشاء بلازمي اختياري النفاذية وهذا الأخير يحيط بالفجوة كذلك. وصف هذه القوى:

1- الجهد الأزموزي Osmotic potential ψ_s وهو سالب القيمة دائماً، ناتج عن تأثير الذائبات مثل الأملاح والمواد العضوية مثل السكريات والأحماض الأمينية والأحماض العضوية التي تشكل أيونات وجزيئات بشكل محاليل تخفض الجهد المائي (تجعله أكثر سالبية).

2- جهد الغرويات أو الجهد الهيكلي أو جهد المادة Matric potential ψ_m وهو سالب القيمة دائماً، وناتج عن الغرويات المحبة للماء التي تقيد الماء وبالتالي تنخفض طاقته.

3- جهد الضغط Pressure potential أو الضغط الانتفاخي Turgor pressure ψ_p ، ينتج عن ضغط مكونات الخلية على الغشاء الخلوي ومن ثم الجدار الخلوي ضغطاً إذا استمر في الزيادة فإنه يفجر الخلية ويظهر دور جهد الضغط في كبح هذه القوى والحفاظ على خلايا ممتلئة، وهو موجب القيمة عادةً ويكون سالب القيمة في أوعية الخشب أثناء عملية النتج.

الجهد المائي = الجهد الأزموزي + جهد الغرويات + جهد الضغط

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_m + \Psi_p$$

في الكثير من الحالات تهمل قيمة Ψ_m لان قيمتها منخفضة جداً خصوصاً في الخلايا المتقدمة بالعمر ذات الفجوات، كما يصعب التفريق بين المكونات الغروية والأزموزية، لذلك تصبح المعادلة:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

في حين نجد في البذور ان المواد المخزونة(الغرويات) هي السائدة في الخلية، وان قيم Ψ_s و Ψ_m لا تؤثر كثيراً في تحديد الجهد المائي وبالتالي فإن الجهد المائي يتحدد بقوة جذب الغرويات للماء او ما يسمى بجهد الغرويات، وتصبح المعادلة:

$$\Psi_w = \Psi_m$$

إن حركة الماء من محلول التربة الى انسجة الجذر ثم الساق والأوراق تفسر على اساس الفرق في الجهد المائي، أن دخول الماء للخلية النباتية يسبب:

1-زيادة الجهد الأزموزي(يصبح اقل سالبية).

2-زيادة جهد الضغط.

3-زيادة الجهد المائي(يصبح اقل سالبية).

4-زيادة حجم الخلية بما تسمح به مرونة النسيج.

عندما تكون الخلية في حالة إجهاد مائي أو بلزمة ابتدائية يكون حجم الخلية اقل ما يمكن لأن الضغط الانتفاخي يساوي صفر

$$\Psi_p = 0$$

وعليه فإن الجهد المائي للخلية يساوي:

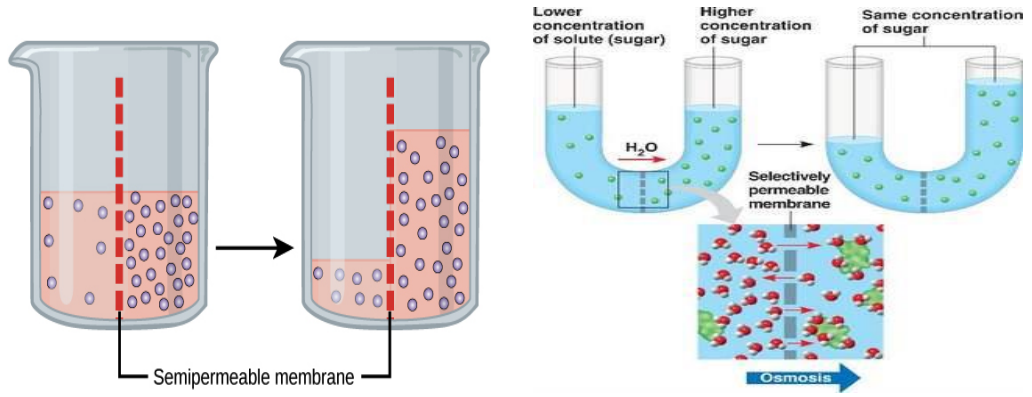
$$\Psi_w = \Psi_s$$

وعند وضع الخلية في ماء مقطر تحدث تغيرات تشمل:

1-زيادة الجهد المائي بسبب

أ- زيادة الجهد الأزموزي(يصبح اقل سالبية). ب- زيادة جهد الضغط.

2-زيادة حجم الخلية ويستمر حتى يتساوى الجهد الأزموزي مع جهد الضغط ($\Psi_p = \Psi_s$) وتوصف الخلية بأنها ممتلئة تماماً.



التشرب Imbibition

هو صورة من صور الانتشار ويمثل حركة الماء أو المذيب عند وجود فرق في الجهد المائي بين المادة المشربة (الماء) والمادة المتشربة Imbibant دون وجود أغشية. ويحدث التشرب بفعل قوة الامصاص Adsorption للمذيبات على اسطح الفقاعات الغروية ويسبب التشرب ضغطاً كبيراً عند وضع المادة المتشربة في حيز محدود. لحدوث التشرب يجب توفر شرطان اساسيان:

1-وجود تدرج في الجهد المائي بين المادة المشربة والمادة المتشربة.
2-وجود الفة او تجاذب بين النظامين، مثلاً تتشرب قطعة الخشب بالماء ولا تتشرب قطعة المطاط ويمكن ان يتشرب المطاط مذيب عضوي مثل الايثر.

في قطعت الخشب الجافة أو البذور لا توجد محاليل سكرية أو ملحية بل مواد ذات طبيعة غروية مثل السليلوز وحببيبات النشأ، وجهد الضغط غير مهم بسبب عدم عزل المواد المشربة عن المواد المتشربة بأغشية اختيارية النفاذية. تصبح معادلة الجهد المائي للبذور الجافة هي:

$$\Psi_w = \Psi_m$$

اين نجد ظاهرة التشرب في النبات؟

1-عملية تشرب البذور بالماء هي اهم و أول مراحل الإنبات وهي تعطي ضغط يسمى بالضغط التشربي Imbibition pressure وهو اعلى ضغط كامن يمكن أن ينشأ في المادة المتشربة عند وضعها في مذيب نقي (الماء مثلاً) وهذا ضروري لتمزيق قصرة البذرة اثناء الإنبات. يمكن ان تصل قوة الضغط التشربي إلى 30 ميكا باسكال. ترتفع درجة حرارة الماء عند التشرب. لماذا؟

2-نقل الماء من الجذر الى الورقة، جزء كبير من العملية يكون عبر تشرب الجدر الخلوية نتيجة للفرق في الجهد المائي بين انسجة الورقة والساق والجذر نتيجة تأثير عملية النتج.

قياس جهد الغرويات للبذور الجافة

توضع بذور جافة معلومة الوزن في تركيزات متصاعدة من محلول سكري أو ملحي وبعد مدة تستخرج وتجفف سطحياً ويعاد وزنها، فالبذور التي استخرجت من تركيز معين ولم تلاحظ زيادة في وزنها يكون ذلك التركيز مناظراً للجهد المائي للبذور وبالتالي جهد الغرويات.

العوامل المؤثرة في التشرب هي:

1-درجة الحرارة تأثير طردي في معدل التشرب من دون التأثير في الكمية الكلية المتشربة.

2-الجهد الأزموزي للمحلول تأثير عكسي أذ يقل التشرب بزيادة الجهد الأزموزي للمحلول.



المحاضرات النظرية

المحاضرة الثانية: امتصاص الماء وصعوده

امتصاص الماء Water Absorption

ينتقل الماء من محلول التربة ذو الجهد المائي العالي الى الجذر ذو الجهد المائي الأقل، يحدث امتصاص قليل للماء في منطقة قمة الجذر بسبب الكثافة العالية للساييتوبلازم وبذلك يواجه الماء مقاومة شديدة، كذلك فإن المنطقة المكتملة النمو تفقد الشعيرات الجذرية وتترسب مواد السوبرين Suberin والكيوتين Cutin على البشرة وتتكون طبقة بشرة خارجية Exodermis فضلاً عن زيادة ترسيب شريط كاسبر Casparian strip في خلايا لبشرة الداخلية وهذا كله يعني اعاقا نفاذ الماء.

آلية امتصاص الماء

يمتص الماء اعتماداً على مفهوم الأزموزية، اي ينتقل من منطقة الجهد المائي العالي الى منطقة الجهد المائي المنخفض، ويحدث هذا عبر الجذر والساق ثم الاوراق نتيجة لنوعين من التأثير:

1-تأثير النتح

عند تبخر الماء من نسيج الورقة بعملية النتح يحدث هبوط في الجهد المائي(يزداد سالبية) وهذا التأثير ينتقل الى الساق لتعويض الانخفاض بالجهد المائي(عن طريق تدفق الماء من الساق الى الورقة) وهو يعني الإنخفاض في الجهد المائي للساق ومن ثم الجذر لينتقل الماء من التربة الى الجذر بسبب تدرج في الجهد المائي.

2-تأثير تراكم الذانبات

إن تدرج الجهد المائي بين محلول التربة والجذر ناتج عن امتصاص الأخير للأيونات امتصاصاً نشطاً(صرف طاقة بشكل ATP)، وهذا يحدث انخفاض في الجهد الأزموزي والجهد المائي(يصبح أكثر سالبية) وهذا يعني الاسراع في دخول الماء الى الجذر وبالتحديد الى الاسطوانة الوعائية مسبب نشوء ضغط يسمى بالضغط الجذري Root pressure يدفع الماء والأيونات الى الأعلى، نجد أن دخول الأيونات هو بالآلية النشطة و سحب الماء هو بالآلية الأزموزية.

الأدلة على صرف طاقة في عملية سحب الماء هي:

1-المركبات المثبطة للتنفس مثل الأزايدين وثنائي نايتروفينول والزرنيخ والسيانيد تعيق امتصاص الماء.

2-الظروف الغدقة(اللاهوائية) تعيق امتصاص الجذور للماء.

3-درجات الحرارة المنخفضة تعيق امتصاص الجذور للماء.

العوامل المؤثرة في امتصاص الماء

1-تركيز محلول التربة

انخفاض الجهد المائي لمحلول التربة يقلل من كمية الماء الممتص، وإذا استمر انخفاض الجهد المائي في محلول التربة يمكن أن يتوقف الجذر عن امتصاص الماء ويعاني عندها من الجفاف الذي يعرف بالجفاف الفسيولوجي *Physiological drought*، إذا استمرت هذه الحالة تموت أغلب النباتات الاقتصادية، إلا أن النباتات الملحية أو الصحراوية تتغلب على هذا الإنخفاض في الجهد المائي لمحلول التربة بخفض الجهد الأزموزي بعملية التنظيم الأزموزي *Osmoregulation* لأنسجة النبات بطريقتين هما:

أولاً-زيادة امتصاص وتراكم الأيونات خصوصاً في الأراضي المالحة لخفض الجهد المائي للنبات، رغم أن أغلب هذه الأيونات سامة وتقلل من إنتاجية النبات فضلاً عن صرف النبات طاقة لإمتصاصها من المحيط، ولكن هي وسيلة للبقاء.

ثانياً-هدم البروتينات والكربوهيدرات للحصول على أحماض امينية وسكريات ذائبة نشطة في خفض الجهد المائي وإبقاء تدرج الجهد المائي لصالح النبات(اي دخول الماء للنبات) ويحدث هذا للنباتات المعرضة لإجهاد الجفاف أو الإجهاد الملحي.

سالمذا تقل إنتاجية المحاصيل المعرضة للإجهاد الملحي أو الجفاف؟

2-تهوية التربة

تكون كفاءة امتصاص الجذر للماء عالية في تربة جيدة التهوية والعكس صحيح وذلك بسبب:

أولاً-نقص الاوكسجين يعيق العمليات الحيوية ومنها الامتصاص النشط للأيونات والعناصر المغذية لأن O_2 اساسي لتحرير الطاقة.

ثانياً-تراكم CO_2 بشكل حامض الكربونيك $H_2 CO_3$ في التربة يزيد من لزوجة البروتوبلازم ويقلل من النفاذية وبالتالي تقل قابلية الجذور على امتصاص الماء.

3-الماء المتيسر

هو كمية الماء في التربة التي تكون بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم.

السعة الحقلية- تمثل كمية الماء التي تستطيع التربة الامساك بها ضد الجاذبية الأرضية. وتبلغ قيمة جهد الغرويات في التربة عند السعة الحقلية 0.03 ميكاباسكال وتختلف النسبة المئوية لرطوبة التربة حسب نوعها فتبلغ 4.5% في التربة الرملية و45.1% في التربة الطينية.

نقطة الذبول الدائم- هي نسبة عجز الماء التي عندها يفقد النبات قابليته على امتصاص الماء حتى لو وضع في اجواء مشبعة بالماء لمدة 24 ساعة، وتبلغ قيمة جهد غرويات التربة عندها -1.5 ميكاباسكال

وتختلف رطوبة التربة عند هذه القيمة حسب نسجتها إذ تبلغ 2.2% في الرملية و26.2 في الطينية. وقد تدبل بعض النباتات عندما يفوق معدل النتح معدل الإمتصاص اثناء الجو الحار(الذبول الأولي).

4-معدل النتح في النبات

زيادة معدل النتح تسبب انخفاض في الجهد المائي للنبات وبالتالي فإن تدرج الجهد المائي يكون في صالح دخول الماء الى النبات.

5- خصائص المجموع الجذري

يختلف المجموع الجذري بين النباتات في كونه وتدي متعمق او سطحي متفرع قرب سطح التربة وان مدى اختراقه للتربة وكثافته وخصائصه التشريحية تؤثر كثيراً في عملية الإمتصاص.

6- الظروف المناخية

تؤثر الظروف المناخية مثل درجة الحرارة وسرعة الرياح والرطوبة النسبية والضوء في امتصاص الماء، يكون تأثير الظروف البيئية غير مباشر فتؤثر درجة حرارة الجو المنخفضة مثلاً في تقليل كفاءة الجذر في سحب الماء عن طريق خفض حرارة التربة التي تخفض معدل انتشار الماء وتخفض نفاذية الأغشية وتقلل من نشاط العمليات الأيضية ونمو الجذور وزيادة لزوجة الماء. الحرارة العالية نسبياً تسبب زيادة انتشار الماء وزيادة النتح مما يسبب زيادة سحب الماء من التربة ولحد معين قد تغلق الثغور وتعود عملية امتصاص الماء للتراجع. وجود الضوء يسبب عملية البناء الضوئي وهذا يعني فتح الثغور ووجود مركبات الطاقة وحصول نمو في المجموع الجذري وكلها تدفع نحو تعجيل امتصاص الماء من التربة. بشكل عام فإن أي عامل يؤثر في عملية النتح يؤثر في عملية امتصاص الماء مثل سرعة الرياح والرطوبة النسبية.

صعود الماء في نسيج الخشب

1- نظرية الضغط الجذري

هو الضغط المتولد في عناصر الخشب نتيجة لفعاليات خلايا الجذر وهي عملية نشطة أي تتطلب امتصاص الأيونات امتصاصاً نشطاً بصرف طاقة، في حين يكون صعود الماء في انسجة الخشب حسب الأزموزية. عند قطع ساق نبات قرب سطح التربة وعندما تكون هذه التربة مروية جيداً يلاحظ خروج الماء من منطقة القطع، وقد يتراوح الضغط في الساق بسبب الضغط الجذري بين 0.5-0.6 ميكاباسكال. ومن الظواهر التي تؤيد نظرية الضغط الجذري الإدماع و لإدماء، ومن الانتقادات التي توجه لهذه النظرية:

1-عدم ملاحظة هذه الظاهرة دائماً.

2-الضغط المتولد عنها قليل لا يفسر صعود الماء في الأشجار العالية.

3-لم يلاحظ وجود الضغط الجذري في خشب المخروطيات وهي اشجار عالية.

4-معدل انسياب العصارة في الخشب ابطأ من معدل النتح مما يدعو للتفكير بوجود آلية اخرى تسهم في نقل الماء الى الأوراق.

ويبدو أن الضغط الجذري واضح في حالة الرطوبة النسبية العالية وغياب النتح.

2-نظرية الشد والتماسك

تعتمد هذه النظرية على خاصية تماسك جزيئات الماء مع بعضها وتلاصق جزيئات الماء مع الجدر الداخلية لعناصر الخشب. الأدلة المؤيدة:

اولا- يقل قطر الساق عندما يتعرض النبات الى معدل عالي من النتح فيه تتقلص اوعية الخشب.

ثانياً-وجد أن هناك ضغط سالب في عناصر الخشب لبعض اشجار الغابات يتراوح بين -4 الى -8ميكا باسكال. وأن الجهد المائي يصبح اكثر سالبية مع الارتفاع عن سطح الأرض.

الانتقادات لهذه النظرية:

اولاً- من المحتمل أن يكون الضغط الناجم عن النتح غير كافٍ لتحريك الماء خلال الخشب ضمن المعدلات التي تم تسجيلها.

ثانياً- لايد من استمرار الأعمدة المائية دون انقطاع بين سطح التبخر والماء الموجود في المساحات الحرة في الجذور، وهذا صعب الحدوث.

ثالثاً-لا يمكن تعميم نتائج انابيب شعرية على الأوعية والقسيبات إذ ان تلاصق الماء مع الأنابيب الشعرية أكثر من عناصر الخشب.



المادة :. فسلجة نبات
مدرس المادة :. د. بشير عبدالله ابراهيم
رقم المحاضرة :. الثالثة
العام الدراسي :. 2017/2016

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد – كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية
المرحلة الرابعة

المحاضرات النظرية

المحاضرة الثالثة: **فقد الماء Loss of water**

90-98% من الماء المُمتص بواسطة الجذور تفقده النباتات بعدة طرق أهمها النتح Transpiration ويتبقى منه 10-2% تستخدمه النباتات في عملياتها الأيضية المختلفة، ويتم فقدان الماء بعدة طرق منها فضلاً عن النتح، ظاهرة الأدماع Guttation والأفراز Secretion والأدماء bleeding.

بالنسبة للأفراز فما هو إلا عملية فقد الماء على صورة محاليل من الغدد glands ومن الغدد الرحيقية Nectaires، أما الأدماء فهو فقد الماء عن طريق الجروح التي قد تصاب بها النباتات، وكمية الماء المفقودة بهاتين الطريقتين تعد بسيطة جداً ولا قيمة لها، أما ظاهرتي الإدماع والنتح فهما الأهم وخصوصاً الأخيرة منهما.

1- الأدماع: Guattation

تحت ظروف التربة الدافئة والرطوبة تظهر على طول حواف أو قمم الأوراق نقاط مائية وفقد الماء بهذه الطريقة يسمى الأدماع. العوامل التي تحفز الأدماع هي:-

- الامتصاص العالي للماء.

- الضغط الجذري المرتفع.

- انخفاض أو انعدام النتح لسبب ما.

ان هذه الظروف (الثلاثة) تجعل امتصاص الماء يفوق عملية النتح (التي تعد العملية الأساسية والرئيسية لفقدان الماء)، ولذلك يتم فقدان الماء بواسطة الأدماع عن طريق تراكيب متخصصة تسمى الثغور المائية Hydrothodes توجد في أعلى قمم الأوراق في النباتات المتكيفة لتلك الظروف.

ومن المواد التي وجدت في سائل الأدماع نجد معظم الأملاح المعدنية (P, K, Na, Ca, Mg...) وكذلك كثير من السكريات مثل glucose، Fructose، Sucrose ... الخ. وكثيراً من الأحماض مثل aspartic acid، glutamic acid ... الخ، ومواد كثيرة أخرى مثل الدهون والبروتينات ويتراوح PH هذا السائل من 5.0-6.7 في غالبية النباتات.

2-النتح: Transpiration

يعد النتح الطريقة الأساسية التي يتم عن طريقها فقدان معظم الماء الذي يمتصه النبات وعملية الفقد هذه تتم بصورة أساسية على شكل بخار، ويتم فقد الماء بهذه الطريقة عن طريق الفتحات أو الثغور التي تغطي سطح الأوراق النباتية وهذه الفتحات تسمى Stoma.

فضلاً عن النتح الثغري فإن النبات يفقد الماء مباشرة عن طريق التبخر من سطح الأوراق والسيقان ولكن فقد الماء بهذه الطرق يعد شيئاً يسيراً إذ أن الكمية تكون قليلة جداً وذلك بسبب وجود طبقة الأدمة التي تغطي الأوراق وهي مادة شمعية cutine وهي غير منفذة للماء ولكن في بعض النباتات وعندما تكون هذه الطبقة رقيقة فإنه يمكن عن طريقها فقد كميات قليلة جداً من الماء.

أما بالنسبة للسيقان وخصوصاً تلك التي تحتوي على طبقات فليينية (Cork) وكما هو معلوم فإن هذه الطبقات الفليينية تحتوي على فتحات صغيرة تسمى العديسات Lenticels عن طريقها يتم خروج

الماء أيضاً وإن كانت كمية قليلة جداً، الكميات الفعلية التي يفقدها النبات خلال عملية النتح تعد كبيرة جداً فبعض النباتات العشبية يمكنها أن تفقد أو تستبدل كل الماء الموجود فيها بيوم واحد.

58 لتر/ خلال موسم النمو	<i>Phaseolus vulgaris</i>	اللوبيا
114 لتر/ خلال موسم النمو	<i>Solanium tubersum</i>	البطاطا
114 لتر/ خلال موسم النمو	<i>Triticum sativum</i>	القمح
155 لتر/ خلال موسم النمو	<i>Lycopersicum esculentum</i>	الطماطم

ميكانيكية الفتح والغلق في الثغور

Stomatal Mechanisms of opening and closing

تحتوي بشرة الأوراق النباتية عدداً كبيراً جداً من الثغور تسمى Stoma (مفردها Stomata) وهذه الثغور ميكروسكوبية الحجم ولها تركيب خاص يناسب وظيفتها، وعند فتح هذه الثغور بصورة كاملة فإن عرضها يقاس بحوالي 3-12 مايكرومتر وطولها 10-12 مايكرومتر ويختلف عدد هذه الثغور من نبات إلى آخر ومن بيئة إلى أخرى وحتى من جهة إلى أخرى في نفس الورقة وهناك عدد هائل من الثغور في مساحة الورقة كلها وبالرغم من هذا العدد الهائل إلا أن مجموع الثغور لا يمثل أكثر من 2% فقط من سطح الورقة وذلك في حالة انفتاحها والاختلافات من نبات إلى آخر واضحة في نباتات ذوات الفلقة الواحدة نجد أن الفتحات تتوزع بشكل منتظم على سطحي الورقة في حين في ذوات الفلقتين نجدها بعدد أكبر على السطح السفلي للورقة وهذه الاختلافات تناسب تماماً الوسط البيئي وكيفية التعرض للشمس أو للحرارة.

الثغر هو عبارة عن تركيب معين من خليتين تسميان بالخليتين الحارستين Guard cells تتوسطهما فتحة Ostiole وتحاط الخلايا الحارسة بخلايا مساعدة من خلايا البشرة من جميع الجهات والخليتان الحارستان يشابهان في الشكل الكلية ولهما جدر خلوية سميكة جداً والفتحة المتوسطة Ostiole تستجيب مباشرة للتغيرات في الزيادة أو النقص في الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة وهذا يسبب تغيراً في الجهد المائي ينتج عنه تحرك الماء من أو إلى الخلايا الحارسة.

فلو تحرك الماء إلى الخلايا الحارسة وعند امتلائها فإن الثغر يفتح ولو تحرك الماء منها للخارج فإن الخلايا تصبح مرتخية وهنا فإن الثغر يغلق.

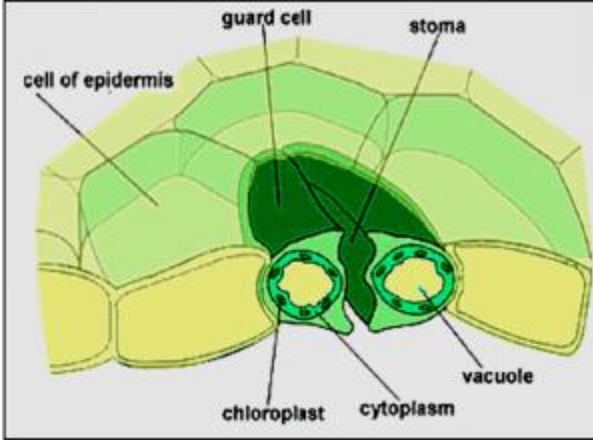
ولكي يحدث هذا التحرك للماء لابد أن يحدث تبادل بين الخلايا الحارسة وكل من خلايا النسيج الوسطي Mesophyle وخلايا البشرة Epidermis cells المحيطة وتولد جهد أزموزي أكثر سالبية في الخلايا الحارسة يدفع الماء باتجاهها خارجاً من الخلايا المساعدة المحيطة بها ومن ثم يتدفق الماء للخارج إلى الفتحة.

ولكي تتم عملية الفتح والغلق فإن تركيب الخلايا الحارسة يناسب هذه الميكانيكية المتقدمة إذ يلاحظ أيضاً أن الجدار الخلوي مغلف بالألياف السيلولوزية وبالتالي أكثر سماكة خصوصاً في الخلايا الحارسة وبالذات في طرف الجدار المواجه للثغر، في حين أن الطرف الخارجي البعيد عن الثغر لكل خلية حارسة يكون أقل سماكة ولا يحتوي على مثل هذه الألياف السيلولوزية وهذا ما يساعد الخلية الحارسة على أداء وظيفتها عند امتلائها بالماء إذ أن الجدار الخارجي يندفع ويتقوس للخارج جاذباً معه الجدار المقابل السميك المقابل للثغر وكذلك بالنسبة للخلية الثانية وبالتالي فإن الثغر يفتح. وتتم ميكانيكية الفتح والغلق على النحو التالي:

نظرية Scarth أو نظرية نشأ - سكر The starch-sugar hypothesis

أعتمدت هذه النظرية بعد ان لاحظ الباحثين ان نسبة النشا تكون مرتفعة في الخلايا الحارسة في الظلام وتكون منخفضة في وجود الضوء في النهار. كما ان ذلك يقترن مع ارتفاع pH عندما تكون

الثغور مفتوحة حيث يصل الى 6-7 بينما تنخفض هذه النسبة عند غلق الثغور الى 4-5 من هذه الملاحظات تم الاستنتاج ان فتح الثغور في الضوء ناتج من ارتفاع في pH الذي ينشط انزيمات تحويل النشا الى سكر الذي يعني زيادة سالبية الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة. ارتفاع pH في الضوء ناتج عن خفض نسبة ثاني اكسيد الكربون الذي يستعمل او يمتص في عملية التمثيل الضوئي اثناء النهار أو بوجود الضوء مما يؤدي الى نقص في الحموضة. اما في الليل فيحدث العكس إذ يتم إطلاق كميات كبيرة من CO_2 بسبب توقف عملية التمثيل الضوئي وكذلك بسبب اطلاقه عن طريق عملية التنفس وهذا الأرتفاع يؤدي الى خفض pH أي زيادة الحموضة وهذا ما يعمل على تحول السكر الى نشأ عن طريق تنشيط انزيمات مثل **Phosphorylase**.



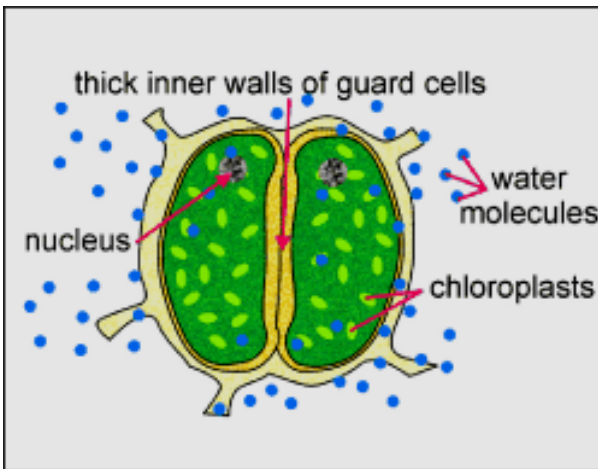
الثغور (stoma) التي توجد بشكل اساسي على السطح السفلي للورقة وللسيقان الغضة تكون مفتوحة بشكل بسيط. كل ثغر محاط بخليتين حارستين تحتويان على كمية كبيرة من الكلوروبلاست. الجدار الداخلي المواجه للفتحة لكل خلية يكون اكثر سمكا من طرفه البعيد عن الفتحة. اذا للثغر تركيب مناسب إذ يستطيع التحكم في عملية النتج، فعندما يكون مغلقا لا يوجد نتج وعندما يفتح يتم النتج.

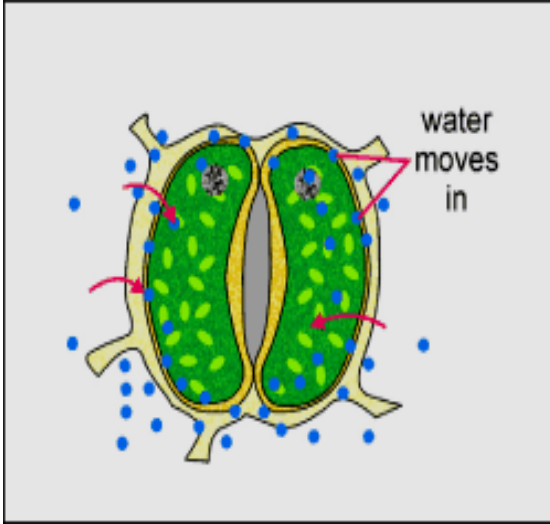
السؤال هو كيف تتم العملية؟

عملية الفتح والغلق يتم التحكم بهما بواسطة التغير في الضغط الأزموزي داخل الخلايا الحارسة:

اثناء النهار:

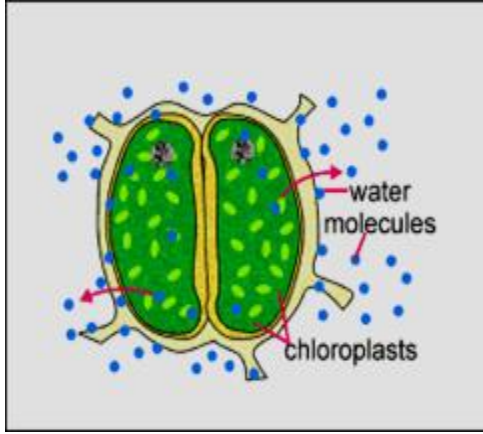
يقوم النبات بعملية التمثيل الضوئي في البلاستيدات الخضراء للخلايا الحارسة، إذ يتكون السكر اثناء النهار، وهذا السكر المتكون يعمل على خفض الجهد المائي في الخلايا الحارسة ونسبة CO_2 تنخفض نتيجة لامتصاصه واستعماله في عملية التمثيل الضوئي وهذا الانخفاض يعمل على خفض حموضة الخلايا الحارسة او ارتفاع pH أي يصبح وسط الخلايا الحارسة اكثر قاعدية.





هذا الوسط القاعدي يشجع **تحول النشاء الى سكر** عن طريق تثبيط انزيم Phosphorylase, هذا الانزيم حساس جدا للتغير في pH . إذا زيادة السكر من عملية التمثيل الضوئي مباشرة رغم قلة كميتها وكذلك تحول النشاء الى سكر عن طريق خفض CO_2 وزيادة pH يعمل على نقص في تركيز الماء داخل الخلية, وهذا النقص في تركيز الماء يعمل على **انخفاض في الجهد المائي للخلايا الحارسة** مما يعمل على اندفاع الماء للداخل عن طريق امتصاصها للماء من خلايا البشرة المحيطة بها.

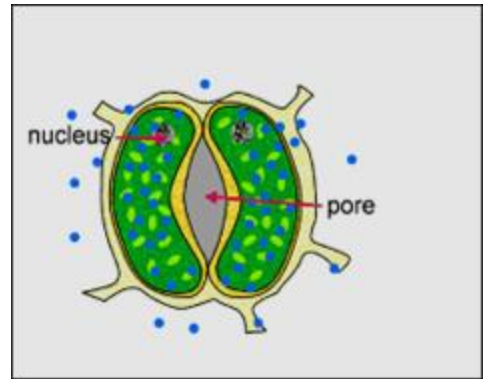
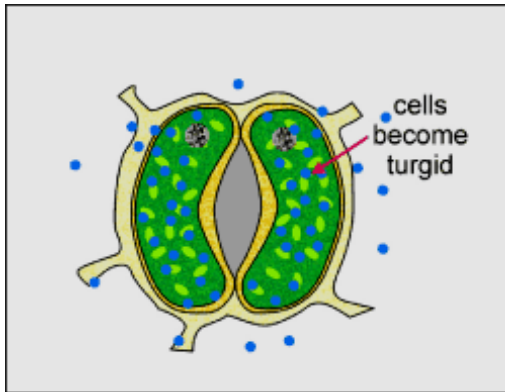
امتلاء الخلايا الحارسة يعمل على انتفاخها وزيادة ضغط الامتلاء وتصبح الخلايا صلبة. فهذا الامتلاء يعمل على تقوس الجدار الرقيق البعيد عن الفتحة للخارج جاذبا معة الغشاء السميك المواجهة للثغر الذي ينحني للداخل وهذا يسبب **فتح الثغر**.



اثناء الليل:

التمثيل الضوئي يتوقف و**تكوين السكر يتوقف** وبالتالي سحب ثنائي اوكسيد الكربون يتوقف ويستمر التنفس الخلوي وبالتالي نسبة ثنائي اوكسيد الكربون تزداد في محيط الخلايا الحارسة.

هذه الزيادة تسبب انخفاض pH أي ان الوسط يصبح اكثر حموضة وهذا يسبب **تحول السكر الى نشاء** في الخلايا الحارسة وبما ان النشاء لا يذوب في الماء فسيسبب هذا ارتفاع الجهد المائي للخلايا الحارسة مقارنة مع جهد الخلايا المساعدة او خلايا البشرة المحيطة وهذا الارتفاع يدفع بالماء خارج الخلايا الحارسة فينخفض الضغط على الجدار الخلوي فيعود الى مكانة فيغلق الثغر.



ويجب الإشارة هنا إلى أن العوامل البيئية وبعض المركبات لها تأثير مباشر على عملية انفتاح وإغلاق الثغور هذه النظرية تعد غير كافية لتفسير فتح وغلق معظم الثغور وذلك نظراً للآتي:-

- 1- الخلايا الحارسة في البصل لا تحتوي على نشاء مطلقاً والثغور تفتح وتغلق أيضاً.
- 2- إن التغير في تركيز CO_2 غير كافي لاحداث التغيرات المذكورة في درجة الحموضة للخلايا الحارسة ولا يتناسب مع التغير الفعلي في درجة الحموضة من 5 الى 7 أي وحدتين والذي أمكن قياسه في أثناء انتفاخ الخلايا الحارسة.

- 3- إن التحول الداخلي للنشاء إلى سكر يعد بطيء جداً قياساً بسرعة استجابة الثغور وعملية الفتح.
- 4- لا توجد في هذه النظرية أي دلالة على تأثير الضوء الأزرق في فتح الثغور والذي ثبت انه يلعب دوراً رئيساً في عملية الفتح والغلق.

التفسيرات الحديثة لفتح وغلق الثغور

ولتفسير وفهم هذه العملية سنتطرق إلى:

- 1- ما هي العوامل التي تؤثر في عملية الفتح والغلق؟
- 2- كيف تتم حركة الثغور للفتح والغلق؟

أولاً/ العوامل المؤثرة في عملية الفتح والغلق:

- أ- نظام داخلي المنشأ أي ما يمكن تعريفه بالساعة البيولوجية - الثغور عادة تفتح أثناء النهار وتغلق أثناء الليل (بعض النباتات العسارية التي تعيش في المناطق الحارة والجافة لها نظام عكسي وذلك حتى تقتصد في فقد الماء وتحافظ عليه). رغم ذلك فإن الثغور تبقى تفتح وتغلق على مدار 24 ساعة حتى لو عرضت إلى ضوء مستمر. مرحلة الفتح والغلق ممكن أن تتحول أو تتغير في أي وقت من اليوم وذلك بالتحكم في نهاية المرحلة المظلمة.
- ب- التوازن المائي: التوازن المائي للنباتات أو مستوى المحتوى المائي يلعب دوراً في عملية فتح وغلق الثغور. النباتات الذابلة تغلق ثغورها ويعتقد أن هرمون الأبسيسيك (ABA) يلعب دوراً وسيطاً في هذه الظروف إذ يؤدي إلى الإغلاق حتى في ظروف الفتح العادية. ولوحظ أن نقص الماء الشديد في جذور النبات يمكن أن يرسل عبر أوعية الخشب تأثيره إلى الثغور في الأوراق عبر إشارة حامض الأبسيسيك.
- ت- المستوى المنخفض من CO₂ يسبب فتح الثغور. وإذا كانت نسبته منخفضة (في هواء الورقة الداخلي) حول الثغور في الظلام ممكن أن يتسبب ذلك في فتح الثغور على غير العادة. والعكس ارتفاع نسبة CO₂ تسبب غلق الثغور.
- ث- الضوء: يسبب الضوء فتح الثغور. الحد الأدنى من الضوء لفتح الثغور عند معظم النباتات يتراوح بين 33% إلى 0.1% من مجمل الضوء وهو الحد الكافي لبدء عمل تمثيل ضوئي كامل. الموجات الزرقاء ذات الأطوال الموجية بين 430-460 nm تعد أكثر فعالية بعشر مرات من موجات الضوء الأحمر ذات الأطوال الموجية 630-680 nm.

ثانياً/ كيفية حركات الفتح والغلق؟

الموجات الضوئية الزرقاء تمتص بواسطة صبغة zeaxanthin وهي عبارة عن (a carotenoid pigment) هذا يؤدي إلى تنشيط مضخة البروتونات في أغشية الخلايا الحارسة مما يعمل على ضخ البروتونات (ايون او بروتون الهيدروجين) خارج سيتوبلازم الخلايا الحارسة مولدا حركة نشطة للبروتونات أي تدرج كهروكيميائي عبر الغشاء مما يحدث تغيرات كبيرة في pH (إذ تتغير من 4-5 إلى 6-7) منتجا توترا عبر الاغشية تصل احيانا الى 120 ملي فولت هذا ما يؤدي الى فتح القنوات البروتينية التي تسمح بالتدفق السلبي لايونات البوتاسيوم الموجبة الى داخل الخلايا الحارسة لكي يعادل خروج البروتونات. يتم ايضا دخول ايونات الكلوريد السالبة عن طريق تزاوجها (coupled) مع بعض البروتونات العائدة (حتى يتم معادلة واتزان الشحنات الكهربائية). هذا التراكم الايوني يعمل على خفض الجهد داخل الخلايا الحارسة مؤديا الى انتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالي فتح الثغور.

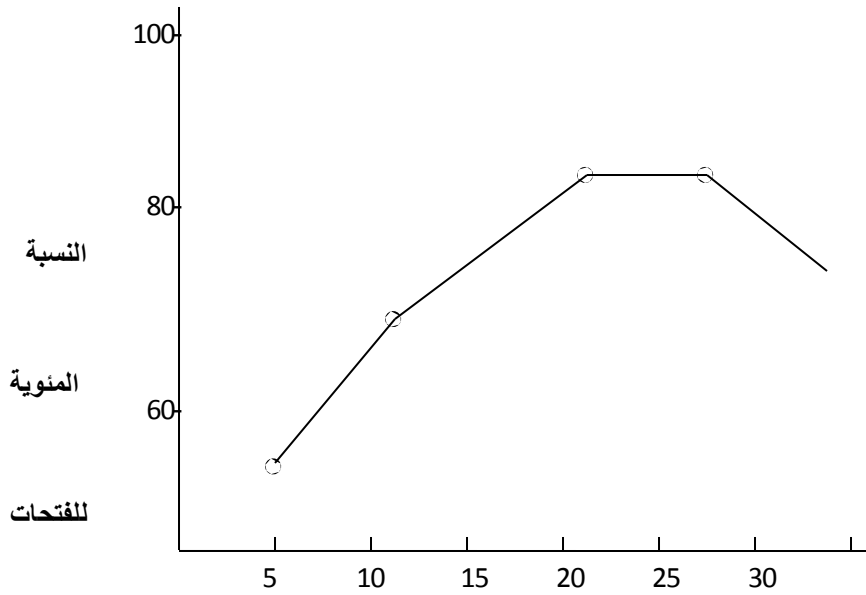
هذا التراكم الايوني وانخفاض الجهد داخل الخلايا الحارسة يزداد مع تقدم النهار عن طريق تكوين السكر الناتج من بدء نشاط عملية التمثيل الضوئي وكذلك فإن الضوء الأزرق يعمل على تحلل النشا إلى سكر.

يعتقد بعض العلماء حامض الأبسيسيك (ABA) في بعض النباتات يعمل على تغير ضغط الامتلاء دون أن يحدث تغير في الجهد المائي داخل وخارج الخلايا الحارسة وهذا التغير غالباً يؤدي إلى غلق الثغور حيث أن هذا الحامض يلعب دوراً في الغلق.

أيضاً هناك العديد من المعلومات التي تشير إلى زيادة ايونات الكالسيوم في سيتوبلازم الخلايا المساعدة في حالات الغلق وهذا ربما بتأثير فتح وغلق القنوات الأيونية في الغشاء الحيوي (زيادة نفاذية بعض الأيونات عبر الغشاء مثل ايونات الكالسيوم).

هناك بعض الاستثناءات الأخرى بالنسبة للضوء فعلى سبيل المثال:

- نباتات مثل البطاطا، البصل، تغلق ثغورها بعد 3 ساعات من غروب الشمس ويمكن أن تغلق في النهار إن عرضت للذبول في حين أن نبات ذيل الحصان *Equisetum asvense* تظل مفتوحة حتى لو تعرضت للذبول.
- ثغور بعض النجيليات تفتح ساعة أو ساعتين في النهار.
- الحرارة أيضاً تلعب دوراً مهماً في عملية فتح وغلق الثغور ويرتبط هذا العامل مع عوامل أخرى مثل الضوء فدرجة حرارة أقل من (0) حتى في الضوء فإن بعض النباتات تبقى ثغورها مغلقة وعند رفع درجة الحرارة فإن الثغور تفتح وهذا حال نبات القطن. ولكن في درجة حرارة عالية (30°س فما فوق) فإن فتح الثغور يقل وهذا ناتج عن أن درجات الحرارة العالية تؤثر على تركيز CO_2 إذ يرتفع تركيزه في المسافات البينية وهذا ناتج عن زيادة معدل التنفس.



تأثير درجات الحرارة على فتح ثغور ورقة القطن تحت إضاءة ثابتة

ويعتقد ان التغيرات في الفتح والغلق والمخالفة للتنظيم البيولوجي الطبيعي للنباتات تنتج بفعل تأثير هرمونات الفتح والغلق اي السايوكاينين وحامض الابسيسيك بالترتيب إذ ان الثغور تبدو تحت تأثير آلية تشمل الفعل المتعارض لهذين الهرمونين ويتم تشجيع الثغور على الانفتاح وذلك عند تراكيز من السايوكاينين تتراوح بين $0.01-0.05 \mu \text{ molor}$ بينما يؤدي حامض الابسيسيك إلى إغلاق الثغور عند التراكيز نفسها ، وهذان الهرمونان يعملان على تنظيم فتح وغلق الثغور بناء على تأثيرهما في التدفق الأيوني.

العوامل المؤثرة في عملية النتح

أولاً- العوامل البيئية

1- الضوء

له تأثير مباشر في عملية فتح وغلق الثغور وبالتالي في معدل النتح.

2- الرطوبة (رطوبة الهواء): Air humidity

ترتبط الرطوبة بدرجة الحرارة، وتزداد قدرة الهواء على حمل بخار الماء كلما ارتفعت درجة حرارته ويطلق على أكبر كمية يستطيع حملها اسم ضغط أو كمية التشبع Saturation pressure وتسمى النسبة بين كمية البخار التي يحملها الهواء على درجة حرارة معينة وبين الكمية اللازمة لإشباعه في نفس الدرجة بالرطوبة النسبية Relative humidity ويعبر عنها بالنسبة المئوية ويسمى الفرق بين كمية البخار التي يحملها الهواء فعلاً وبين الكمية اللازمة لتشبعه بنقص التشبع Saturation deficit. يكون الهواء داخل المسافات البيئية في خلايا الورقة في حالة تشبع كامل ببخار الماء، بينما يكون الهواء الجوي الخارجي على درجة أقل من التشبع وبنتيجة لذلك يخرج بخار الماء من المسافات البيئية للخلايا إلى الهواء ويزداد معدل خروجه بازدياد الفرق في درجة التشبع للهواء وللمسافات البيئية بين خلايا الورقة أو بمعنى آخر يزداد النتح بازدياد نقص التشبع في الهواء الخارجي. ويجب الإشارة هنا أن التشبع ببخار الماء يعني انخفاض سالبية الجهد المائي ونقص التشبع ببخار الماء يعني ارتفاع السالبية للجهد المائي.

3- درجة الحرارة: Air temperature

كما ذكرنا سابقاً بالنسبة للرطوبة فهناك ارتباط بين العاملين حيث أن زيادة درجة الحرارة تزيد الفرق بين كمية البخار التي يحملها الهواء والكمية اللازمة لتشبعه، أي بعبارة أخرى يزداد نقص تشبع الهواء، ومع ازدياد نقص تشبع الهواء المحيط بالأوراق يزداد خروج الماء من الثغور ويرتفع معدل النتح.

4- حركة الرياح: Air movement

تكون طبقة الهواء المحيط أو القريب من سطوح الأوراق النباتية مشبعة ببخار الماء وبازدياد النتح يزداد سمك طبقة الهواء المشبع وهذا ما يؤدي إلى تقليل النتح وهنا يأتي دور الرياح حيث أن تحركها يعمل على إزالة الطبقة المشبعة بالماء من حول الأوراق وتحل محلها طبقة أقل تشبعاً مما يعمل على اختلاف الجهد المائي بين الداخل والخارج وبالتالي يزداد النتح. وبالتالي كلما زادت سرعة الرياح ازدادت عملية النتح حتى تصل سرعة الرياح إلى 8كم/ساعة وهنا تصبح الزيادة في النتح تدريجية إلى أن تصل سرعة الرياح إلى 34كم/ساعة وهذا ما يؤدي إلى تقليل النتح بسبب التبريد وبالتالي إغلاق الثغور. تعمل حركة الرياح أيضاً إلى تحريك أوراق الأشجار ويساعد ذلك على تجديد الهواء الموجود في الغرف الهوائية في الجهاز الثغري ليحل محله هواء أكثر جفافاً.

5- الضغط الجوي: Atmospheric pressure

تؤدي زيادة الضغط إلى زيادة كثافة الهواء وبالتالي انخفاض نسبة تبخر الماء من المسافات البيئية إلى الجو وبالتالي انخفاض معدل النتح.

6- رطوبة التربة: Soil Moisture

نقص رطوبة التربة يعني نقص معدل الامتصاص وبالتالي نقص الماء بالنسبة للنبات و نقص معدل النتح، وبالتالي كل العوامل التي تؤدي إلى نقص امتصاص النبات للماء (تهوية، ارتباط حبيبات الماء بالتربة، زيادة تركيز الأملاح) تعمل على نقص معدل النتح.

7- غاز CO₂

يؤدي ازدياد استهلاك CO₂ إلى فتح الثغور وزيادة النتح وزيادة تراكمه يؤدي إلى إغلاق الثغور وبالتالي نقص النتح.

ثانياً - عوامل النبات: Plant factors

1- مساحة سطح الورقة: Leaf surface area

يزداد النتح بازدياد مساحة الورقة، ولكن يجب ملاحظة أن معدل النتح أي وزن الماء المفقود على مساحة السطح الناتج يزداد كلما قلت مساحة السطح الناتج وذلك بشكل اساسي عندما تكون كمية الماء الممتصة ثابتة، ايضاً معدل النتح في الأوراق الحديثة قليلة المساحة أكبر من معدل النتح في الأوراق البالغة كبيرة المساحة.

تؤدي إزالة نصف الأوراق من شجرة ما إلى زيادة معدل النتح في الأوراق المتبقية بنسبة تتراوح ما بين 20-90% عما كان عليه قبل إزالة الأوراق، وذلك لأن كمية الماء المفقودة كلياً تنخفض، إلا أن معدل النتح يزداد، ويرجع السبب في ذلك إلى أن التوازن القائم اساساً بين المجموع الجذري والخضري يخلت فتبقى كمية الماء الممتصة كبيرة وتقل مساحة السطح الناتج فيزداد معدل النتح. وعلى هذا الأساس ينصح برفع جميع الأوراق عند نقل النبات من منطقة إلى أخرى وذلك حتى يتوقف النتح وتحفظ النبتة أو الشجرة بالماء الموجود في داخلها مدة كافية بحيث تستطيع ان تثبت نفسها في المكان الجديد وتعاود نشاطها الامتصاصي.

2- تركيب الورقة: Leaf structure

كلما زادت طبقة الأدمة (المكونة من مادة الكيوتين غير النفاذة) كلما قلت عملية النتح ومن جانب آخر كلما زادت مساحة النسيج المتوسط كلما زادت عملية النتح وهنا نلاحظ عادة ان هناك علاقة بين مساحة النسيج المتوسط وسمك طبقة الكيوتين وذلك حسب النبات وحسب الظروف البيئية والعوامل الفسيولوجية، أيضاً فإن وضع الورقة في اتجاه الشمس عمودياً أو أفقياً يؤثر على معدل النتح.

3- نسبة المجموع الجذري/ للمجموع الخضري Root-Shoot Ratio

إن كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) والسطح الناتج (سطح الورقة) هما المتحكمان في معدل النتح. فلو أن امتصاص الماء يكون أقل من النتح فإن النبات سوف يعاني من نقص الماء داخله وبالتالي سوف يتأقلم بتقليل النتح.

المادة :. فسلةة نبات
مدرس المادة :.د.بشير عبدالله ابراهيم
رقم المحاضرة :. الرابعة
العام الدراسي :. 2017/2016



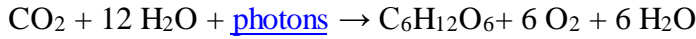
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد – كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية
المرحلة الرابعة

المحاضرات النظرية

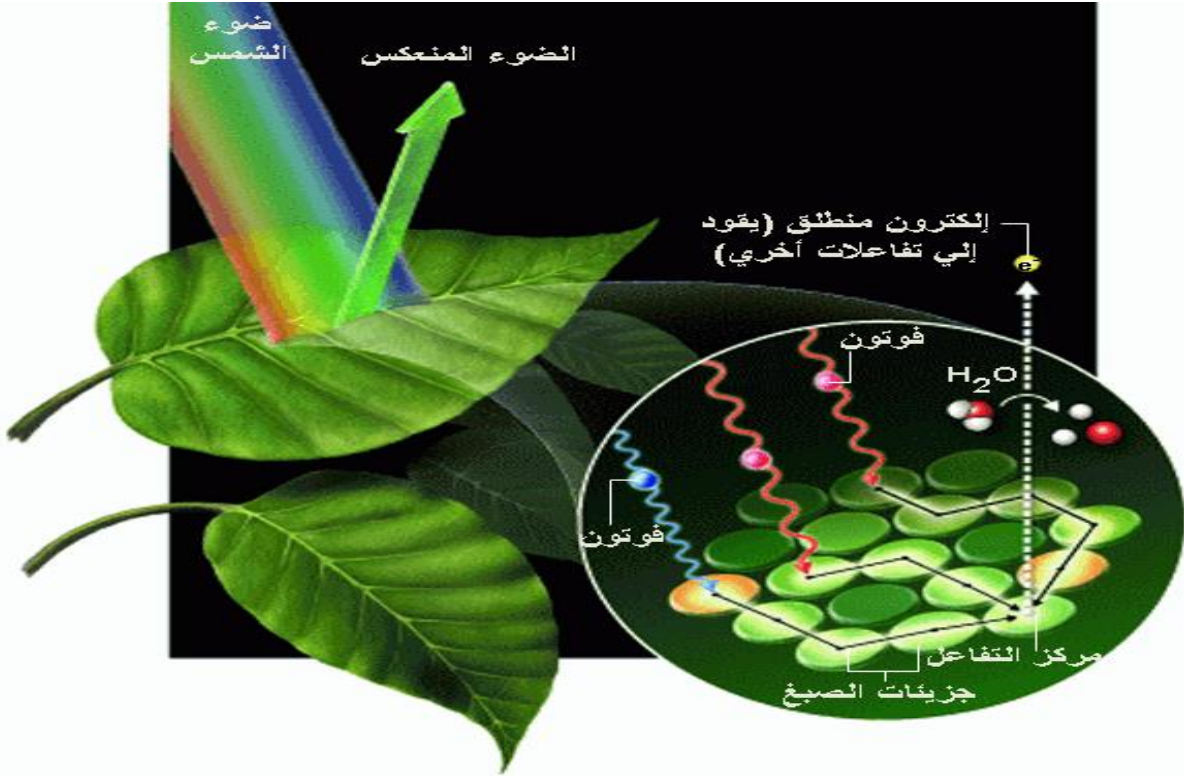
المحاضرة الرابعة: البناء الضوئي Photosynthesis

البناء الضوئي

تعتمد الحياة على كوكب الأرض بدرجة اساسية على الطاقة الشمسية بعملية حيوية هي الوحيدة القادرة على خزن هذه الطاقة بشكل طاقة كيميائية (مركبات عضوية) بعملية تسمى البناء الضوئي Photosynthesis أو البناء الكربوني أو التركيب الضوئي وقد امتلكت النباتات والطالب هذه القدرة بسبب احتوائها على مادة اليخضور Chlorophyll، وهذه المركبات العضوية تستخلص منها الطاقة (يستخلصها النبات أو الكائنات الأخرى بوصفها مصدر طاقة لكافة أشكال الحياة) للقيام بالعمليات الحيوية المختلفة فيما بعد. وهي اما حديثة العهد (الكتلة الحية Biomass) او قديمة (الوقود المتحجر أو الأحفوري Fossil Fuels). وفيها يتحول الكربون غير العضوي إلى كربون عضوي بالاستفادة من طاقة الضوء المرئي حسب المعادلة :



Carbon dioxide + water + light energy → glucose + oxygen + water



العوامل الأساسية للقيام بعملية البناء الضوئي:

الضوء

هو موجات كهرومغناطيسية تتألف من جسيمات تسمى ضوئيات أو فوتونات أو كوانتات تختلف طاقتها باختلاف الطول الموجي الذي يحدد أيضاً لون الضوء. مثلاً الضوء الأحمر طوله الموجي 660 نانومتر طاقة الجسيم الضوئي $= 3.01 \times 10^{-19}$ جول. فوتون-1، في حين طاقة الجسيم للضوء الأزرق (طوله الموجي 435 نانومتر) $= 4.56 \times 10^{-19}$ جول. فوتون-1. الضوء المؤثر في عملية البناء الضوئي هو الإشعاع الشمسي الذي هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي المتكون من الأشعة الكونية وأشعة كاما والسينية وفوق البنفسجية والضوء المرئي وتحت الحمراء والموجات الدقيقة والراديوية، محتوي الطاقة في الجسيم الضوئي يتناسب عكسياً مع الطول الموجي، فالجسيمات عالية الطاقة (ذات طول موجي قصير) مثل الأشعة فوق البنفسجية تكون خطيرة على الخلية بسبب تكسيرها للجزيئات العضوية، بينما الموجات الطويلة مثل الأشعة تحت الحمراء لا تضر بالخلايا بل تزيد الطاقة التذبذبية للجزيئات ولا تكسر الروابط. إن الضوء المرئي ذو الأطوال الموجية بين 400 و800 نانومتر تقريباً تمتلك الطاقة الكافية لتحفيز وتهدج الإلكترونات الى مدار الكتروني أعلى دون الاضرار بالخلية.

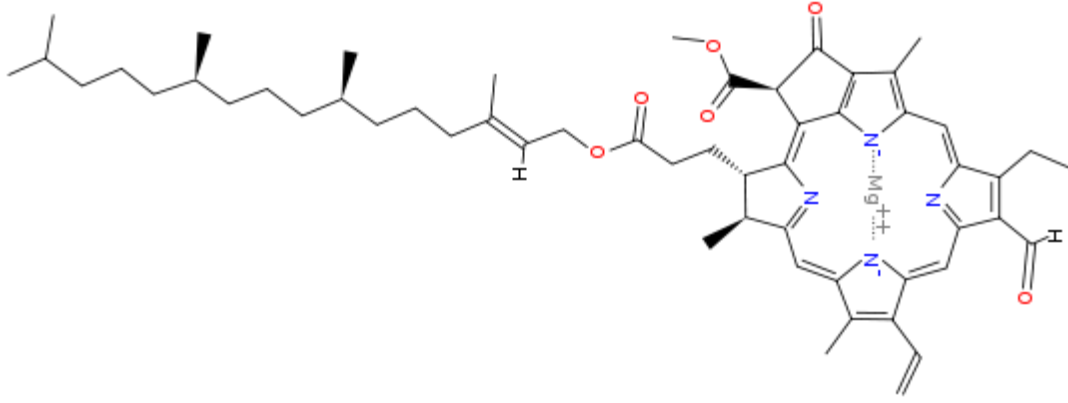
صبغات البناء الضوئي

دورها الأساسي هو امتصاص الطاقة الضوئية وهناك أنواع منها في الخلايا النباتية لكن أهمها:

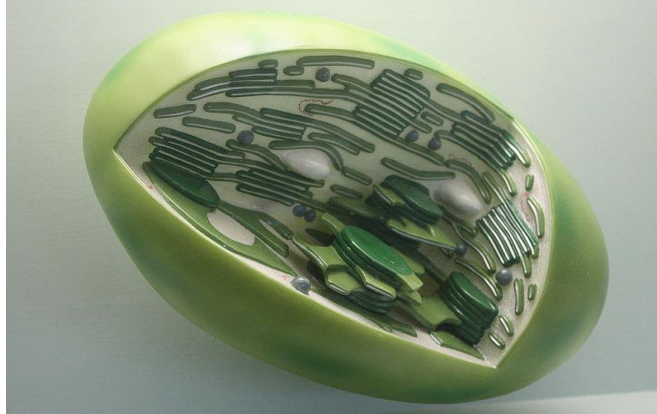
الكلوروفيلات Chlorophylls

هي صبغات خضراء اللون موجودة في النباتات والطحالب وبعض أنواع البكتريا، ويمكن أن نميز على الأقل 9 أنواع من الكلوروفيل مثل a و b توجد في معظم الكائنات ذاتية التغذية عدا البكتريا الحاوية على الصبغات البنائية فهي حاوية على أنواع خاصة بها هي a, b Bacteriochlorophylls ، أما c, d فهي توجد بشكل خاص في الطحالب مع chlorophyll a مثل الطحالب البنية والذهبية والحمراء، و Chlorobium chlorophylls 650,660.

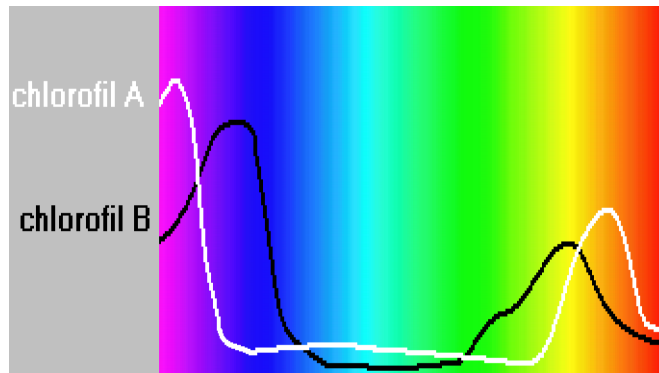
يتكون جزيء chlorophyll a من Porphyrin وهو تركيب بايرول رباعي حلقي مع حلقة دائرية متماثلة تحيط بذرة مغنيسيوم ترتبط حلقة البايروول بسلسلة Phytol تمتد من إحدى حلقات البايروول وإن سلسلة الفايتول تكون رابطة استيرية مع مجموعة كاربوكسيل على كاربون رقم 7 للبورفيرين وأن سلسلة الفايتول هي سلسلة طويلة كارهة للماء تحوي رابطة مزدوجة واحدة، وتبدو ممتدة الى داخل اغشية البلاستيدة.



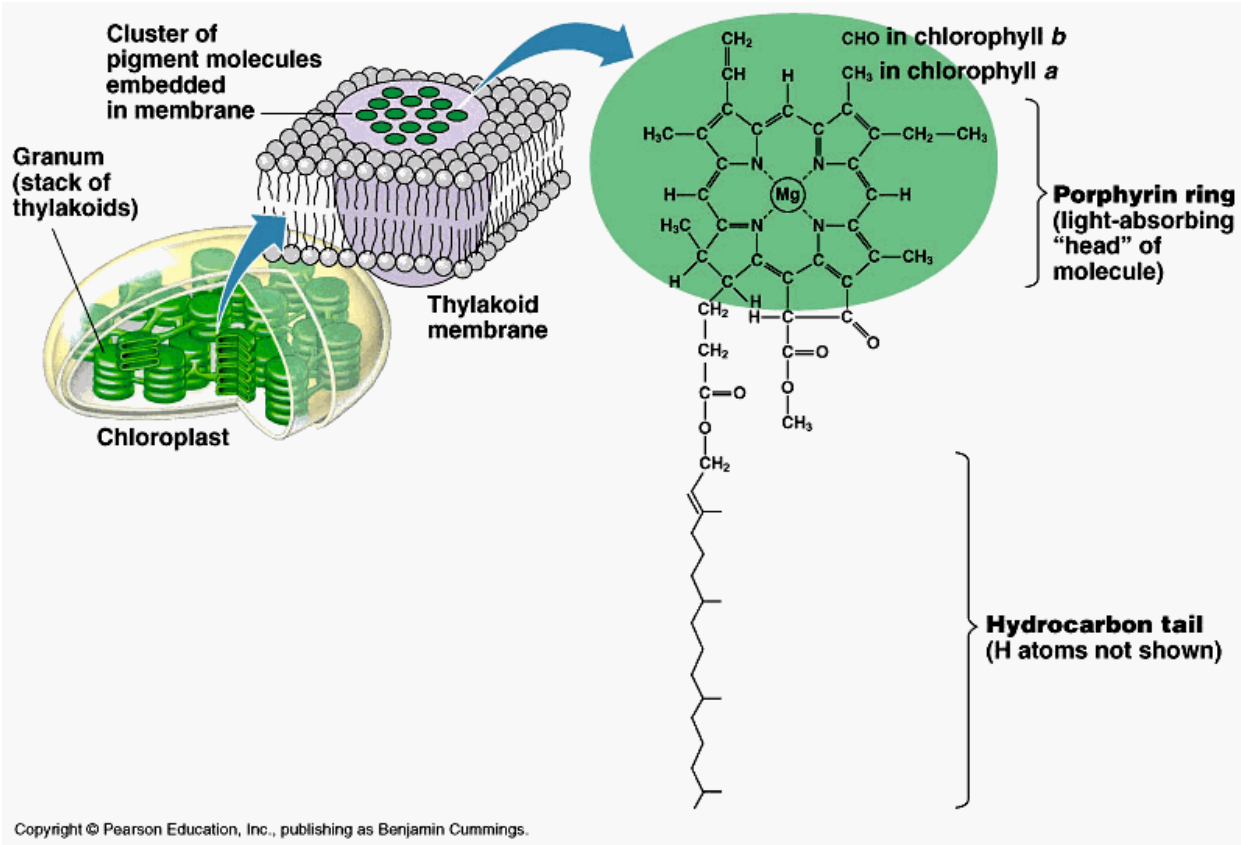
Chlorophyll a



البلاستيدة الخضراء



اختلاف الامتصاصية للطول الموجي حسب نوع الكلوروفيل



الصبغات المساعدة الأخرى

أ- الفايكوبيلينات Phycobilins

توجد في الطحالب الحمر والبكتيريا الزرقاء وهي بأربعة أنواع منها ثلاث تدخل في عملية البناء الضوئي وهي Phycoerythrin و Phycocyanin و Allophycocyanin والصبغة الرابعة هي Phytochromobilin وهي مستقبل ضوئي Photoreceptor تقوم بتنظيم مختلف جوانب النمو والتكوين.

ب- أشباه الكاروتين Carotenoids

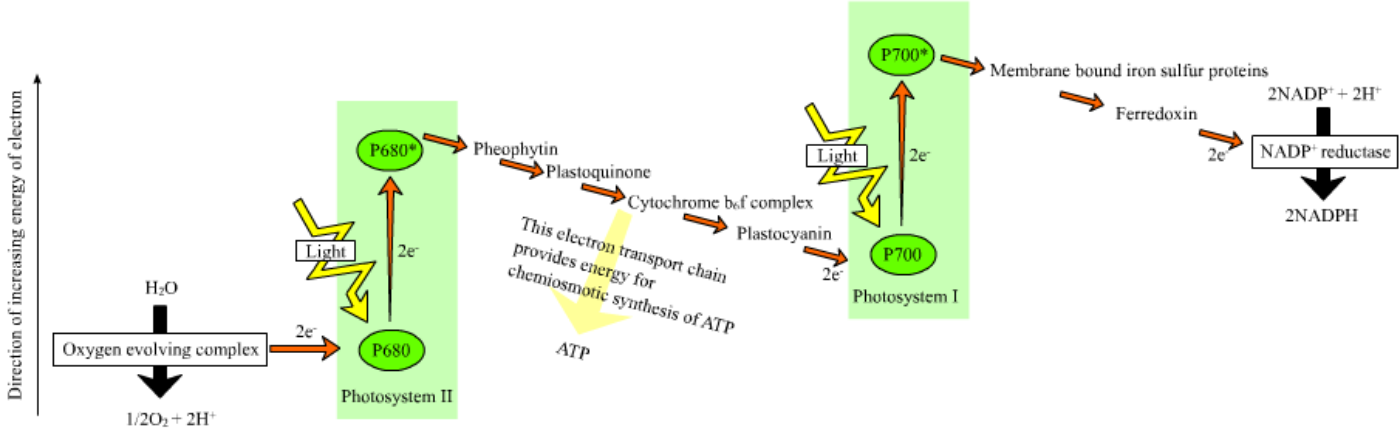
هي مجموعة من الصبغات يرتقالية أو صفراء توجد في معظم الكائنات التي تقوم بعملية البناء الضوئي غير أن صبغات الكلوروفيل تحجب رؤيتها كذلك توجد بكميات كبيرة في ثمار الطماطم وجذور الجزر وفي موسم الخريف عندما يتحلل الكلوروفيل تظهر ألوانها بشكل واضح. رغم أن وظائفها لم تدرس بشكل واضح إلا أنها تقوم بامتصاص الضوء الأزرق وتمرار الطاقة للكلوروفيل وحمايته من الأكسدة الضوئية بامتصاص الفائض من الضوء الأزرق.

وهناك صبغات أخرى مثل الفلافينات Flavins منها رايبوفلافين Riboflavin ومشتقاتها مثل FMN و FAD ، وهناك فلافينات متحدة مع البروتينات لتكون فلافوبروتين وهي مستقبلات الضوء الأزرق. وحديثاً اكتشفت مستقبلات للأشعة فوق البنفسجية تسمى UV-B receptor . وصبغات أشباه الفلافينات أو أشباه الفلافونويدات التي تعزى إليها الألوان البراقة للتويج والثمار والقنابات والأوراق في بعض الأحيان ومن أهمها صبغة الأنثوسيانين.

تفاعلات البناء الضوئي

أ- تفاعلات الضوء Light reactions أو المعتمدة على الضوء.

هي المرحلة الاولى من تفاعلات عملية البناء الضوئي وهي تحدث في اغشية الكرانا حيث توجد صبغات الكلوروفيل، ولا تحدث هذه التفاعلات إلا بوجود الضوء ويحدث في هذه التفاعلات انشطار الماء ليتحرر الاوكسجين ويتكون NADPH و ATP .



التدفق الالكتروني في الأنظمة الضوئية في تفاعلات الضوء

ب- تفاعلات الظلام Dark reactions أو التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.

هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي التي تجري بمعزل عن تأثير الضوء اذ ان NADPH و ATP الناتجة من تفاعلات الضوء تستغل لغرض اختزال CO_2 ليكون $[CH_2O]$ بشكل جزئيء كاربوهيدرات وهي عملية بناء لانها تتطلب تكوين روابط جديدة. هناك مسارين لاختزال CO_2 احدهما مايسمى بدورة كالفن Calvin cycle وفيها وجد ان المركب الاول الذي يتكون في عملية تثبيت CO_2 هو مركب ثلاثي ذرات الكاربون 3-فوسفو حامض الكليسيريك (3-PGA) Phosphoglyceric acid .

والنباتات التي تحدث فيها هذه المسارات تسمى نباتات C_3 ، أنزيم Rubisco هو مفتاح لدورة كالفن.

أما نباتات C_4 (دورة هاتش وسلاك) فيكون المركب الأول بعد إدخال CO_2 هو مركب عضوي رباعي الكاربون Oxaloacetic acid. وتختلف نباتات C_3 عن C_4 عدد من الخصائص التشريحية و الفسيولوجية والكيموحيوية، نباتات C_4 هي نباتات استوائية وشبه استوائية ومعتدلة وهي تمتاز بكفاءة عالية في تثبيت CO_2 خصوصاً عندما يتعرض النبات لظروف الشد مثل الملوحة والجفاف ودرجات الحرارة العالية. ويعد أنزيم Pepco المفتاح للدورة الرباعية الكاربون. يوجد في نباتات C_4 نوعين من الأنسجة البنائية هما النسيج المتوسط Mesophyll وغمد الحزمة الوعائية Bundle Sheath. وتعود الكفاءة العالية لنباتات C_4 بنسبة كبيرة الى قلة أو غياب التنفس الضوئي (وهو التنفس بوجود الضوء وحرقت نسبة من السكر المنتج بعملية البناء الضوئي قد تصل الى نسبة 25%). والتنفس الضوئي غير وارد الحصول في النباتات رباعية الكاربون C_4 لعدم وجود أي نوع من الألفة بين O_2 وأنزيم Pepco. لا توجد عائلة نباتية تستعمل دورة C_4 فقط، إذ لابد من وجود دورة C_3 معها.

ملاحظات:

- الكلوروفيلات هي صبغات خضراء موجودة موجودة في النباتات والطحالب والبكتيريا، ويمكن تميز 9 أنواع منها على الأقل هي كلوروفيل A, B, C, D، وكلوروفيلات بكتيرية A, B، وكلوروفيل كلوروبيام 660,650.
- يتكون جزيء كلوروفيل A من البورفيرين Porphyrin وسلسلة فايترول Phytol Chain.

- تختلف أنواع الكلوروفيلات المعروفة في الطحالب والنباتات وكما يلي:
 - كلوروفيل A به مجموعة مثيل CH_3 - عند كربون 3.
 - كلوروفيل B به مجموعة الديهايد CHO - عند كربون 3.
 - كلوروفيل C يشبه كلوروفيل A عدا أن كلوروفيل C ليس له سلسلة فايتول.
 - كلوروفيل D يشبه كلوروفيل A عدا أن كلوروفيل D به مجموعة $O - CHO$ - بدلا من $CH_2 = CH_2$ عند كربون 2.
- لون كلوروفيل A أخضر مزرق وكلوروفيل B أخضر مصفر.
- سلسلة الفايتول تجعل الكلوروفيل غير ذائب في الماء، إذ أن سلسلة الفايتول تثبت جزيئة الكلوروفيل بالجزء الكاره للماء لمحيط الغشاء ويشكل إرتباطات غير تساهمية Non-Covalent Associations مع البروتينات الكارهة للماء.
- الأوكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي هو ناتج من التحلل الضوئي للماء وليس من CO_2 .
- أن التفاعلات المعتمدة على الضوء تتطلب مساهمة نظامين ضوئيين يطلق عليهما النظام الضوئي الأول (PS I) Photosystem I والنظام الضوئي الثاني (PS II) Photosystem II.
- جزيئات الصبغات في المجسات اللاقطة عبارة عن جزيئات الكلوروفيل وأشباه الكاروتين.
- تعد صبغة الكلوروفيل A ذات خصوصية وذلك لأنها مركز تفاعلات الضوء.
- التنفس الخلوي (في المايكوكوندريا) هو عكس ما يحصل في البلاستيدات الخضراء بعملية البناء الضوئي.

العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي

أولا - العوامل الخارجية External Factors

1 - تركيز CO_2 CO_2 Concentration

تركيز CO_2 في الجو ضئيل حوالي 0.03 % حجما وهي كمية ثابتة تقريبا لكنها توفر الكمية المطلوبة للطحالب والنباتات لعملية البناء الضوئي.

2 - درجة الحرارة Temperature

تؤثر درجة الحرارة كثيرا في عملية البناء الضوئي بالرغم من أنها نشطة في مدى يتراوح بين 0 - أقل من 60 م.

3 - الضوء Light

هناك مجموعة العوامل الضوئية المؤثرة في عملية البناء الضوئي وهذه تشمل الضوء المنعكس Reflected والممتص Absorbed والنافذ Transmitted فضلا عن شدة ونوعية الضوء وفترة الإضاءة المتاحة والتأثير المدمر للضوء.

4 - الماء والعناصر الغذائية Water & Nutrient elements

بالرغم من أن عملية البناء الضوئي لاتحتاج إلى كمية كبيرة من الماء بالمقارنة مع تلك الكميات المطلوبة لإستمرار الحياة والفعاليات الحيوية الأخرى فأن العجز في الماء إنما يؤثر في مجمل النظام الحي وبالتالي يؤثر في البناء الضوئي بصورة غير مباشرة.

5 - الأوكسجين Oxygen

هناك عدد من الأسباب حول التأثير السلبي للأوكسجين على عملية البناء الضوئي أهمها:

أ - الأوكسجين ضروري لعملية التنفس وهذه تتنافس مع عملية البناء الضوئي على بعض المركبات الوسطية المهمة المشتركة للعملياتين.

ب - قد يتنافس الأوكسجين مع CO_2 على الهيدروجين وبالتالي يختزل الأوكسجين بدلا من CO_2 .

ت - قد يحصل تنافس بين الأوكسجين و CO_2 على المواقع الفعالة لأنزيم Rubisco؛ إذ يكون هذا التنافس لصالح الأوكسجين.

6 - الملوثات Pollutants

تنتشر الملوثات بدرجة كبيرة في المناطق الصناعية والتي تؤثر كثيرا في أيض النبات وخاصة في عملية البناء الضوئي.

ثانيا - العوامل الداخلية Internal Factors

1 - الكلوروفيل Chlorophyll

هو أحد العوامل الرئيسية في إنجاز عملية البناء الضوئي.

2 - تراكم نواتج عملية البناء الضوئي

Accumulation of the Products of Photosynthesis

أن تراكم نواتج عملية البناء الضوئي بدرجة كبيرة يكون مصاحبا بهبوط في سرعة هذه العملية وزيادة في سرعة عملية التنفس.



المادة :. فسلفة نبات
مدرس المادة :د.بشير عبدالله ابراهيم
رقم المحاضرة :. الخامسة
العام الدراسي :. 2017/2016

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد – كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية
المرحلة الرابعة

المحاضرات النظرية

المحاضرة الخامسة: النقل اللحاءي Phloem Translocation

المعلوم أن معظم الماء والأيونات اللاعضوية تنتقل بواسطة عناصر الخشب (او عية خشبية وقصبيات) من الجذر حتى الورقة. وهناك نظام اخر يتولى مهمة نقل الذائبات العضوية المصنعة بالأوراق الى اجزاء النبات الاخرى وهي عناصر اللحاء [الأنابيب الغربالية(المنخلية) والخلايا المرافقة] ويمكن وصف النقل اللحاءي بأنه حركة نواتج التمثيل الضوئي من المصدر (الأوراق) الى المصب (مناطق النمو والخرن مثل الثمار)، فضلاً عن إعادة توزيع الماء والمركبات المختلفة خلال جسم النبات.

الادلة على دور اللحاء في نقل الذائبات

1- النضح من الشقوق في القلف

عند عمل شق في قلف شجرة نفضية يلاحظ نضح سائل يحوي سكريات بتركيز عالي. وعند اجراء فحص دقيق يتبين ان هذا النضح ناتج من الانابيب الغربالية.

2- تجارب التحليق

التحليق هو ازالة جزء من قلف (اللحاء) الاشجار بشكل حلقة كاملة وهذا يعني ايقاف الحركة السفلية للذائبات العضوية ومما يؤدي الى تراكم الذائبات وانتفاخ النسيج في اعلى الحلقة .

3-تجارب النظائر المشعة

اجريت العديد من التجارب باستعمال الكربون المشع (C^{14}) أو الهيدروجين الثقيل (H^3) Tritium لدراسة حركة المتمثلات المنتجة بعملية البناء الضوئي. وجاءت لتؤكد ما ذهب اليه الباحثين منذ وقت مبكر بأن اللحاء هو الذي يقوم بعملية نقل الذائبات.

طبيعة المواد المنقولة في اللحاء

يعد الماء من اكثر المواد المنقولة باللحاء فضلا عن الذائبات التي تتكون من المواد السكرية والاحماض الامينية والعضوية والبروتينات وبعض المعادن ودلت نتائج التجارب ان الكربوهيدرات المنقولة تكون دائما بشكل سكريات غير مختزلة ذلك لانها اقل فعالية من السكريات المختزلة ويعد السكروز او المركبات الكربوهيراتية الحاوية على السكروز هي المركبات الاكثر نقلا في اللحاء ومن امثلة تلك المركبات رافينوز Raffinose واستاكيوز Stachyose وفيرباسكوس Verbascose . ويمكن ملاحظة المانيتول والسربيتول اما المركبات النتروجينية فهي مركبات عضوية بشكل احماض امينية مثل

الكلوتاميك والسبارتك والاميدات مثل الكلوتامين والسبارجين . وجد ان سرعة حركة المواد المنقولة في اللحاء هي ما بين 300 الى 1500 ملم بالساعة اما الكمية فقد وجد انها تعادل تقريبا 0.164 غم بالساعة .

تحميل وتفريغ اللحاء

ان عملية تحميل وتفريغ اللحاء من اهم العمليات الخاصة بتنظيم نقل وتوزيع المتمثلات بين المصببات Sinks المتنافسة وبالتالي تؤدي دور كبير في انتاجية النبات. ويمكن وصف عملية التحميل بأنها ايصال المواد المصنعة في النسيج الذي يقوم بعملية البناء الضوئي (Source) الى اللحاء الغربالي اما عملية التفريغ فهي ايصال تلك المواد من العناصر الغربالية الى اماكن الخزن (المصببات). هناك ثلاث خطوات رئيسية لعملية التحميل هي :-

أ- تتحرك السكريات الثلاثية المفسفرة من البلاستيده الخضراء الى الساييتوسول اذ تجري سلسلة من تفاعلات كيموحيوية تنتهي بتكوين السكروز .

ب- يتحرك السكروز من خلايا النسيج المتوسط الى منطقة قريبة من العناصر الغربالية في العروق الصغيرة للورقية ويكون هذا المسار لمسافة خليتين او ثلاث خلايا ويدعى النقل للمسافات القصيرة .

ج- نقل السكر بألية نشطة الى عناصر اللحاء تتم بنقل الذائبات خلال النظام الوعائي وصولا للمصببات وتسمى عملية النقل للمسافات الطويلة .

ان عملية تحميل اللحاء تحتاج طاقة حيوية وهي تجري ضد التدرج في الجهد الكيميائي ومن الادلة على ذلك ان استعمال مثبطات عملية التنفس التي تنقص تركيز ATP تثبط عملية تحميل السكروز المعامل للنبات خارجيا.

ومن جانب اخر فان عملية تفريغ اللحاء هي اخراج السكريات (وغيرها من الذائبات) المنقولة في عناصر اللحاء الغربالية الى انسجة المصببات والتي قد تكون اماكن خزن لتلك المركبات مثل الجذور النامية او الدرنات او التراكيب التكاثرية، قد تكون عملية التفريغ من خلال نظام الساييتوبلازم او نظام الجدر الخلوية وتقوم المركبات الحاملة بتسهيل مرور السكروز اذا كان ذلك عن طريق الاغشية البلازمية ومن جانب اخر فان مرور السكريات عن طريق الخيوط البلازمية يكون بألية غير نشطة (سلبية) حيث ينتقل السكروز من منطقة التركيز العالي الى منطقة التركيز المنخفض في خلايا المصب وفي الحالات كلها فان عملية التنفس التي توفر ATP لتحويل السكروز الى مركبات اخرى مهمة في عملية النمو. الطاقة الحيوية المطلوبة بشكل مباشر للمصببات النامية لاغراض التنفس وتفاعلات البناء الحيوي وبشكل غير مباشر لامتصاص المغذيات .

اليات النقل

اجريت دراسات متعددة حول اليات النقل اللحائي من الثلاثينات وحتى منتصف السبعينيات من القرن العشرين وحاليان فان النظرية الوحيدة المقبولة هي نظرية الانسياب الضغطي (نظرية مونخ)

Pressure-flow hypothesis والتي تفسر معظم النتائج المتعلقة بموضوع النقل اللحائي وهناك مجموعة من اليات تفسر حركة الذائبات داخل عناصر اللحاء او عبر جدر تلك العناصر. ويمكن تصنيف النظريات على انها نشطة active وغير نشطة passive لكن الطاقة مطلوبة لغرض تحميل اللحاء من المصادر Sources. وتفترض النظريات النشطة بانه هناك صرف طاقة يكون مطلوب لتوجيه عملية النقل في العناصر الغربالية في حين في النظريات السلبية فان الطاقة مطلوبة فقط لغرض الحفاظ على السلامة الوظيفية للعناصر الغربالية فحسب وليس لتوجيه عملية النقل.

اليات النقل قصيرة المدى

1- نظريات التيار الساييتوبلازمي :- اقترحت هذه النظرية لأول مرة عام 1885 وتنص على ان الذائبات تحمل من مكان لأخر بواسطة التيار الساييتوبلازمي مع النقل عبر الصفيحة الغربالية بألية الانتشار ويمكن ان يحدث النقل الى اعلى او اسفل حسب الحاجة وبالتالي فان هذه النظرية تستطيع تفسير النقل المزدوج. وفي السنوات الاخيرة وجهت لهذه النظرية انتقادات اهمها هي ان حركة الذائبات بهذه الطريقة تحتاج الى ساييتوبلازم نشط ايضا، في حين أن الأنابيب الغربالية المكتملة النمو غير فعالة لدرجة كبيرة لانها تقتقر للنواة.

2-نظرية التيار عبر الخلايا:- تعد هذه النظرية تحوير للنظرية الاولى، لوحظ وجود أشرطة عابرة للخلايا في الأنابيب الغربالية، ويمكن وصف التيار عبر الخلايا بأنه حركة دقائق أو مكونات سائلة للساييتوبلازم خلال صف طولي من خلايا مرتبة طويلاً. وقد افترض أن تلك الأشرطة هي انبيبات بروتينية الخصائص لإضفاء تمدد وتقلص ايقاعي على حركة الأشرطة. تفسر هذه النظرية النقل المزدوج وذلك لأن الأشرطة المختلفة ضمن الانبوب الغربالي الواحد بإمكانها ان تنقل السكريات باتجاهات متعاكسة في أن واحد. الإنتقادات الموجهة لهذه النظرية هي كيفية تحول الطاقة الحيوية الى قوة فيزيائية ضمن الانبوب الغربالي. كما أن الأنابيب غير واضحة الخصائص فيما إذا كانت صلبة أو انبوبية. باستعمال تجارب النظائر المشعة تأكد وجود نقل مزدوج في الأنابيب الغربالية لكن لم يتأكد وجود النقل في الإتجاهين في الإنبوب الغربالي نفسه.

3- النظرية الكهروأزموزية:- تفترض هذه النظرية أن ايونات البوتاسيوم تمر خلال الفتحات الغربالية بالكهروأزموزية وان جزيئات السكر الملتصقة بقوة مع ايونات البوتاسيوم تمر سوية، وبالاستفادة من ATP فان الأنابيب الغربالية تنقل ايونات البوتاسيوم وعليه فإن كل صفيحة غربالية تمثل محطة ضخ كهروأزموزية تدعم الانسياب الكتلي لمحلول السكر على طول الانبوب الغربالي. الانتقادات الموجهة لهذه النظرية هي انها تفنقر للدلة التجريبية وان الهجرة المستمرة للبوتاسيوم عبر الصفائح الغربالية غير مقبولة إذ تكون الطاقة المطلوبة لتحريك البوتاسيوم كبيرة. فضلاً عن انها لا تفسر النقل في الاتجاهين.

4-الانتشار والضخ المنشط:-لاحظ علماء فسيولوجيا النبات في الثلاثينيات من القرن العشرين ان معدل النقل يتباين مع تدرج تركيز السكر في اللحاء اذ لوحظ ان توزيع السكر في المشع وعلى طول الساق بعد مدة قصيرة من تجهيزه للنبات يمثل دالة لوغارتمية للمسافة عن مصدر التجهيز. وحركة السكر هنا ناتجة عن الانتشار لا الضخ او اليات الانسياب او التدفق الكتلي وقد اكد العلماء بأن هناك خاصية غير محددة للبروتوبلازم تقلل مقاومة الانتشار ولها دور في تنشيط عملية الانتشار.

لم تقبل اي من هذه الفرضيات بشكل عام وذلك لعدم وجود مايببرهن صحتها.

الآية النقل بعيد المدى

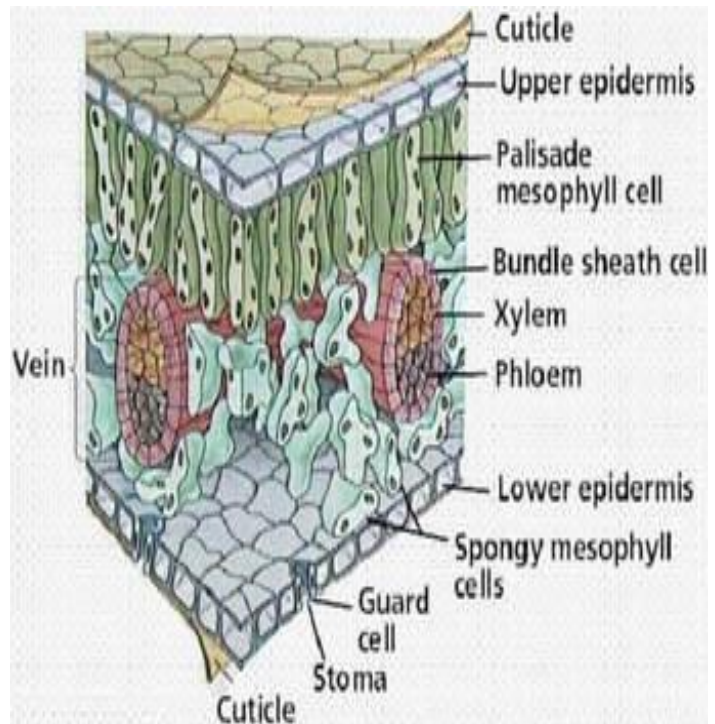
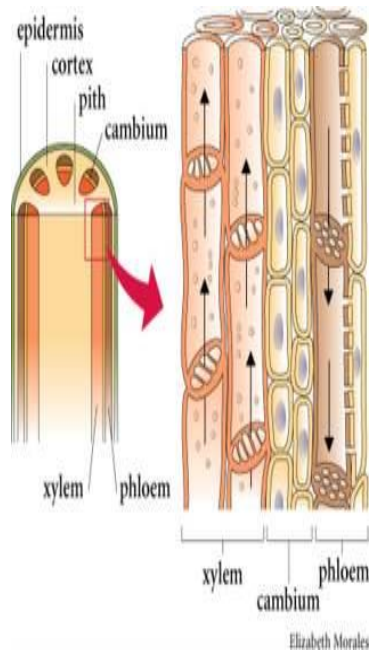
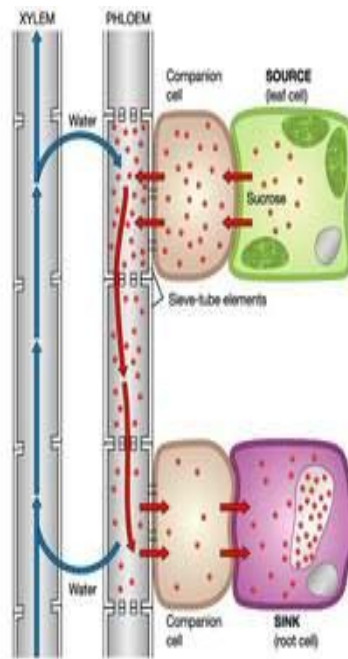
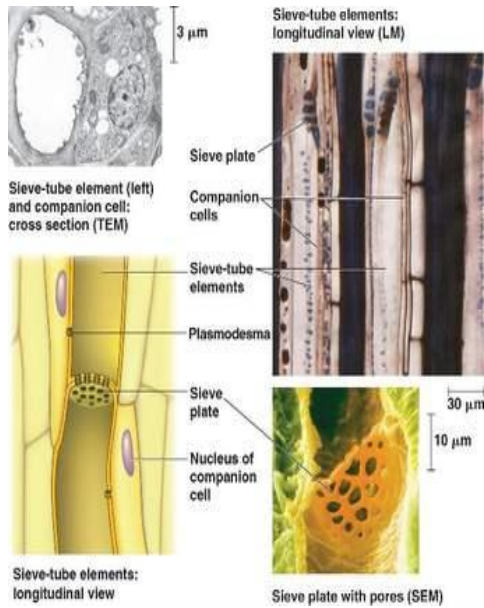
لاقت نظرية الانسياب الضغطي التي اقترحها مونخ عام 1930 والتي تنص على ان تدفق المحلول في العناصر الغربالية يكون موجها بواسطة تدرج الضغط المتولد ازومزيا بين المصدر والمصب .وينشأ تدرج الضغط نتيجة لتحميل اللحاء في المصدر وتفريره في المصب، وهذا يعني ان طاقة تحميل اللحاء تولد جهد ازومزي منخفض في العناصر الغربالية لنسيج المصدر والتي تؤدي الى هبوط حاد في قيمة الجهد المائي ، واستجابة للتدرج في الجهد المائي فإن الماء يدخل عناصر اللحاء ليزيد من جهد الضغط ، وعند نهاية العنصر اللحائي لمسار النقل فان تفرير اللحاء يقود الى تقليل الجهد الازومزي عند نسيج المصب وبزيادة قيمة الجهد المائي في عناصر اللحاء قياسا مع عناصر الخشب فإن الماء ينتقل من اللحاء استجابة للتدرج في الجهد المائي مؤديا الى نقص في جهد الضغط لعناصر الانبوب الغربالي في المصب .

الدعم لهذه النظرية :-

- 1- ثقب الصفائح الغربالية هي قنوات مفتوحة وتصل بين عناصر اللحاء الغربالي.
- 2- النقل المزوج غير موجود ضمن العنصر اللحائي الواحد ، لكنه لوحظ في الحزم المختلفة .
- 3- دلت الدراسات على وجود تدرج في جهد الضغط بين خلايا المصدر وخلايا المصب وقدرت بعض الدراسات الفرق في جهد الضغط بحوالي 0.41 ميكاباسكال وهو كافٍ لتحريك العصارة اللحائية بين المصدر والمصب .

الانتقادات لهذه النظرية:-

- 1- اكدت هذه النظرية على ان النقل يكون وفق الآلية غير نشطة اي بعملية فيزيائية الا ان نتائج الابحاث باستعمال درجات الحرارة المنخفضة او المثبتات الايضية اكدت تثبيط عملية النقل تحت تلك الظروف مما يدل على انها نشطة.
- 2- وجد ان السكر يمكنه ان ينتشر ضد تدرج الجهد الازومزي في خلايا النسيج المتوسط والانابيب الغربالية وقد افترض ان ATP يعجل معدل عملية النقل من خلايا النسيج المتوسط الى خلايا اللحاء .
- 3- هناك من يعتقد بان فتحات الصفائح الغربالية تبقى مسدودة بالبروتوبلازم الكثيف الذي يعمل حاجزا ضد التدفق الكتلي.
- 4- لا بد من وجود ضغط انتفاخي كبير للسيطرة على مقاومة الجدر العرضية والخيوط البلازمية وهذا غير موجود فعليا.
- 5- لا توجد ادلة واضحة على وجود مضخة في النباتات تشكل تدرج في الجهد الضغط بين الانبوب الغربالي وخلايا النسيج المتوسط. وقد ذكر بعض الباحثين ان تركيز السكروز في الانبوب الغربالي هو اعلى بـ 23 مرة من مما في خلايا النسيج المتوسط للورقة وهذا يضعف نظرية مونخ بوصفها الآلية لتفسير عملية النقل اللحائي. ومع ذلك فليس لهذه النظرية بديل في الوقت الحاضر لتفسير الآلية النقل بعيد المدى.





المحاضرات النظرية

المحاضرة السادسة: الإنزيمات Enzymes

ان التفاعلات الكيميائية التي تجري داخل الخلايا الحية والتي تشمل عمليات البناء(مثل بناء السكريات والنشأ والسليولوز والبروتينات والمواد الدهنية وغيرها) وكذلك عمليات تحلل تلك المواد، لايمكن لها أن تحدث بدرجات الحرارة الاعتيادية لولا وجود مواد عضوية خاصة يصنعها البروتوبلازم، تسمى الإنزيمات Enzymes هي جزيئات بروتينية تعجل التفاعلات الكيميائية وترتبط مع مواد التفاعل لكنها تخرج من التفاعل دون تغيير خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

طاقة التنشيط

المعلوم أن الجزيئات غالباً لا تتفاعل مع بعضها البعض إلا أن تُنشط بطريقة ما، يمكن تنشيط الجزيئات في المختبر بالتسخين مثلاً وهذا يعني زيادة عدد التصادمات بين الجزيئات، وهذه الطاقة الواجب اضافتها للجزيئات حتى تبدأ بالتفاعل تسمى طاقة التنشيط. مثلاً التحلل المائي لبروتين الكازين يحتاج الى طاقة 20600 كيلو سعرة لكل جزيء غرامي، لكن بوجود الانزيم فان طاقة التنشيط تهبط الى 12600 كيلو سعرة لكل جزيء غرامي. ويتم خفض طاقة التنشيط بواسطة الإنزيم بتكوين معقد (الإنزيم-مادة التفاعل).

الإنزيم+مادة التفاعل الإنزيم-مادة التفاعل النواتج+ الإنزيم

يرتبط جزء بسيط من الإنزيم مع مادة التفاعل بموقع يسمى الموقع الفعال Active site وهذا الارتباط يشبه علاقة القفل والمفتاح. وهو ما يحدد تخصص الانزيم بالعمل. يتوقع ان تخفيض طاقة التنشيط يكون عن طريق تكوين معقد الانزيم-مادة التفاعل الذي يشد روابط مادة التفاعل، وبعد اتمام التفاعل فإن النواتج تتحرر ويعود الموقع الفعال لوضعة الطبيعي، وهذا يمكن الخلية من استعمال الانزيم في التفاعلات القادمة ولذلك تحتاج الخلية الى كميات قليلة من الانزيمات لإنجاز التفاعلات.

خصائص الإنزيمات

تختلف الإنزيمات في عدد من الصفات عن العوامل المساعدة غير العضوية منها:-

1- تعمل الانزيمات بسرعة عالية في الظروف العادية قياسا مع العوامل المساعدة غير العضوية مثلا تتحلل البروتينات مائيا بوجود العوامل المساعدة غير العضوية كالأحماض والقواعد القوية عند درجة حرارة 100° س وتحتاج لعدة ساعات في حين تتم هذه العملية بوجود الانزيمات في عدة دقائق وبدرجات الحرارة الاعتيادية كذلك الحال في التحلل المائي للنشا كذلك فان ايونات الحديد ضمن تركيب انزيم الكاتاليز Catalase تعمل على الاسراع في تفكك H₂O₂ بسرعة كبيرة قياسا بالحديد لمفرده.

2- الانزيمات ذات طبيعة بروتينية وهي بذلك تختلف عن العوامل المساعدة غير العضوية وعدم الثبات الحراري واعتماد نشاطها على تركيز ايونات الهيدروجين pH ووجود المنشطات او المثبطات وغيرها .

3- تعجل الانزيمات التفاعلات العكسية او غير العكسية حتى الوصول الى حالة الاتزان وفي عدم وجود الانزيم فان التفاعلات تحدث ببطئ شديد للوصول الى الاتزان . اما العوامل المساعدة غير الانزيمية فانها غير معنية بحالة الاتزان بل تسرع في اتمام التفاعلات التي تحفزها .

4- التخصص تتميز الانزيمات بتخصص عالي جدا بتأثير في التفاعلات الكيميائية وهذا لا يلاحظ في حالة العوامل المساعدة غير الانزيمية اذ يقوم كل انزيم بتعجيل تفاعل كيميائي واحد او لمجموعة من التفاعلات من نوع واحد وهو من الصفات البارزة للانزيمات ويمكن تفسيره على اساس تطابق التركيب الفراغي للمادة المتفاعلة والمراكز الفعالة وهناك عدة انواع من التخصص:-

أ- تخصص مطلق:- الانزيمات ذات التخصص المطلق تنشط تفاعل خاص مثلا انزيم المالتيز Maltase يساعد على تحلل رابطة الفا كلكوسايد α -glucoside وليس بيتا كلكوسايد β -glucoside . كلك يعمل انزيم اليوريز Urease على تحلل اليوريا Urea وليس المركبات الشبيهة بها مثل الاثيوبوريا والمثيل يوريا والبيوريت .

ب- التخصص الكيموفاغي تبدي الانزيمات درجة عالية من التخصص حول توزيع الذرات في مادة التفاعل مثلا انزيم Lactic dehydrogenase الذي يعمل على تحلل L-lactic acid وليس صورة D-Lactic acid .

ج- تخصص مجموعة :- هذه الانزيمات تسرع التفاعلات لجزيئات المواد التي لها المجموعة نفسها مثلا انزيم الببسين (من انزيمات Peptidases) الذي يعمل على تحلل رابطة الببتيد المجاورة لكل الاحماض الامينية الحلقية وكذلك المجاورة للحامض الاميني الليوسين وانزيم التربسين الذي يحلل الرابطة المجاورة للحامضين الامينيين ارجنين واللايسين وغيرها .

د- تخصص رابطة:- تعد هذه المجموعة من الانزيمات الاقل تخصصا اذ انها تؤثر في رابطة كيميائية معينة بغض النظر عن نوع المركبات الحاوية على هذه الرابطة مثلا انزيم اللايباز Lipase يحلل رابطة الاستر مهما كان نوع الكحول والحامض الدهني المكون لهذه الرابطة .

الطبيعة الكيميائية للانزيمات

الانزيمات مواد بروتينية قابلة للذوبان في الماء وفي المحاليل المخففة الملحية والكحولية وهي تترسب من محاليلها المائية باضافة الاملاح او حامض البكريك والفوسفوتينجستك ويمكن تقسيمها الى نوعين:

1- البروتينات البسيطة مثل انزيم الاميليز الذي يحلل النشا وهذه تتألف من احماض امينية فقط.

2- البروتينات المقترنه وهي تكون مرتبطة مع مركبات غير بروتينية ويتكون تركيب هذه الانزيمات من :-

- الجزء البروتيني ويسمى الانزيم المجرد.

- الجزء غير البروتيني تحتاج انزيمات متعددة الى عوامل مساعدة غير بروتينية لتسهيل عملها وتسمى عوامل مساعدة وتكون على نوعين العامل المساعد العضوي يؤدي دورا مهما في تنشيط عمل الانزيمات وقد يكون غير وثيق الاتصال بالانزيم ويسمى المرافق الانزيمي Conzyme مثل NAD^+ و FAD او قد يكون وثيق الاتصال بالانزيم ويسمى المجموعة الاضافية.

وعامل مساعد لعضوي وهو يكون بشكل مجموعة اضافية وثيقة الاتصال بالجزء البروتيني ولا يمكن فصله بسهولة عن الانزيم ووجوده اساسي لعمل الانزيم وفصل هذا الجزء عن الانزيم يوقف النشاط الانزيمي بشكل كامل مثل النحاس والحديد والمنغنيز والزنك والكالسيوم والبوتاسيوم والكوبلت .

الية عمل الانزيم

تحتاج جميع التفاعلات العادية الى طاقة تنشيط لمادة التفاعل قبل التحول الى نواتج ويكون معدل التفاعل محددا بتكوين المركب الوسيط الذي يحتاج الى طاقة تنشيط عالية لكي يتكون ويكون ذلك عن طريق امداد التفاعل بالطاقة (الحرارة) وبزيادة درجة الحرارة تحصل اعداد كبيرة من مواد التفاعل على قدر كاف من طاقة التنشيط لتكوين المركب الوسيط الذي يتحول تلقائيا الى نواتج.

اما في التفاعلات الانزيمية فيرتبط الانزيم بمادة التفاعل بطريقة تؤدي الى تغيير في تركيب مادة التفاعل لتصبح في الصورة الوسطية وان هذا المعدل (الانزيم-مادة التفاعل) يحتاج الى طاقة تنشيط اقل قياسا مع طاقة التنشيط اللازمة في حالة غياب الانزيم . وعليه فان الانزيم يقوم بخفض طاقة التنشيط اللازمة لمادة التفاعل وهذا يزيد من معدل تكوين الصورة الوسطية الامر الذي يؤدي الى زيادة نواتج التفاعل .

العوامل المؤثرة في النشاط الانزيمي

1- تركيز الانزيم :- يزداد معدل التفاعل الانزيمي زيادة طردية بزيادة تركيز الانزيم الا في حالات شاذة .

2- تركيز مادة التفاعل:- تزداد سرعة التفاعل الانزيمي الى درجة كبيرة بزيادة تركيز مادة التفاعل وتقل بعدها الكمية النسبية للمادة المتفاعلة مع الزمن الا ان زيادة تركيز مادة التفاعل الى درجة كبيرة يمكن ان يحدث تأثيرا مثبطا للنشاط الانزيمي وقد يكون ذلك بسبب تراكم النواتج النهائية للتفاعل وكذلك فان زيادة تركيز مادة التفاعل يؤدي الى تقليل تركيز الماء (الاجهاد المائي) وهذا يقلل من الطاقة الكامنة للتفاعل الانزيمي .

3 - درجة الحرارة:- تزداد سرعة التفاعل الانزيمي بزيادة درجة الحرارة لحدود معينة وقد وجد ان زيادة درجة الحرارة 10 درجات مئوية تزيد معدل التفاعل الانزيمي 2.5 مرة لغاية 25 ° س تسبب زيادة الحرارة زيادة في الطاقة الحركية لكل من مادة التفاعل وجزيئات الانزيم وزيادة في فرصة الاصطدام بين الانزيم وجزيئات مادة التفاعل نتيجة للحركة الكبيرة.

يبدو ان معدل التفاعل يصل الى حده الاقصى عند 45 ° س وفي هذه الدرجة تبدأ عملية تغيير في التركيب الاساسي لجزيئ الانزيم وفي الحقيقة فان تغيير خصائص الانزيم يبدأ من درجة 35 الى 60 ° س .

4- تركيز ايون الهيدروجين pH:- تتأثر سرعة النشاط والتفاعل الانزيمي بتركيز ايون الهيدروجين لوسط التفاعل ويتراوح الرقم الهيدروجيني للحصول على اقصى نشاط انزيمي بين 4.5 الى 7.5 ويسمى الرقم الذي يعطي اقصى نشاط انزيمي بالرقم الهيدروجيني المثالي علما ان هناك انزيمات يكون نشاطها الاقصى عند ارقام هيدروجينة اعلى واقل مما ذكر في اعلاه وبعض الانزيمات لايتاثر نشاطها كثيرا بتغير pH وسط التفاعل مثل Catalase و Dehydrogenase .

5- المنشطات والمثبطات :- المنشطات هي مواد ثابتة لاتتأثر بالحرارة ويمكن فصلها بطريقة الفصل الغشائي وبذلك يقل اويتوقف عمل الانزيم ومن امثلتها الايونات المعدنية . وهناك مركبات مثبطة ترتبط بالانزيمات بروابط تساهمية ويكون التنشيط للتفاعل غير العكسي عادة اما اذا ارتبطت بروابط ضعيفة فان التنشيط يكون عكسيا وبعض المثبطات تشبه جزئ مادة التفاعل وتتنافس على الموقع الفعال في الانزيم مع المواد المتفاعلة ويسمى هذا النوع بالتنشيط التنافسي وهناك نوع اخر من التنشيط ترتبط في المثبطات مع جزء الانزيم البعيد عن الموقع الفعال وهذا الارتباط يغير شكل الانزيم ويسمى بالتنشيط غير التنافسي .

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بغداد - كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

المرحلة الرابعة



المادة :. فسلجة نبات

مدرس المادة :.د.بشير عبدالله ابراهيم

رقم المحاضرة :. الثامنة

العام الدراسي :. 2017/2016

المحاضرات النظرية

المحاضرة الثامنة: مفاهيم فسيولوجية

- ❖ النمو Growth:- هو الزيادة غير العكسية في عدد الخلايا وحجمها، وبالتالي زيادة غير عكسية في حجم ووزن الكائن النبات.
- ❖ التمايز (التخصص) Differentiation :- يشير الى اختلافات الخلايا أو الأنسجة أو الأعضاء النامية في خصائصها التشريحية والوظيفية فالخلية المخصبة تنمو وتنقسم باستمرار وتعطي بعض الخلايا جذر وبعضها الآخر ساق وأوراق وبراعم خضرية وأخرى ثمرية وهذا يعني أنسجة خشب ولحاء وغيرها.
- ❖ التطور Development:- هو محصلة النمو والتمايز أي التغيرات التي يمر بها النبات من إنبات البذور الى اكتمال النمو والتزهير والأنتاج وانتهاءً بالشيخوخة.
- ❖ منحنى النمو Growth curve:- ويسمى منحنى الحرف S أو Sigmoid curve وهو يمثل ثلاث مراحل من النمو البطيء ثم السريع ثم البطيء أو المفقود.
- ❖ السيطرة على نمو النبات Control of Plant Growth: 1-ضمن الخلايا عن طريق عملية التعبير الجيني Gene expression أن التطور المنظم للنبات يحتاج الى تعاقب مبرمج من التنشيط الخاص بالمورثات لغرض تكوين بروتينات معينة في الوقت المناسب.
- 2-السيطرة بين الخلايا وتحدث عن طريق التنظيم الهرموني للنمو والتطور طوال مدة حياة النبات.
- 3-السيطرة خارج الخلايا تختص هذه السيطرة بالمؤثرات البيئية التي يمكن أن تنظم عملية النمو ومنها درجة الحرارة والضوء والجاذبية والرياح والصوت.
- ❖ التوافق الضوئي Photoperiodism :- هو استجابة النبات لطول النهار(علماً أن طول الليل هو المؤثر في حصول الاستجابة) أن قدرة النبات في كشف طول النهار تجعل بالإمكان لحادثة ما(تفريع أو الإستطالة أو التزهير.....) أن تحدث في وقت محدد من السنة محدثة الاستجابة الفصلية Seasonal response، ويمكن أن تحدث الإستجابة لحادثة ما أثناء اليوم فتحدث الإستجابة اليومية Daily response. وقد قسمت النباتات حسب قدرتها على التزهير استجابةً لطول النهار الى:-

1- نباتات النهار القصير الزهرية (Short-Day Flowering Plants (SDPs) :- هي النباتات التي تزداد شدة ازهارها عندما يصبح النهار أقصر من فترة حرجة معينة، ولا تزهر اذا طال النهار عن الفترة الحرجة. وتختلف الفترة الحرجة بين النباتات.

2- نباتات النهار الطويل الزهرية (Long-Day Flowering Plants (LDPs) :- هي النباتات التي تزداد شدة ازهارها عندما يصبح النهار أطول من فترة حرجة معينة، ولا تزهر اذا قصّر النهار عن تلك الفترة الحرجة.

3- النباتات الزهرية المحايدة لطول النهار (Day-Neutral Flowering Plants (DNPs) :- هي النباتات التي لا يتأثر تزهيرها كثيراً بطول النهار.

❖ الوزن الطري:- هو وزن النبات او الجزء النباتي وهو في الحالة الرطبة أي وزنه بعد قطعه مباشرة.

❖ الوزن الجاف:- وهو وزن النبات أو الجزء النباتي بعد انتزاع الرطوبة منه بواسطة الفرن، وهو مقياس لكفاءة عملية البناء الضوئي.

❖ التمثيل الضوئي (الكاربوني):- تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية بتحليل H₂O وتثبيت CO₂ في مركب سكر الكلوكوز.

❖ تنفس النبات:- عملية اكسدة نواتج التمثيل الضوئي لإنتاج الطاقة التي يمكن أن تستخدم في نمو النبات وصيانتة.

❖ ارتفاع النبات:- يقاس من نقطة اتصال الساق بسطح الأرض الى أعلى نقطة في النبات.

❖ الانبات:- خروج الرويشة أوالأوراق الفلقية والجذير من البذرة بعد تشربها بالماء.

❖ البروغ:- خروج الرويشة أوالأوراق الفلقية من سطح التربة.

❖ النضج الفسيولوجي:- هو نضج الثمار بشكل كامل لكن هناك كمية كبيرة من الماء فيها.

❖ المساحة الورقية ودليلها:- هي مجموع المساحات الخضراء التي تقوم بعملية البناء الضوئي (الأوراق). دليل المساحة الورقية هو حاصل قسمة المساحة الورقية على مساحة الأرض التي يشغلها النبات.

وتقاس بطرق متعددة منها 1- استعمال معادلات جاهزة لكل نوع نباتي وتحسب

المساحة الورقية = اقصى طول للورقة × أقصى عرض × معامل التصحيح. ويختلف معامل التصحيح حسب شكل الورقة فهو للحنطة 0.79 وللذرة 0.75 وللرز 0.802 وللقطن 0.77.

2- طريقة الأقراص الورقية:- يستعمل انبوب معدني دائري معروف المساحة ويستعمل في أخذ أقراص (10-15 قرص) من الورقة المراد معرفة مساحتها وتوزن مباشرةً وبذلك نحصل على مساحة معلومة و وزن معلوم ثم نوزن الأوراق للحصول على وزن اوراق كلي وهذا يعني امكانية الحصول على المساحة الكلية من النسبة والتناسب.

3- بواسطة جهاز البلانميتر:- جهاز يقيس المساحة الورقية للنبات مباشرة وهو في الحقل وهذا الجهاز يشبه الماسح الضوئي(Scanner). توضع الورقة النباتية في المكان المخصص ثم يحرك ببطء لمسح المساحة الورقية.

4- هناك طرق اخرى مثل طبع الورقة النباتية على ورق بياني وبحساب عدد المربعات الصغيرة المظلة يمكن معرفة المساحة الورقية.

دليل المساحة الورقية=المساحة الورقية للنبات(م²)\المساحة التي يشغلها النبات من الأرض(م²).

هناك دليل مساحة ورقية مثالي مختلف للأنواع المختلفة من النباتات وهذا يعتمد على شكل الأوراق وعددها والزاوية التي تصنعها مع الافق وتوزيعها على الساق وارتفاع النبات. إذا قل دليل المساحة الورقية عن المثالي فهذا يعني أن هناك هدر في الطاقة الشمسية المستلمة في تلك المساحة ويقود الى هدر في الموارد الاخرى، وإذا زاد دليل المساحة الورقية عن المثالي فإنه يحدث هدر في الطاقة المصنعة في الأوراق العليا بأستهلاكها في الأوراق السفلى المظلة عن طريق التنفس.

- ❖ نباتات محدودة النمو: هي النباتات التي يتوقف فيها انتاج البراعم الخضرية وتنتهي مرحلة النمو الخضري عند دخول مرحلة النمو التكاثري.
 - ❖ غير محدودة:- هي النباتات التي يستمر فيها انتاج البراعم الخضرية ومرحلة النمو الخضري عند دخول مرحلة النمو التكاثري.
 - ❖ الإرباع Vernalization:- يعني معاملة النبات بدرجات حرارة منخفضة لتعجيل التزهير في بعض النباتات.
 - ❖ السيادة القمية Apical dominance:- هي سيادة البرعم الرئيس أو هيمنته على البراعم الاخرى ومنعها من النمو أو التقليل منه بسبب انتاج البرعم الرئيس للأوكسين IAA.
 - ❖ دليل الحصاد Harvest index (HI):- هو حاصل قسمة وزن الحاصل الأقتصادي(الحبوب أو الثمار) على وزن الحاصل البايولوجي(ما موجود من النبات فوق سطح التربة).
 - ❖ الشد Stress:- أي عامل خارجي(بيئي) يسبب تأثيرات غير ملائمة للكائن الحي وهو بذلك يشير الى الضرر الذي لحق بالنبات، وقد يكون الإجهاد حيوي (بسبب عوامل حيوية مثل الأحياء المجهرية أو غيرها) أو غير حيوي مثل إجهاد الماء أو إجهاد الملوحة أو غيرها.
 - ❖ مكونات الحاصل:- هي الوحدات الأساسية التي يتألف منها الحاصل الأقتصادي. مثلاً مكونات الحاصل للشعير = عدد السنابل\نبات أو م² × عدد الحبوب\سنبله × متوسط وزن الحبة المفردة.
- مكونات الحاصل للبطاطا = عدد النباتات\م² × عدد الدرنات\نبات × متوسط وزن الدرنة.

- ❖ مبدأ التعويض:- يمكن توضيحه بأن الزيادة أو النقصان في احد مكونات الحاصل يقابله نقصان أو زيادة في المكونات الاخرى. فمثلاً قلة عدد حبوب السنبله يقابله زيادة متوسط وزن الحبة أو زيادة عدد السنابل/انبات وهكذا وقد يزيد مكون على حساب مكونين أو مكونين على حساب مكون. ❖ قانون الغلة المتناقصة:- العائد المتحقق من اضافة كل وحدة من وحدات عنصر الإنتاج يقل مع زيادة عنصر الإنتاج.
- ❖ معدل النمو النسبي (RGR):- يمثل الزيادة في الوزن الجاف للنبات بالنسبة الى الوزن الجاف الكلي

$$\ln W_2 - \ln W_1$$

عند نقطة معينة.

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{(t_2 - t_1)}$$

$$(t_2 - t_1)$$

$\ln W_1$ = اللوغاريتم الطبيعي للوزن الأول

$\ln W_2$ = اللوغاريتم الطبيعي للوزن الثاني

T_1 = الزمن الأول الذي اخذت فيه العينة.

T_2 = الزمن الثاني الذي اخذت فيه العينة.