

المحاضرة الأولى

الخلية النباتية

مقدمة:

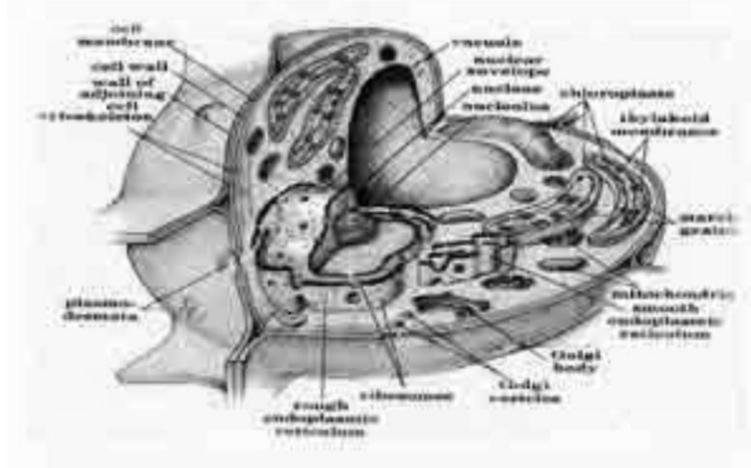
الخلية الوحدة التركيبية والوظيفية الأساسية للحياة . وفي الكائنات وحيدة الخلية تعتبر الخلية كائن حي كامل بينما في الكائنات الراقية عديدة الخلايا فإنه يوجد تجمع لعدد كبير من الخلايا المختلفة والتي تنظم بكل دقة لتكون نسيجا والأنسجة المختلفة تكون عضوا ، والأعضاء المختلفة تكون الكائن الحي من خلال النمو Growth والتطور Development سواء كان نبات او حيوان فخلال عملية النمو والتي يحدث خلالها تفاعلاتها كيميائية وتخصصات وظيفية . تؤدي التغير الشكلي Morphogenesis المتعدد الأوجه. وبالرغم من تعدد النواتج التخصصية والوظيفية للخلايا إلا أن الخلايا متشابهة الي حد كبير في احتوائها على عديد من العضيات التي يتم فيها التفاعلات الكيميائية كذلك تتشابه و DNA في الأغشية البلازمية والأحماض النووية والتي تعمل كمكونات أساسية في ميكانيكية نقل RNA المعلومات في جميع الخلايا.

وكذلك في Prokaryotes وهذه الكائنات الأولية ذات الخلايا غير المحتوية على أنوية محددة عادة ما تشترك في الكثير من Eukaryotes الكائنات ذات الخلايا المحتوية على أنوية محددة الخصائص العامة للكائنات الحية .

نظرية الخلية والصفات العامة للمادة الحية:

تتشارك كل الكائنات الحية في انها تتكون من خلايا و الخلية الحية تستطيع بمفردها ان تكرر موادها الوراثية وان تستخدم المعلومات الوراثية بها لبناء البروتين وان تستهلك وتنتج الطاقة.

وهكذا تكون الخلية هي الأساس لكل صور الحياة بالرغم من ان لكل خلية دور ووظيفة حيوية تختص بها . ولهذا تعرف الخلية : بأنها وحدة النشاط الحيوي والتي تحاط بغشاء حي شبة منفذ والتي يمكنها ان تكرر نفسها بالانقسام الخلوي عندما تعزل علي بيئة مغذية مناسبة . او تعرف بانها اصغر جزء من الكائن الحي والذي يحوي الخواص والصفات المميزة للمادة الحية .



لا وجود للخلية النباتية النمطية إلا أن الخلايا النباتية الحية تتشابه بتركيب الخلية الحية يتميز بوجود جدار خلوي يليه غشاء سيتوبلازمي يحيط بمساحة داخلية تحتوي على البروتوبلازم والذي يتكون من سيتوبلازم ونواة ويطلق اسم البروتوبلاست Protoplast على تلك المكونات البروتوبلازمية داخل الغشاء البلازمي.

ويوجد داخل السيتوبلازم نواة تحاط بغشاء معقد يعرف بالغلاف النووي، والعضيات السيتوبلازمية مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات والريبوزومات وتراكيب غشائية تعرف بالشبكة الاندوبلازمية وجهاز غولجي الذي يجاور في العادة النواة.

وتتميز السيتوبلازم بطبيعته الغروية على الرغم من وجود كثير من المواد الذائبة فيها وترجع هذه الطبيعة الغروية للبروتوبلازم لوجود البروتينات حيث تتيح البروتينات سطوح مساحية غير محدودة للتفاعلات اللازمة للحياة وعلى هذا يعتبر النظام الغروي أساس لمظاهر المادة الحية.

١ - جدار الخلية Wall Cell :

تحتاج الكائنات الحية الي دعائم ميكانيكية لكي يكون لها شكلها المحدد ففي عالم الحيوان تعود الصلابة لتلك الكائنات عن طريق الجهاز العظمي أما في النباتات ونتيجة عدم احتوائها على مثل ذلك الجهاز وإنما اقل رقيا من الحيوان فالتدعيم لا يكفي أن يكون من خلال ضغط الامتلاء المائي داخل الخلايا والذي يساعد بالطبع على التدعيم الميكانيكي لذلك يعتمد النبات في التدعيم بشكل أساسي في بناء الجدار الخلوي الصلب السليلوزي ولا يقتصر دور الجدار في التدعيم فقط بل يتعداه للقيام بوظائف أخرى:

١ - الجدار يشترك في امتصاص وانتقال الماء والمعادن

٢- في الإفراز وفي بعض النشاط الأنزيمي .

٣- الجدر الخلوية ومكوناتها تلعب دورا هاما في مقاومة المرض بإعاقه اختراق الطفيليات.

وتقوم البروتوبلاست الحية بإنتاج مكونات الجدار الخلوي . وهناك خلايا لا يدوم فيها البروتوبلاست طويلا مثل تلك المتخصصة في وظائف التوصيل والتدعيم مثل الخشب . وينتج

البروتوبلاست مكونات الجدار الخلوي ويرسبها ملاصقة للسطح الخارجي للغشاء البلازمي. والمركب الرئيسي للجدار هو السيليلوز وتشكل المواد البكتينية والهيم سيليلوز واللجنين والسوبرين والبروتينات مواد الترسيب التي تشكل الجدر الثانوية المانحة لصلابة الجدر الخلوية. ثم تأتي الصفيحة الوسطى والتي تلتصق الخلايا مع بعضها وتتكون من حمض البكتيك وأملاح غير ذائبة لحمض البكتيك مثل بكتات الكالسيوم والمغنسيوم وكميات ضئيلة من البروتوبكتينات وترجع صلابة الصفيحة الوسطى في المراحل المتأخرة من تكوين الجدار الخلوي لوجود أملاح الكالسيوم والمغنسيوم لحمض البكتيك وكذلك السكريات المركبة مثل السيليلوز وفي بعض الاحيان اللجنين. مراحل تكون الجدار الخلوي: يمر الجدار الخلوي بعدة مراحل خلال تكونه :

أولاً - الجدار الاولي Wall Primary :

بمجرد تكوين الصفيحة الوسطى تزداد الخلية في الحجم وتستطيل ويصحب هذه الاستطالة ويتبعها تشرب الصفيحة الوسطى بثلاث أنواع من المركبات هي: (السيليلوز) (الهيميسيليلوز) تجمع (كربوهيدرات + بروتين) وتبلغ سماكته ٣ ميكرون وتتوضع على السطح الداخلي للصفيحة الوسطى والسطح الخارجي للغشاء البلازمي بما يعرف بالجدار الابتدائي أو الاولي.

وهناك العديد من الخلايا النباتية تحتوي فقط على الجدار الابتدائي مثل الخلايا الميرستيمية وخلايا البشرة والخلايا المشتركة في التمثيل الغذائي. والجدر الابتدائية تتميز بمطاطيتها نتيجة لمرونة تركيبها ولكن عندما يرسب عليها مكونات جديدة للجدر تفقد جزءا من مرونتها.

ثانياً - الجدار الثانوي Secondary Wall :

بمجرد تكوين الجدار الثانوي في الخلايا البارانشيمية تتوقف الخلية عن الاستطالة. بينما في خلايا أخرى مثل القصيبات فان الجدار يستمر في تغلظه بعد توقف استطالة الخلايا وذلك بترسيب طبقات من السيليلوز واللجنين لتكوين الجدار الثانوي. ويتراوح سمك الجدار الثانوي بين ٥-١٠ ميكرون وبنهاية ترسيب الجدار الثانوي يفقد الجدار الكثير من مرونته ويصبح في النهاية غير مطاط تماما وقد يؤدي تغليظ الجدار الثانوي ويشغل معظم حجم الخلية ويسبب هذا موت وتحلل البروتوبلازم كثير من الجدر الثانوية تحتوي على اللجنين وتتواجد في الجدر مع الهيميسيليلوز ومركبات اخري ترتبط بالسيليلوز.

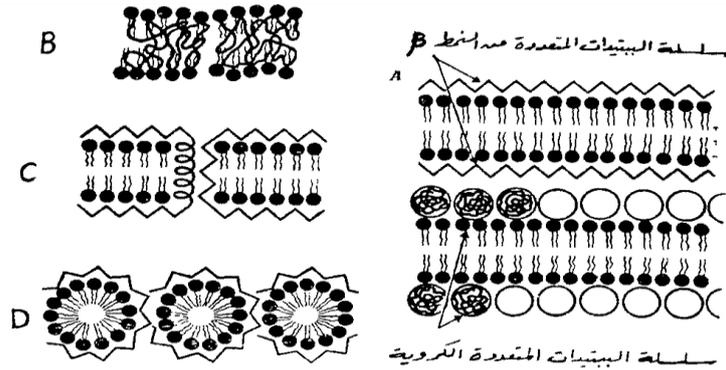
واللجنين يحتل المركز الثاني من حيث السيادة بعد السيليلوز بين مركبات النبات وترجع أهميته الي انه يضيف ويزيد من صلابة التراكيب التي يكونها ، الا انه في بعض النباتات قد يغلب ترسيب السيليلوز النقي في طبقات الجدار الثانوي مثل الياف القطن. وبعض جدر الخلايا النباتية قد تغطي

بالكيوتين او تنتشبع بالسوبرين او الشموع وذلك للحماية من فقد الماء. تخترق الجدر أثناء تكونها بالخيوط البلازمية Plasmodesmata التي تعمل كطرق موصلة في غاية الأهمية للماء وللمواد الأخرى عبر الخلايا. وتشكل النقر في الجدر ،والخيوط البلازمية قد توجد متجمعة في حزة من الجدار يعرف بحقول النقر الأولية وهي مساحات رقيقة في جدر الخلايا . والنقر التي تقابل بعضها البعض في الجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة تعرف بالنقر الزوجية .وفي الخلايا التي لها جدر ثانوية فان النقر تكون بسيطة .

المحاضرة الثانية

٢ - الأغشية Membranes :

ان معظم الأنشطة الخلوية تعتمد على تنظيم مختلف المكونات الكيماوية داخل الأغشية المرتبطة او أغشية العضيات الخلوية والشبكة الاندوبلازمية . أول من اقترح نموذج للأغشية هو Danielle سنة ١٩٤٣ وهو نموذج يفسر كثير من وظائف الغشاء الخلوي وفي هذا النموذج يقترح دانييل وجود طبقتين من الدهون ويحيط بهما من الخارج والداخل طبقتين من البروتين وتسمح الليبيدات الموجودة بالغشاء بمرور المواد اللاقطبية . لا تحمل شحنة على سطحها كما ان وجود طبقتي البروتين تسمح بمرور المواد القطبية او التي تحمل شحنة على سطحها . وهناك نموذج اكثر قبولا الآن للغشاء وهو المبرقش السائل ويحتوي الغشاء على طبقتين من الفوسفوليبيدات بذيولها الهيدروكربونية الكارهة للماء والمتجهة للداخل . والبروتينات الكروية والتي تنتشر داخل الفوسفوليبيدات والتي تشبه كرات مختلفة الأوزان داخل سائل لزج.



شكل (7)

بعض النماذج في تفسير بنية الأغشية البلاسمية

- A - حالتان لنموذج الأغشية الأساسية .
- B - نموذج الطبقة المضاعفة التي تتخللها سلاسل البيبتيدات المتعددة .
- C - نموذج الطبقة المضاعفة التي تجتازها سلاسل البيبتيدات المتعددة في مناطق محددة .
- D - النموذج الكروي ، حيث تحيط سلاسل البيبتيدات المتعددة بالبيبتيدية .

والمركبات البروتينية يمكن أن تكون تركيبية او أنزيمات وتختلف جوهريا من عضو لآخر او من غشاء لآخر او بين وجهي نفس الغشاء . وهذا النموذج أوضح وجود مكونات غشائية أخرى مثل مشتقات الكربوهيدرات والبروتينات و ان الأغشية تحتوي على أنزيمات وحوامل ومضخات بروتون ومركبات ذات طاقة عالية تسهل إخراج وتحرك العناصر والكيماويات لداخل وخارج الخلية . ومما لا شك فيه أن كمية الدهون والبروتين والمكونات الأخرى للأغشية ومن المحتمل ان تتغير من لحظة لأخرى بالتغير النسبي للمجاميع المحبة والكارهة للماء . لذلك فالأغشية اي انها تنظم خاصية مرور المواد المختلفة وفق النفاذية الاختيارية للغشاء .

ويعرف **النقل السلبي** للأغشية بأنه مرور المواد عبر الأغشية دون حاجة الي الطاقة الناتجة من عمليات التحول الغذائي للخلايا . واهم مظاهره الانتشار Diffusion لتدفق الكتلي Mass Flow و Ion Exchange والتبادل الايوني .

أما **النقل النشط او الفعال (Transport Active)** وهو التحرك للمواد عكس منحدر التركيز عبر الأغشية،و يحتاج لطاقة حيوية . ووجود مستقبلات او حوامل يؤدي الى تجمع المواد في الخلية او تهرب الي البيئة الخارجية.

الغشاء البلازمي الداخلي Plasma lemma :

رغم ان الجدار الخلوي يبدو انه يفصل الخلية عن الوسط الخارجي إلا ان العديد من المواد تنتقل خلاله عن طريق المسام والبلازموديزمات او عن طريق الفعل التشرابي للماء . ويتأخم هذا الجدار الخلوي غشاء رقيق مرن يعرف بالغشاء السيتوبلازمي او الغشاء البلازمي الخارجي وهو يغلف السيتوبلازم ويضم المكونات الخلوية وينظم عبور المواد من وإلى الخلية . ونظرا لتشابه الغشاء السيتوبلازمي والسيتوبلازم يصعب التميز بينهما بالميكروسكوب الضوئي ولكن باستعمال صبغات معينة وباستعمال الميكروسكوب الالكتروني يمكن رؤية الغشاء السيتوبلازمي.

التركيب الكيميائي للسيتوبلازم

يدخل في تركيبها العديد من المركبات الكيميائية المتجانسة وغير المتجانسة وتشكل نظاماً معقداً باستمرار تفاعلها الخلوي وتحتوي نسبة كبيرة من الماء ومركبات السيتوبلاسم تتأثر فيما بينها وبين الوسط الخارجي فهي تمتص من الوسط مواد محددة وتطرح مركبات أخرى و تتكون من ٧٥-٨٥% ماء ومن ١٠-٢٠% بروتينات و ٢-٣ لبيدات و ١% مواد لاعضوية

وتعد البروتينات الأساس الهام للسيتوبلاسم وخاصة البروتينات المعقدة كالبروتينات النووية - البروتينات الليبديّة، البروتينات السكرية وتصل نسبة البروتينات إلى ٦٥-٧٠% من الوزن الجاف

الحالة الفيزيائية للسيتوبلازم : هي معقد ليونوكليد بروتيني وهي معقد غروي

١- المذيب أو وسط الانتشار أو الطور المستمر Continuous Phas

٢- المواد المجزأة أو الطور المنتشر Dispersed Phas :

أ- مشتقات كبيرة الحجم وهي مواد أكبر من (٠.١ من الميكررون) وهي إما معلقات

Suspense's والمواد المنتشرة صلبة أو سائلة

ب- الجمل الفردية تكون المواد المبعثرة (٠.١-٠.٠٠٢ MKM)

ت- المحاليل الحقيقية أقل من (٠.٠٠٢) ويمكن أن تشكل الجمل الفردية شوارد وجزيئات

إما أن تكون هلاله (SOL) أو هلامه (GEL)

والسيتوبلاسم هي حلات مائية (Hydrosols) والمنتاثرات الغروية تملك (جمل موجبة أو سالبة) لذلك تتصادم فيما بينها ويكسبها نوع من الثبات ويعيق تخثرها فأى تعديل كيميائي أو فيزيائي يؤدي لتخثرها أو حالة وتكون بشكل هلامية في الخلية النباتية النشطة لذلك تتحمل درجات حرارة عالية كالذور وتتحمل درجات الحرارة المنفضة (- ٢٠ م)

صفات السيتوبلاسم : حدد العالم (B.Korty 1772) بعض الصفات وهي:

- أ- حركة دائمة وأهم شروط الحركة الأوكسجين والحرارة إما باتجاه أو عكس عقارب الساعة وهي دورانية كما في نبات الابلوديا وحيث وجود الفجوة الواحدة حركة شبكية: عدة فجوات تؤدي لحركة عشوائية شبكية
- ب- النفاذية الاصطفائية للماء بشكل كامل إما للمواد الصلبة هنا تلعب الاغشية دور هاماً في النفاذية وفق قوانين الحلول والانتثار والنقل الفعال .

٣- الشبكة الاندوبلازمية (ER) Endoplasmic Reticulum

يتشابه سيتوبلازم الخلية بنظام غشائي مرتبط متقن يعرف بالشبكة الاندوبلازمية وتظهر الحويصلات وعندما تلتصق الريبوزومات بالشبكة Cisternae كفجوات محاطة ممتلئة وتسمى السسترنات الاندوبلازمية فإنها تكون جزءا من الشبكة يعرف بالشبكة الخشنة Rough Endoplasmic وفي هذه المصاحبة فان الريبوزومات تشترك في تمثيل البيبتيدات العديدة اي تمثيل البروتينات ، وعندما لا تصاحب الريبوزومات الشبكة الاندوبلازمية تسمى بالشبكة الاندوبلازمية الملساء وهي تلعب دورا أساسيا في تمثيل وتجميع الجليكوليبيدات) وهي المركبات التي تتكون من كحولات واحماض دهنية وكربوهيدرات وطبقا لملاحظات عديد من العلماء فان تجويف الشبكة الاندوبلازمية يتصل بالغلاف النووي وتمتد لتصل لسطح الخلية وقد وجد ان هناك أغشية من هذا النظام موجودة في الجدر الابتدائية لبعض الخلايا بل وتمتد الى الخلايا المتجاورة . كما ذكر بعض العلماء ان اتصال الغشاء النووي مع الشبكة الاندوبلازمية يزيد من سطوح الاتصال بين المكونات النووية وسيتوبلازم الخلية . وعندما تمتد الشبكة الاندوبلازمية الى الخلايا المتجاورة فهذا يعني اتصالا مباشرا بين انوية الخلايا المتجاورة وهذا قد يفسر انتظام عمل النسيج الواحد في الكائن الحي واذا تصورنا الشبكة الاندوبلازمية وتفرعها داخل السيتوبلازم فهذا يعني تقسيم سيتوبلازم الخلية الى حجرات عديدة وصغيرة . وداخل هذه الحجرات (Dictyosomes) : تتراكم أنزيمات معينة و مركبات عديدة و هذا التقسيم يؤدي الى حدوث تفاعلات عديدة داخل سيتوبلازما الخلية بدون تعارض بين هذه المركبات.

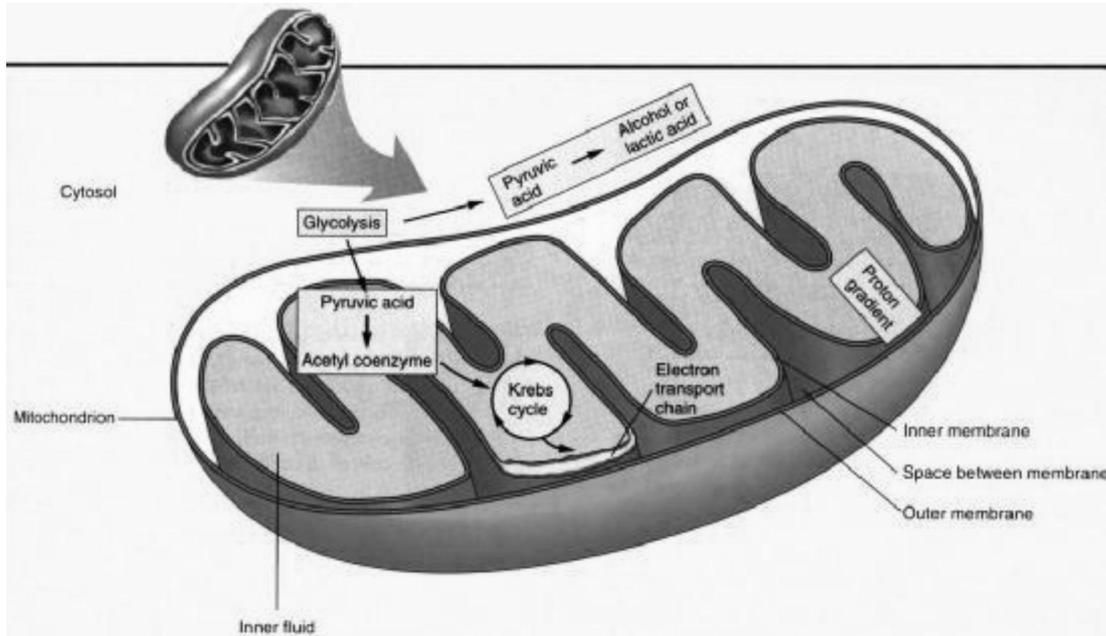
٤- جهاز غولجي Golgi Apparatus

تبدو جهاز غولجي في الميكروسكوب الالكتروني إنه عبارة عن كومة مكدسة من ٥- ١٥ من

الأغشية المرتبطة والمفلطحة والمنبسطة وعديد من الحويصلات الكروية الصغيرة تظهر كمجموعة حول هذه الأغشية ويطلق علي هذه الأوعية والحويصلات أجهزة جولجي. وتتشابه أغشية اجسام جولجي مع أغشية الشبكة الاندوبلازمية . . وتحوي الحويصلات على فقاعات اللازمة لبناء الجدار الخلوي تحوي عديدات التسكر وبروتينات ومركبات اخري (وهذه المركبات تتراكم داخل الحويصلات) ثم تنتقل عند إتمام الانقسام الميتوزي الي الصفيحة الوسطي او سطح الخلية وترسب مواد الجدار الخلوي على السطح البيني . وبناء على ذلك تلعب اجسام جولجي والشبكة الاندوبلازمية دورا هاما في تكوين الجدارالخلوي.

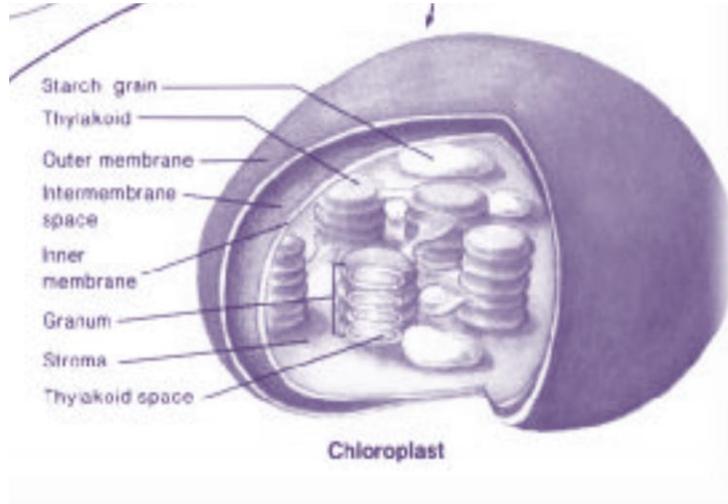
٥- الميتوكوندريا Mitochondria :

أجسام لها عديد من الأشكال والصور محاطة بوحدين Mitochondrion الميتوكوندريا مفردا وأنزيمات دورة كريس ومركبات عديدة من نواتج RNA غشائيتين يضمن بداخلهما الحشوة و ال التفاعلات الأنزيمية والسيتوكرومات مما يبين ان وظيفتها هي القيام بعملية التنفس . فهي تختص بإنتاج الطاقة المستخدمة في الخلية ولذلك يلاحظ كثافة الميتوكوندريا في الخلايا النشطة مثل الخلايا الميرستيمية حيث تسود بها الميتوكوندريا . ويعني ان الميتوكوندريا تمد الخلايا بالطاقة عندما تتحلل الدهون والكربوهيدرات في السيتوبلازم ينتج عن أكسدة هذه المواد ثاني أكسيد الكربون وماء وطاقة وهي التي تخزن في الميتوكوندريا في صورة روابط فوسفاتية غنية بالطاقة مثل ال ATP فان لها القدرة علي الانقسام نظرا لاحتواء الميتوكوندريا علي DNA .



٦- البلاستيدات Plastids وهي عدة انواع:

* **البلاستيدات الخضراء Chloroplasts** : وهي بلاستيدات تحوي صبغات الكلوروفيلات تظهر بلون اخضر لتغلب لون الكلوروفيل ولزيادة تركيزه وتقوم بالتمثيل الضوئي وهي عضيات مميزة للنبات وهي مستديرة او بيضيه او قرصية الشكل قطرها حوالي 4-6 ميكرون .
وتحاط بغشاء مزدوج وبداخلها حشوة تحاط البلاستيدات بغشاء مزدوج يسمى الغلاف البلاستيدي وتحوي البلاستيدات على بنيات خاصة تدعى الاستروما Stroma مع تراكيب أخرى في الحشوة و تسمى الغرانات هي حوالي 50 من الأكياس المفلطحة وهي التي تحوي الكلور وفيلات والبلاستيدات ولها شكل أقراص . تتكاثر مستقلة عن انقسام الخلية لوجود RNA و DNA .



* **البلاستيدات عديمة اللون Leucoplastids** : لا تحتوى على الكلوروفيل
* **البلاستيدات الملونة Chromoplasts** : تحوي الأصبغة الحمراء والصفراء

٧- الريبوزومات Ribosomes :

توجد الريبوزومات في الخلية اما بمصاحبة الشبكة الاندوبلازمية او حرة في السيتوبلازم او في الميتوكوندريا او البلاستيدات وتحتوي علي 50- 60% - البروتين ويتراوح قطرها بين 1.3-3 ميكرون وبشكل RNA 50% من بروتين يوجد (r- RNA) الريبوزومي RNA الرسول المشتركان في بناء الريبوزوم الريبوزومات عادة تكون في مجاميع عنقودية او في شكل سبجي بشكل عديدات الريبوزومات.

٨- الفجوات Vacuoles :

هي عبارة عن مساحة محاطة بغشاء مملوءة بسائل مائي او عصير خلوي Cell sap الفجوات العصارية مبعثرة في السيتوبلازم في الخلايا الحديثة الميرستيمية حيث تمتلئ الخلية بالسيتوبلازم الكثيف وعند نضج الخلية تتجمع هذه الفجوات مع بعضها لتكون فجوة واحدة كبيرة في وسط الخلية وتكون محاطة بغشاء Tonoplast هو جزء من الغشاء البلازمي الداخلي اختياري النفاذية وتدفع

الفجوة عند تجمعها عدد من الفجوات الصغيرة السيتوبلازم ليلصق الجدار كطبقة رقيقة ومن وظائف الفجوة المحافظة علي استمرارية ضغط الامتلاء للخلية Turger pressure وهو هام جدا للتركيب الدعامي وللتحكم في حركة الماء. كما أن من مهام الفجوة تخزين المواد الأساسية اللازمة للنشاط التمثيلي للخلية وتخزين منتجات التمثيل الثانوية والمركبات الدفاعية للخلية والسامة وهكذا يحتوي العصير علي مواد كالكسكريات والأحماض العضوية والأملاح المعدنية والغازات والصبغات والقلويدات والدهون والتانينات وأحيانا البللورات وعادة يكون ال pH للعصير الخلوي حامضيا حسب مكوناته . من الناحية السيتولوجية والكيموحيوية . والغشاء المحيط بالفجوة يلعب دورا هاما في النشاط الكيميائي للخلية مثل تراكم أيونات الهيدروجين وتخزين المواد السامة والسماح بعبور بعض المواد في اتجاه واحد من الخلية للفجوة . ووجود الصبغات بالفجوة مثل الانثوسيانين هو الذي يلون عديد من الأزهار والثمار والأوراق . و تغيره في اللون حسب (ph) العصارة.

٩- الأجسام الدقيقة Micro bodies :

، تلك الجسيمات يطلق عليها الأجسام الدقيقة وقطرها ٢-١ انجستروم يحيط بها غشاء فردي وهي لا تشابه البلاستيدات او الميتوكوندريا حيث لا يشاهد بها اي تراكيب غشائية الا انها تحتوي علي بروتينات داخلية كثيفة جدا وهي الجليوكسيسومات والبيروكسيسومات وتوجد الجليوكسيسومات في انسجة البذور الزيتية حيث يتحول الدهن الي كبروهيدرات وتلك العملية يصاحبها أنزيمات دورة الجليوكسيلات وتوجد كلها في الجليوكسيسومات . اما البيروكسيسومات فهي تشابه مظهرها الجليوكسيسومات وتحتوي على عدد من نفس أنزيماتها ولها دور في تمثيل الجليكولات المنتجة بواسطة البلاستيدات الخضراء وتبين الملاحظات ان البيروكسيسومات تصاحب عملية التمثيل الضوئي في بعض النباتات . والاسفيروزومات اي الأجسام الكروية ما هي الا أجسام صغيرة وأنزيمات تحليل مائي أخرى مثل Hydrolases وجسيمات تحتوي على أنزيمات مثل أنزيمات تحليل الأحماض.

المحاضرة الثالثة

الانتشار والحلول والتشرب

Diffusion , Osmosis ,and Imbibition

إن علاقة الخلية بالوسط المحيط يتحكم بها قوانين انتشار الغازات والماء والمغذيات وهذه القوانين ليست فقط محصورة بين الخلية والوسط الخارجي بل بين الخلايا فيما بينها وانتقال هذه المواد والماء والغازات تتحكم به ديناميكية تحولات الطاقة والقوانين الفيزيائية والكيميائية لهذه المواد وسندرس أهم هذه القوانين:

أولاً- الانتشار Diffusion:

هو حركة المواد من منطقة تركيز مرتفع إلى منطقة تركيز منخفض وهذا القانون يتحكم بانتقال الجزيئات والأيونات والذرات بفعل الطاقة الذاتية الحركية لها فحركة انتقال الغازات وفقاً لهذا القانون مرتبط بمجموعة عوامل كالضغط والحرارة وتركيبه الجزيئي وكثافته النوعية وانتشار الغاز من منطقة تركيز عليا إلى أقل تركيزاً يأخذ منحى من الضغط العالي باتجاه الضغط المنخفض به حتى يتم الاتزان .

العوامل المؤثرة على انتشار الغازات :

١- الحرارة : يزداد انتشار الغازات بزيادة درجة الحرارة حيث تعمل الحرارة على زيادة الطاقة الحركية الداخلية لجزيئات الغاز .

٢- كثافة الجزيئات المنتشرة : إن معدل انتشار الغازات تحت ظروف ثابتة يختلف من غاز لآخر تبعاً لنوع الغاز وكثافته وقد لخص ذلك قانون غراهام لانتشار الغازات والذي ينص : " أن معدل انتشار الغازات يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لكثافة الغاز " مثال كثافة (H هي ١) في حين كثافة (O هي ١٦) بمعنى أن معدل انتشار الهيدروجين أسرع بأربع مرات من الأوكسجين

٣- قابلية الذوبان في وسط الانتشار : كلما زادت سرعة ذوبان الغاز في وسط الانتشار زاد معدل انتشارها و ومن الجدير بالذكر أن قابلية الذوبان للغازات تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة

فالأوكسجين عند الدرجة (م . ٠) للماء يذوب بمعدل ٠,٥ لتر من الأوكسجين في ١ لتر ماء تقل إلى ٠,٤ عند الدرجة ١٠ م و ٠,٣ عند درجة ٢٠ م . ولوحظ أن كمية الغازات الذائبة في السوائل تتناسب طردياً مع زيادة الضغط الجوي المطبق عليها .

الماء وخواصه : يدخل الماء في تركيب الخلايا والاعضاء الحيوية بنسبة تصل لأكثر من ٩٠% ويمتلك الماء خواص فريدة من نوعها تفسر دوره الحيوي .

أ- **التركيب الجزيئي والرابطة الهيدروجينية:** يتكون الماء من ذرتي هيدروجين ترتبطان برابطة تشاركية مع ذرة أوكسجين وبزاوية غير حادة مما يفسر إمكانية امتصاص كمية كبيرة من الحرارة دون أن تتحلل هذه الرابطة والماء جزيء قطبي فله سطح مشحون بقطبين حيث يمثل الهيدروجين قطب موجب والأوكسجين قطبه السالب الذي يجذب الإلكترونات ونتيجة لهذا التوزيع فإن جزيئات الماء ترتبط مع بعضها وتبلل المركبات الأخرى وتلتصق بالمواد الأخرى أيضاً ولهذه الخاصية أهمية خاصة في حركة الماء وذوبان وانتقال العناصر الغذائية فيه . إن انجذاب ذرة الهيدروجين الموجبة لجزيء ماء مع ذرة أوكسجين ذات شحنة سالبة لجزيء ماء آخر ينتج عنه رابطة هيدروجينية تعتبر أقوى لتجميع الجزيئات مما تتيح تماسك كتلة جزيئات الماء مع بعضها بقوى تسمى قوة الشد التماسك الجزيئي .

خواص الماء المهمة للنبات : إن الروابط الهيدروجينية للماء وخواصه القطبية تتيح للماء تكوين خاصة شبكية شعرية ، وهي المسؤولة بنفس الوقت عن ارتفاع حرارة الانصهار وارتفاع حرارة البخر اللازمة لتفكيك هذه الروابط ، لإضافة إلى الحرارة النوعية للماء مقارنة بجزيئات من البنزين أو الإيثانول وهذه الرابطة تفسر قدرة الماء على الالتصاق بالسطوح مثل الزجاج والسللوز وحببيات الطين ، وتفسر الروابط الهيدروجينية انخفاض كثافة الماء عند تحوله للجليد ودوره الأساسي هنا هو المحافظة على الكائنات الحية التي تعيش في البحيرات المتجمدة ولعل خاصية الماء الأساسية كمنظف عام يفسر الأهمية الحيوية للخلية الحية و تشكيله مع مركبات عديدة محاليل مائية مثل ذوبان السكريات والأحماض الأمينية إضافة لذلك فإن الماء وبروابطه الهيدروجينية قادر على تأين الأملاح الذائبة فيه وبالتالي فإن الذائب تخضع لقانون الانتشار والتشرب إضافة إلى الخواص الأسموزية للماء .

ب- انتشار الماء ، الأسموزية والتشرب **Osmosis, and Imbibition**

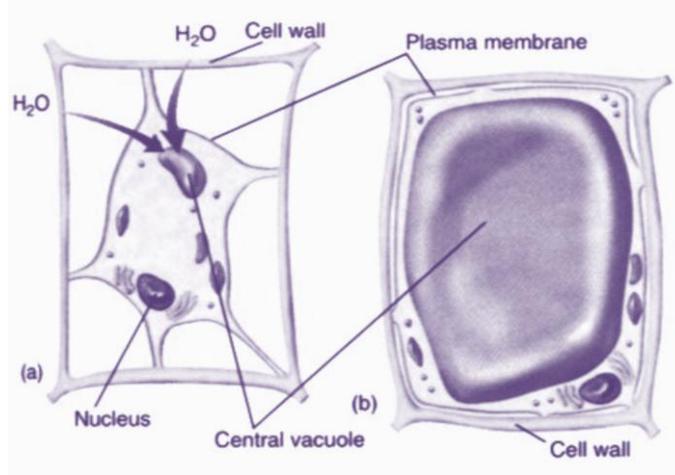
تعتبر الأسموزية صفات خاصة بالماء حيث تعرف بأنها " تحرك الماء خلال غشاء نصف نفوذى الأقل تركيزاً إلى الوسط الأعلى تركيزاً .

أما التشرب فهو نوع من الانتشار ويظهر عند دخول الماء من الوسط الى الأجزاء الجافة كالبدور والأخشاب الجافة حيث تمتص كمية كبيرة من الماء ويتولد داخلها ضغط كبير قد يصل لـ ١٠٠٠ بار تؤدي إلى تشقق غلاف البذور القاسية وتفتت الصخور التي تخترقها الجذور .

العوامل المؤثرة على التشرب :

يتأثر معدل التشرب بالحرارة والجهد الأسموزي للمادة المتشربة فزيادة الحرارة تزيد من معدل التشرب وهذا ما يفسر نفع البذور الجافة في ماء ساخن، ونفاوة الماء تزيد معدل التشرب لأن الماء النقي يقل أقل ضغط اسموزي من الماء الحاوي على أملاح ومواد أخرى.

الضغط الأسموزي: هو الضغط للمحلول اللازم لوقف انتشار الماء النقي الى المحلول اوالى داخل الخلايا نتيجة وجود العناصر المنحلة في الفجوات الخلية ووجود الأغشية السيتوبلاسمية حول الفجوات ويكون الضغط سلبيا اي جاذب للماء من الوسط المحيط حتى يتم التوازن بين الخلية والوسط الخارجي. وتملك الخلية النباتية بفضل جدارها الخلوي وغشائها السيتوبلاسمي صفات خاصة ومميزة تجعلها تتحمل مدى واسع من التراكيز الأسموزية بعكس الخلية الحيوانية فحين وضع الخلية النباتية في ماء نقي فإن الخلية النباتية لا تنفجر بل تنتفخ وذلك بسبب الجهد الأسموزي الخلوي للمحلول الفجوي إذ يتحرك الماء نحو الخلية و يسبب دفع الغشاء السيتوبلاسمي باتجاه الجدار الخلوي ويسمى هذا الضغط بضغط الامتلاء ويصبح الجار الخلوي قاسياً ويظهر ضغطاً مساوياً لضغط الامتلاء ولكنه معاكس ونسميه بضغط الجدار ونتيجة لهذا التبادل فإن الخلية النباتية تكون ممتلئة " منتبجة" وفي حال نقص الماء يظهر عليها أعراض الذبول نتيجة لنقص ضغط الجدار والشكل يوضح ذلك :



البلمزة Plasmolysis

عندما تكون الخلية النباتية في محلول له ضغط أسموزي لما هو في العصير الخلوي فإن شكل ومظهر الخلية لا يتغير لكن إذا كان العصير الخلوي اقل تركيزاً والمحيط أكثر تركيزاً (أكثر سلبية) فإننا نلاحظ تغيرات في الخلية إذ ينكمش الغشاء البلازمي بعيداً عن الجدار ويخرج العصير الخلوي إلى الوسط المحيط وتسمى هذه الحالة " انكماش الغشاء البلازمي " البلمزة وهنا نميز ثلاث حالات منها:

* **بلمزة مؤقتة** : وتحصل نتيجة لشدة النتح وقلة الماء الممتص تعود الخلية لوضعها الطبيعي عند زوال السبب " نقص الماء "

* **بلمزة دائمة** : وتحصل هذه الحالة في حال الفقد الشديد للمحتوى الخلوي المائي وتخثر العضيات الخلوية عند هذه الحالة لا تعود الخلية لوضعها الطبيعي بزوال السبب .

امتصاص وانتقال الماء في النبات

يمتص النبات كميات كبيرة من الماء في التربة عبر مجموعته الجذري ويفقد الكمية الكبرى منه عبر عملية النتح ولا يستخدم النبات في عملياته الفيزيولوجية المختلفة سوى كمية قليلة منه والسؤال المطروح كيف تم آلية انتقال الماء من التربة إلى أشجار شاهقة الارتفاع ؟ ولعل تدرج الجهد المائي للخلايا النباتية والصفات الخاصة بالماء المرتبطة بمجموعة عوامل متعلقة بالجو والتربة تفسر آلية حركة الماء .

عوامل التربة المؤثرة على امتصاص الماء

أولاً - الحرارة : تعتبر حرارة التربة ذات أثر كبير على معدل امتصاص الماء فعند درجة

الحرارة المنخفضة للتربة ترتفع لزوجة الماء الممتص وتزداد صعوبة امتصاصه وتقل من حركته عبر الجذور عدا عن ذلك فإن نمو الجذور يتوقف وقد لوحظ أن تغطية سطح التربة المحيطة بجذور بعض النباتات النشطة بالجليد تظهر علائم الذبول على النبات .

ثانياً - الجهد الأسموزي لمحلول التربة: إن امتصاص الماء يتعلق بشكل كبير بتدرج الجهد المائي بين محلول التربة والعصير الخلوي لخلايا الجذر ويعتبر الجهد المائي لمحلول التربة أقل سالبية من العصير الخلوي لكن عند تركيز الأملاح في التربة يصبح أكثر سالبية وبالتالي يخرج الماء من داخل النبات إلى الوسط وتعتبر النباتات الملحية متميزة أكثر من غيرها بارتفاع الضغط الأسموزي لعصيرها الخلوي وبالتالي لها قدرة على امتصاص الماء من الأراضي المالحة.

ثالثاً - التهوية : عند زيادة إشباع التربة بالماء فوق معدل السعة الحقلية لهذه التربة أو تلك فإن ظروف التهوية تصبح سيئة ويؤدي ذلك لإعاقة امتصاص النبات للماء لأن الجذور تحتاج إلى الأوكسجين اللازم لقيامها بالعمليات الحيوية .

رابعاً - تركيز CO₂: إن تراكم CO₂ في التربة يعتبر من العوامل المؤثرة جداً على امتصاص الماء حيث يسبب زيادة في لزوجة البروتوبلازم ونقص في نفاذية الجذر للماء مما يقلل من عملية الامتصاص ويعتبر أيضاً ذو تأثير سام لذلك ينصح بالتهوية .

خامساً :- طبيعة الماء الموجود في التربة: يتواجد الماء بعدة أشكال في التربة وبنسب مختلفة

أ- الماء الحر : هو الذي يجذب تحت تأثير الجاذبية الأرضية

ب- السعة الحقلية: نسبة الماء الذي تحتفظ به حبيبات التربة مقاومة للجاذبية وتختلف هذه النسبة باختلاف طبيعة التربة فهي عالية في الترب الطينية ومنخفضة في الترب الرملية .

ج- معامل الذبول الدائم : وهو نسبة من الماء تظهر أعراض الذبول عند انخفاض نسبة الماء لمستواها

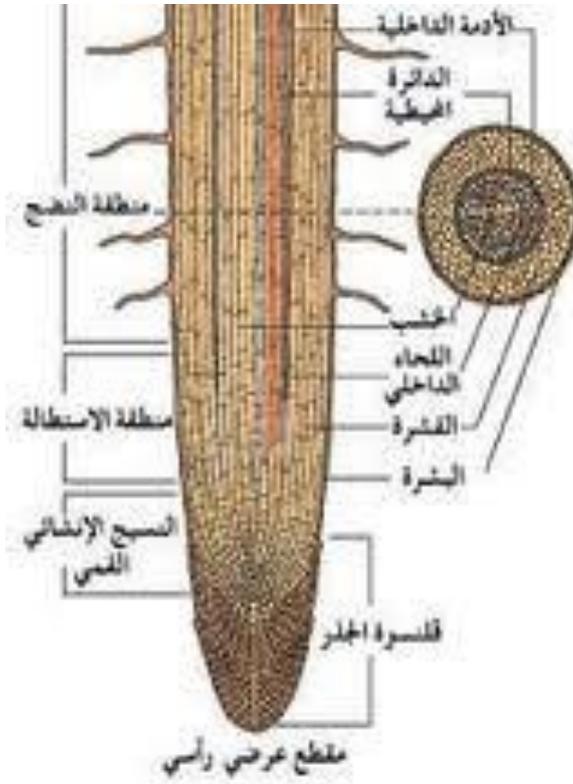
د- الماء الهيكروسكوبي : وهو ماء مرتبط بحبيبات التربة لا يستفيد منه النبات .

والماء المتاح للنبات من كل هذه الأنواع هو الماء المحصور ما بين السعة الحقلية ونقطة الذبول

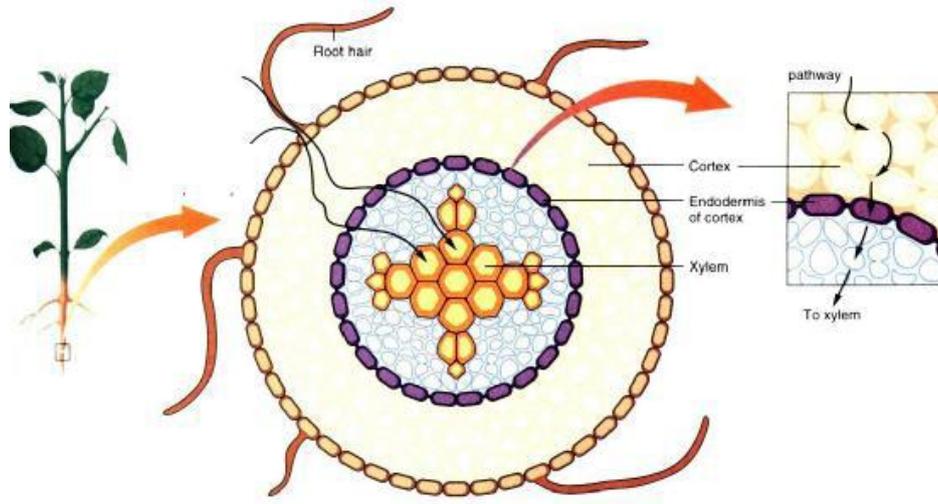
آلية امتصاص وانتقال الماء في النبات

تعتبر الجذور الحديثة وخاصة منطقة الشعيرات الجذرية هي المسؤولة بالدرجة الأولى عن امتصاص الماء حيث ينتقل الماء للشعيرات الجذرية نتيجة لفوارق الضغط المائي والجهد المائي لهذه الخلايا هو أكثر سالبية من محلول التربة وبالتالي فالماء يستمر في الدخول للخلايا

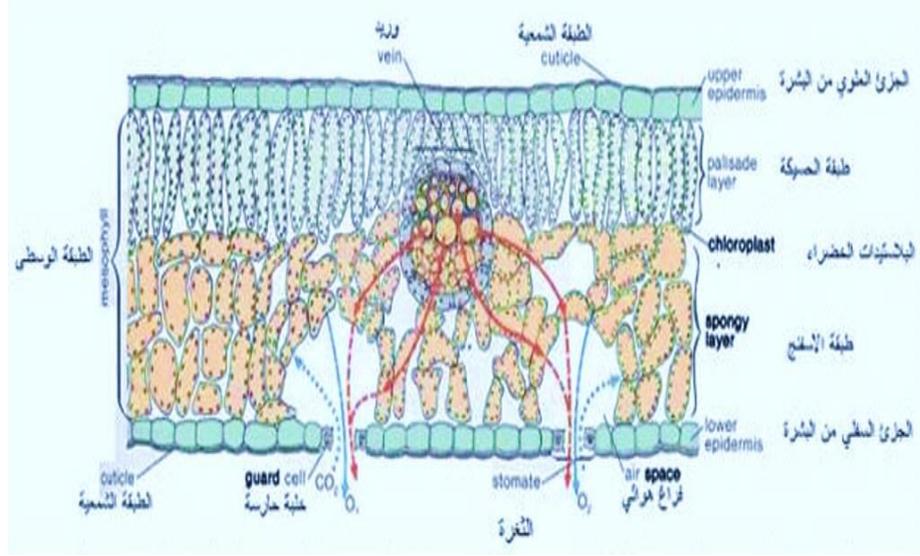
(شعيرات الجذر) ويحدث انتقال تدريجي إلى خلايا القشرة ثم البشرة الداخلية فالمحيط الدائر عبر شريط كاسبار ثم إلى خلايا الخشب وينتقل بعدها من الجذر إلى الساق عبر خلايا الخشب. وكما هو معروف نسيج الخشب مكون من القصبات والأوعية ذو بنية متخشبة ليس لهما بروتوبلازم . أطرافها متقوية هذه العناصر متلاصقة مع بعضها البعض بالنهايات تحوي نقر جانبية تساعد في تركيبها الشعري على حركة الماء عبرها أفقياً وجانبياً بين عناصر الخشب تكون مدعمة هذه الأوعية الخشبية بألياف الخشب ومحاطة ببرانشيم الخشب الحي الجزء الأكبر من الماء المنتقل تنقله الأوعية والقصبيات ليصل عبر الساق إلى الأوراق .



آلية انتقال الماء عبر الجذر (مقطع عرضي)



طريقة انتقال الماء في الورقة: ينتشعب الخشب عدة مرات عبر الساق والأفرع ليكون شبكة معقدة من الأنسجة الموصلة في العروق الدقيقة للورقة وهي (الحزمة الوعائية) وخلايا الحزمة الوعائية تختلف بين أحادي وثنائي الفلقة لكنها تؤدي الغرض نفسه ففي ثنائيات الفلقة كما في الشكل تتألف الورقة من : بشرتين عليا وسفلى تتركز في السفلى الثغور التنفسية تحصران بينهما نسيج وسطي يسمى " الميزوفيل" المكون من خلايا برانشيمية عمادية وبرانشمية اسفنجية يتميز الميزوفيل باحتوائه على مسافات بينية كبيرة مما يتيح أسطح تبخر واسعة للماء الذي ينتقل للحجرة تحت الثغرية ثم عبر الثغور إلى المحيط وجميع آليات انتقال الماء تخضع لظروف الضغط السالب للجهد الخلوي ويحصل هذا الفرق بالضغط نتيجة النتج فالنتج هو مضخة السحب وجذب الماء من التربة إلى الشعيرات إلى الورقة وذلك يعود لقوة الشد التماسكي الجزيئي بين ذرات الماء .



إذن يحصل امتصاص الماء وما يحويه من أملاح معدنية كنتيجة للنتح عبر المجموع الخضري . وتسمى هذه الآلية للانتقال " الآلية الفيزيائية أو غير الحية خاصة وأنها تخضع إلى قوانين الأسموزية والانتشار (انتقال الذوائب) نتيجة لقوى الضغط وفرق التركيز ، لكن هل هناك آليات انتقال للماء أخرى حية أو نشطة ؟؟؟ وجد العلماء أن هناك آليات أخرى لانتقال وصعود الماء في النبات تحت تأثير الضغط الجذري الذي يعتبر الإدماغ مظهر من مظاهره الأساسية ويلاحظ على بعض النباتات خروج نقاط من الماء من أطراف الورقة نتيجة انعدام النتح وامتصاص الجذر لكمية من الماء أكبر من النتح لذلك تخرج هذه القطرات عبر الثغور المائية وهذا الضغط ينشأ في أوعية الخشب ولا تقوم الثغور بطرح الماء إنما قنبيات دمعية " غدد مائية" في الورقة . يتميز الماء المطروح بهذه الطريقة باحتوائه على الأملاح وبعض الهرمونات النباتية بينما يكون النتح خال من هذه العناصر .

المحاضرة الرابعة

أنواع النتح:

- أ- **النتح الثغري**: يخرج الماء بصورة بخار عبر ثقب الثغور إلى الجو المحيط بالأوراق
- ب- **النتح العديسي**: حيث يفقد الماء بصورة بخار من أسطح الأوراق والسوق العشبية عبر العديسات وهي الفتحات في الأنسجة الفلينية التي تغطي أسطح الأوراق.
- ج- **النتح الأديمي**: ويخرج بخار الماء خلال طبقة الكيوتين وهي الطبقة الشمعية التي تغطي أسطح الأوراق ويختلف هذا النتح باختلاف الأنواع النباتية وسماكة الكيوتين. كلا النتحين العديسي والاديمي كميتهما قليلة مقارنة بالنتح الثغري .

تقدير النتح : توجد عدة طرق لتقدير " قياس النتح" وجميعها تعتمد إما على حساب وزن الماء الممتص أو وزن بخار الماء المنتوح على اعتبار أن معدل الامتصاص والنتح متساويان في معظم الظروف.

١- **الطريقة الوزنية**: هذه الطريقة تعتبر من أبسط طرق تقدير النتح حيث بوزن نبات مزروع بأصيص عند بدايو نهاية فترة زمنية محددة مع الأخذ بعين الاعتبار تغطية سطح تربة الأصيص بمادة مانعة للبخار ثم حساب كمية الوزن المفقود خلال هذه المدة الزمنية لكن هذه الطريقة تقتصر على النباتات الصغيرة ، ويمكن استخدام هذه الطريقة في الحقل لجزء نباتي مقطوع مثل الثمار والأوراق حيث يوزن هذا الجزء بعد فصله عن النباتات الأم مباشرة ويوزن مرة ثانية بعد فترة زمنية ويحسب مقدار الفقد .

٢- **طريقة البوتومتر**: هذه الطريقة تعتمد على مبدأ أن معدل الامتصاص = معدل النتح حيث يؤخذ جزء من فرع نبات ويوصل بالوعاء الزجاجي للبوتومتر . يراعى عند ملأ الجهاز بالماء عدم وجود فقاعات غازية . وبهذه الطريقة يمكن حساب معدل النتح بكمية الماء المفقود من خلال حساب النقص في الماء الحاصل في البوتومتر .

٣- **طريقة جمع الماء**: يوضع النبات في وعاء زجاجي مغلق ثم يمرر تيار هوائي معروف الرطوبة ويسحب هذا التيار عبر أنبوبة تحوي مادة ممتصة للبخار مثل كلوريد الكالسيوم والفرق في الوزن لكلوريد الكالسيوم قبل وبعد مرور التيار الهوائي في الحجرة الحاوية على النبات يكون هو مقدار النتح .

٤- **طريقة كلوريد الكوبالت:** طريقة تبين ظاهرة النتح حيث يتحول هذا المركب من اللون الأزرق عندما يكون جاف إلى اللون الأحمر نتيجة امتصاصه الرطوبة المنتوحة من الورقة. **آلية فتح وإغلاق الثغور التنفسية:** تملك الثغور التنفسية بنيات خاصة تمكنها من القيام بوظيفتها الحيوية المناطة بها فالثغر التنفسي هو بنية ميكروسكوبية تتركز في الأوراق وعلى السطح السفلي للأوراق اذ يتكون الثغر من خليتين ثغريتين تحيطان بفتحة الثغر تسميان الخليتين الحارسة والخلية الحارسة تحتوي على الصانعات الخضراء بكمية كبيرة مقارنة بخلايا البشرة المجاورة المعدومة الصانعات ويكون الجدار من ناحية فتحة الثغراسمك من الناحية الأخرى مما يؤدي الى فتح الثغر عند انتاج الخلايا الحارسة . وفتح واغلاق الثغر مرتبط بزيادة ونقص الجهود الأسموزية للخلايا الثغرية (الخلايا الحارسة) والخلايا المجاورة لها فعند نقص الإمتلاء تغلق الثغور وبالعكس.

العوامل المؤثرة على فتح وإغلاق الثغور :

تعتبر العوامل البيئية هي المؤثر الأساسي وهي الضوء، البوتاسيوم، الكلور، تركيز ثاني أكسيد الكربون، نقص الماء، حمض لأبسيسيك، الحرارة.

١-الضوء: تبقى الثغور التنفسية مفتوحة وتبقى مغلقة في فترات الظلمة وتعتبر كمية الضوء اللازمة لبقاء الثغور مفتوحة، مختلفة باختلاف النوع النباتي ويلعب طول الموجة الضوئية مؤثر على فتح وإغلاق الثغور فالأمواج الطويلة والقصيرة لها تأثير سلبي ولوحظ أن افضل انفتاح كان عند المنطقة الحمراء والزرقاء من الطيف المرئي . ويعود تأثير الضوء الى تأثيره على التركيب الضوئي وزيادة المواد النشطة أسموزياً وتأثير هذه المواد على قيمة الـ pH فعند ارتفاع قيمته تفتح الثغور وعند انخفاض القيمة تغلق الثغور ويكون الإرتفاع لقيمة الـ pH مترافق مع السكريات البسيطة والارتفاع مترافق مع تشكل النشاء .

٢-البوتاسيوم والكلور والهيدروجين: لاحظ العديد العلماء أن البوتاسيوم يتراكم في الخلايا الحارسة عندما تتعرض للضوء ويؤدي ذلك الى انحلال النشاء وتكوين حمض الماليك الذي يؤدي الى زيادة الحموضة وبترافق مع K انيون Cl الذي يدخل الى الخلايا الحارسة نتيجة للاختلاف الكهربائي الذي نتج عن امتصاص البوتاسيوم ويتعادل حمض الماليك مع ويتشكل مالات البوتاسيوم ويتحرر بروتون الهيدروجين ومجموعة هذه العوامل تدفع الى ارتفاع أسموزية الخلايا الحارسة وبالتالي زيادة قوة امتصاصها.

٣-تركيز **Co2** : تعتبر الثغور حساسة لتغيرات تركيز **CO2** ولوحظ إغلاق الثغور التنفسية عند زيادة تركيز **CO2** فوق مستوى تركيزه في الهواء الجوي يؤدي إلى إغلاق الثغور وتأثير هذا التركيز لوحظ بانه مرتبط في المسافات البيئية داخل انسجة الورقة وليس في الهواء الخارجي فقد وجد أن الأوراق المعرضة لتركيز عالية من **CO2** والمغلقة الثغور لا تعود إلى انفتاحها بسرعة حتى لو نقلت لجو خالي من **CO2** وهذا ما يؤكد أن التركيز المرتفع للمسافات البيئية هو الذي يثبط الانفتاح الثغري ويبقى ذلك مستمراً حتى يستهلك هذا الغاز في عملية التمثيل الضوئي

٤- **نقص الماء وحمض الأبسيسيك** : عندما يزيد معدل النتح عن كمية الماء الممتص من قبل الجذور يحصل ما يسمى أعراض الذبول المؤقت حيث يلاحظ إغلاق الثغور عند ذلك ويزداد تركيز حمض الأبسيسيك ويعتقد أن قلة الماء هي المسؤولة عن ارتفاع هذا الهرمون وتلاحظ هذه الظاهرة عند النباتات المحبة للماء لذلك تمت الاستفادة من هذه الحالة باستخدام الرش بحمض الأبسيسيك بتركيز معينة في التخفيف من شدة النتح

٥- **الحرارة**: عند زيادة درجة الحرارة يزداد فتح الثغور إلى حد معين ويعود ذلك إلى سرعة عملية التركيب الضوئي وزيادة السكريات المختزلة أو البسيطة.

العوامل المؤثرة على معدل النتح: هناك مجموعة عوامل تلعب دوراً في التأثير على معدل النتح وتقسم لمجموعتين: عوامل متعلقة بالنبات وعوامل بيئية

أولاً - العوامل المتعلقة بالنبات :

أ- **نسبة المجموع الجذري للمجموع الخضري** : تعتبر هذه النسبة هي المتحكمة في معدل النتح فلو كان امتصاص الماء أقل من المنتوح فالنبات سوف يقلل من معدل النتح ويعاني من نقص الماء داخله ، وتزداد نسبة النتح بازدياد نسبة الجذور إلى المجموع الخضري.

ب- **مساحة الورقة**: لا يوجد هناك تناسب بين مساحة الورقة والماء المفقود في وحدة المساحة فالنبات الصغيرة تنتج بمعدل أكبر من النباتات الكبيرة ، وأن نزع الأوراق من النبات يزيد معدل النتح في الأوراق المتبقية بالنسبة لوحدة المساحة وهذا ما لوحظ أثناء تقليم أشجار الفاكهة إذ كان معدل نتحها أكبر ويفسر ذلك بان المجموع الجذري هو الذي زاد من ذلك نتيجة لقلة عدد الأوراق

ج- **تركيب الورقة** : إن لتركيب الورقة تأثير كبير فالنباتات الصحراوية تملك تحورات مثل سماكة الادمة والجدر الخلوية والثغور الغائرة ووجود الأوبار على أوراقها كل هذه البنيات تقلل من عملية النتح مقارنة بالنباتات التي تعيش في المناطق الرطبة. وقد لوحظ أن الفرق في عدد الثغور

التنفسية ونسبة العروق يزيد من معدل النتح.

ثانياً - العوامل البيئية : إن أكثر العوامل البيئية المؤثرة على معدل النتح هي :

أ- **الضوء :** وهو أهم العوامل المؤثرة على النتح فعند تعرض النباتات للضوء تفتح الثغور التنفسية وفي الظلام تغلق .

ب- **رطوبة الهواء:** تعتبر الرطوبة النسبية هي من العوامل المؤثرة على النتح فزيادة الرطوبة في الجو المحيط يقلل من النتح وانخفاضها يزيد النتح .

د- **الحرارة:** لوحظ ان الزيادة في الحرارة ضمن المجال الحيوي الفيزيولوجي لكل نبات يرفع من معدل النتح ووجد ان الثغور تغلق عند الاقتراب من الدرجة (٠ م) والدرجة (٣٠) م ووجد أن معدل النتح أعلى ما يمكن في منتصف اليوم عند اشتداد درجات الحرارة.

هـ- **الرياح:** الزيادة في معدل النتح كنتيجة للرياح لا يتناسب مع سرعتها فقد لوحظ أنه في بداية الرياح يرتفع معدل النتح ثم يعود للانخفاض الحاد نتيجة إغلاق الثغور تحت تأثير فرق الرطوبة بين الورقة والجو المحيط .

و- **توفر الماء في التربة:** له مؤشراتته الأساسية من خلال أعراض الذبول التي تظهر على النباتات عند زيادة او نقص نسبة الرطوبة في التربة ما بين (نقطة الذبول والسعة الحقلية)

المحاضرة الخامسة

العناصر المعدنية أهميتها للنبات وطرق انتقالها والعوامل المؤثرة على ذلك

حاول الانسان منذ أن عرف الزراعة معرفة العناصر اللازمة لنمو النباتات ،وأدرك ذلك بالتجربة والفترة فقد لاحظ المزارع البدائي أن إضافة البقايا الحيوانية إلى التربة تزيد من غلة الحاصلات البستانية وظلت تلك المعرفة مقتصرة على التجربة حتى جاء العالم Woodward عام ١٦٩٩ ومن خلال ملاحظاته قال ان النباتات يمكنها العيش والنمو الجيد في الماء الموحل أكثر من ماء المطر هذا القول دفع كثير من العلماء بعده على معرفة حاجة النبات من العناصر في التربة وكان من أوائل ذلك العالم De Sausure عام (١٨٠٤) الذي أوضح أن العناصر غير العضوية في رماد النبات يحصل عليها النبات عن طريق مجموعته الجذري وأثبت أن النتروجين وبقية العناصر تتواجد في التربة وهي ضرورية جداً للنبات وفي عام ١٨٣٠ قام كل من Sachs and Knop سلسلة من المحاولات تمكنا من خلالها تجريبيا وباستخدام المزارع السائلة من تحديد العناصر العشر الضرورية التالية للنبات الكربون، الهيدروجن، الأوكسجين، النتروجن، الفوسفور، البوتاسيوم، الكالسيوم، الكبريت، المغنيزيوم ، الحديد . وعرفت تلك العناصر بأنها العناصر الضرورية لنمو النباتات ومن ثم بعد ذلك اثبتت التجارب ان العناصر الاخرى هامة ويحتاجها النبات بكميات قليلة وسميت بالعناصر اللازمة للنمو وهي خمسة: المنغنيز، الزنك، البورون، النحاس ، الموليبيديوم .وهناك عناصر أخرى ليست ضرورية لكل النباتات مثل :

الصوديوم ، السيليسيوم ، الكلور و الكوبالت . أتى بعد ذلك كل من Arnon and Staut ١٩٣٩ وحددا مفهوم العنصر الأساسي ضمن الشروط التالية:

لا يمكن للنبات أن يقوم بعملياته الحيوية بدونه حتى لو توفرت بقية العناصر الأخرى وعند إضافته للنباتات بأي شكل كان تزول أعراض نقصه .

لا يمكن للعنصر أن يستعاض عنه بعنصر آخر بالتالي فهو نوعي بتأثيره وحاجته يدخل العنصر الأساسي من واحد أو أكثر من التفاعلات الحيوية الأساسية في الخلية الحية على سبيل المثال: الفوسفور يدخل في تكوين ATP كما يدخل في تركيب الفوسفوليبيدات ، المغنيزيوم يدخل في تركيب اليخضور ويدخل كوسيط في تثبيت شوارد الفوسفور المعدني على ADP.

طرق التقدير والكشف عن العناصر المعدنية :

هناك عدة طرق للكشف عن العناصر المعدنية:

أولاً- تحليل الرماد النباتي: تعتمد هذه الطريقة على ترميد النبات في درجة حرارة عالية ٦٠٠ م حيث تتحلل جميع المركبات العضوية وتخرج على صور غازية مثل الكربون والهيدروجن والأوكسجين. لا يمكن في هذه الطريقة الكشف عن النتروجن لأنه يتصاعد على صورة امونيا وغاز النتروجن أما بقية العناصر الممتصة من التربة فتبقى في الرماد النباتي ،

يعاب على هذه الطريقة : ١

١- أنها يمكن ان تسبب تبخر بعض العناصر الاخرى

٢- أغلب العناصر المعدنية تكون بشكل مؤكسد .

٣- يمكن ارتكاب الأخطاء أثناء تحليل الرماد ، لكن تمدنا بصورة جيدة عن تواجد وكمية العناصر التي يقوم النبات بامتصاصها .

ثانياً- طريقة المحاليل (المزارع المائية):

قام بهذه الطريقة العالمان Sachs and Knop عام ١٨٣٠ وذلك بزراعة النباتات في اوساط سائلة مغذية تحتوي على عناصر غذائية محددة في عدة مكررات حيث يفقد من أحد المكررات عنصر من العناصر الضرورية ويراقب النمو وأعراض نقص هذا العنصر على النباتات . ومن خلال هذه التجارب حددا الأساس الذي اعتمدت عليه دراسة التغذية المعدنية اللازمة للنباتات ، ومهدت الطريق لدراسات لاحقة أكثر تعمقاً واكتشاف نقص العناصر الصغرى ، لكن **يعاب على هذه الطريقة:**

١- من الصعوبة بمكان الحصول على عناصر معدنية غذائية نقية جداً

٢- إن الماء المقطر المستخدم يكون ملوثاً بكميات ضئيلة من النحاس والزنك من أجهزة التقطير

٣- لا بد من تأمين التهوية باستمرار للمحلول الغذائي كي لا تتعفن الجذور

ثالثاً- الطريقة الكيمياحيوية:

هذه الطريقة تعتمد على إدخال عنصر غذائي ومراقبته مخبرياً وما هي المركبات التي يدخل بها ومكان تواجده في الخلية وأهميته الحيوية وتم ذلك من خلال استخدام النظائر المشعة للعديد من

العناصر المعدنية لتحديد وظائفها ، فعلى سبيل المثال : الحديد Fe لوحظ بأنه يدخل في تركيب الفيروودوكسين وحلقة السيتوكروم في الميتوكوندري ، المغنيزيوم Mg يدخل في تركيب اليخضور . ومن خلال هذه الدراسات توصل العلماء وعلى رأسهم العالم Arnon على تحديد العناصر وفق مفهومين: عناصر كبرى وهي (C, H, O, N, S, P, K, Ca, MG) يحتاجها النبات بكميات كبيرة وعناصر صغرى ليست بأقل أهمية وضرورية جداً ، لكن الاحتياج إليها أقل وهي (Fe, BO Cu, Mu, Zn,) .

الدور العام للأملاح المعدنية في الخلية:

أولاً- الدور الفيزيائي: ويتجلى هذا الدور من خلال :

أ- الضغط الحلوي الخلوي : حيث تكون الأملاح المعدنية مسؤولة عن انتباج الخلايا وهو الشرط اللازم لنموها وقيامها بكافة وظائفها الحيوية المنوطة بها.

ب- تأثيره على Ph الخلية : من خلال وظيفة كل ملح وطبيعة المركبات الداخلة فيه تحدد

درجة تأينه Ph العصارة الخلوية والتي تلعب دوراً وظيفياً دقيقاً وخاصة في التفاعلات الأنزيمية

ج- التأثيرات الشاردية وقوة التشرب في السيتوبلازم : إن قوة التشرب للسيتوبلازما وطبيعتها

الغروية تتوقف على نوع الشاردات المعدنية التي تدخل في تركيبها ودرجة انتفاخها وامتصاصها

للماء مرتبط بنوع الشاردات فيها . فالكاتيونات تعمل على إزالة الشحنة من السيتوبلازما وبالتالي

تقلل من الانتباج. أما الأنيونات تكون مشحونة بشحنة مماثلة لشحنة السيتوبلازم يؤدي ذلك لرفع

نسبة الانتباج وهذا ما يفسر مقدرة النباتات المالحة على ادخار كمية كبيرة من الأملاح وترفع من

الضغط الحلوي لحد كبير وتحافظ بذلك هذه النباتات على حياتها ضمن هذه البيئة الصعبة .

د- التآرجح البيولوجي للشاردات: قد تموت الخلية إذا وضعت في ماء نقي وكذلك في محلول

لملح محدد واحد مثل غمس الشوندر في ملح كلوريد الصوديوم لكن إن وضعت قطع الشوندر في

محلول يحوي ملحي كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم فلا تخرج أصبغة الانثوسيانين وتحافظ

الخلية على توازنها الحيوي . ومن هذه الفكرة تم التوصل لحقيقة علمية " أن التغذية المعدنية

للنباتات يجب ان تكون تغذية متوازنة " أي تحوي كافة العناصر المعدنية وفق معادلات خاصة

ثانياً- الدور النوعي للعناصر المعدنية في حياة النبات :

لقد تمكن من خلال الطرق الحديثة في التحليل وتتبع العناصر في التفاعلات الحيوية ضمن النبات من إلقاء الضوء على كثير من غوامض الأمور المتعلقة بدور كل عنصر في حياة النبات لكن الصعوبات التي واجهت ولا تزال العلماء معرفة دور العناصر الغذائية في الأنزيمات إضافة إلى ذلك ، فإن العناصر المعدنية أثناء تأديتها لوظيفة معينة تتداخل مع عناصر أخرى ويأخذ هذا التداخل منحنيين إما تضاد أو تساند .

الأهمية الحيوية للعناصر المعدنية الكبرى

١- دور C,H,O أو الكربوهيدرات : تعرف كعناصر بنائية ، مصدر للطاقة في الخلية الحية
٢- دور N : يعتبر الآزوت عنصراً أساسياً في تكوين البروتينات في كافة أشكالها في الخلية والأسس الآزوتية ، ويدخل في تركيب أشباه القلويات . يأخذ النبات من التربة على شكل نترات ونادراً على شكل أمونيا NH_4 ، ويدخل كعنصر اساسي في تكوين الكلوروفيل .

نقصه يؤدي إلى : نمو بطيء ، اصفرار على الأوراق ،احتراق حافة الأوراق السفلية ، ظهور الأصبغة الأنثوسيانينية على نصل الورقة .

٣- الكبريت S : يدخل في تركيب الألبومينات وفي تركيب زمر SH وفي الحموض الأمينية مثل السيستين والسيستئين وفي المركبات المسؤولة عن الرائحة في بعض النباتات كمادة السنجرين التي تعطي رائحة البصل والثوم الخاصة بهما ، يمتص الكبريت على شكل كبريتات لكنه يرجع ضمن النبات فور دخوله الخلية النباتية على شكل سلفوهيدريل SH .

أعراض نقصه تظهر على الأوراق الفتية : يظهر الاصفرار على كامل الورقة بما فيها أعصابها
٤- الفوسفور P :عنصر بنائي هام جداً في الخلية يدخل في تركيب الأنزيمات مثل ATP والفوسفوليبيدات ، يتراكم في البذور والثمار وهو عنصر متحرك في النبات ، تظهر أعراض نقصه على الأوراق المعمرة ، يحفز الإزهار ويزيد من خصوبة حبوب اللقاح .

اعراض نقصه: يكون النبات بلون أخضر داكن، مزرق ، تظهر تنقرات على الأوراق السفلية .
٥- البوتاسيوم K : يلعب هذا العنصر دور هام في النبات ، لا يمكن الاستعاضة عنه ، يتراكم في الأعضاء الفتية كالبراعم والأوراق ونهايات الجذور ، ويقبل وجوده في الأعضاء الهرمة ويتواجد بشكل حر ، يساهم في تصنيع البروتينات وفي إرجاع النترات وله دور أساس في لزوجة الخلية ، كما يساهم في عملية تراكم السكريات في الأعضاء التخزينية للنبات .

أعراض نقصه: تظهر على الأوراق الهرمة بشكل إصفرار وسماكة في برانشيم الورقة أعضاء النباتية ، يعدل الحموض العضوية في التربة والخلية ويخفف من أثرها السام على النبات.

٦- الكالسيوم **Ca**: عنصر ساكن غير متحرك لذلك تظهر أعراض نقصه على الأعضاء الفتية يساهم في تركيب البروتينات كوسيط ويساهم في تكوين بكتات الكالسيوم المسؤولة عن متانة الهيكل العام للشجرة

أعراض نقصه: تظهر بشكل تلف أو نخر للمناطق المرستيمية ويموت النبات من الأعلى نحو الأسفل والأوراق الحديثة تلتوي بشكل خطاف .

٧ - المغنيزيوم **Mg**: عنصر أساسي لبناء اليخضور وهو عنصر متحرك له دور في عملية الفسفرة وينشط الأنزيمات مثل أنزيم الكربوكسيلاز والديهيدروجيناز ، يتداخل هذا العنصر مع كل من الكالسيوم والبوتاسيوم فوجود الكالسيوم يخفف من سمية المغنيزيوم ويضبط دخوله للخلايا أعراض نقصه تظهر على الأوراق السفلية: اصفرار ويقع نسيجية ميتة في نصل الأوراق وتلتوي أطراف الأوراق نحو الأعلى مع انتشار الأصبغة الأنثوسيانية بين عروق الورقة.

دور العناصر الصغرى:

١- الحديد **Fe** : يساهم بشكل أساسي في صناعة الكلوروفيل في المرحلة الأولى ولا يدخل في تركيبه، يدخل بتركيب انزيمات الأكسدة كالفيرودوكسين، له دور في عملية مناقلة الإلكترونات ويساهم في صناعة أنزيمات البيروكسيداز والكاتالاز ويقوم بإرجاع النترات فور دخولها للخلية أعراض نقصه تظهر على الأوراق الفتية: اصفرار ، ويبقى العصب الرئيسي بشكل أخضر وتسمى ظاهرة الاصفرار عند نقص الحديد بالكلوروز

٢- النحاس **Cu** : يساعد مع الحديد في تصنيع اليخضور ، ويدخل في تركيب بعض الأنزيمات كمرافق أنزيمي معدني .

أعراض نقصه: أخضر قاتم على الأوراق ومن ثم سقوطها ويبقى البرعم في إبطها حياً.

٣- المنغنيز **Mn** : يدخل بشكل أساسي في تصنيع الأوكسينات النباتية ويساهم باصطناع اليخضور . أعراض نقصه: تشبه أعراض نقص النحاس مع تقزم السلاميات والأفرع .

٤- الزنك **Zn**: ينشط تشكيل أنزيمات الديهيدروجيناز، ويساهم في تشكيل أندول أستيك أسيد ونقصه يؤدي لمرض التورد وتكون الأوراق سميقة وتقصر السلاميات وتظهر بقع ميتة بين الأعصاب.

٥- البورون **Bo** : دوره الأساسي يتحدد بتحديد مسار الأنزيمات .
ونقصه يؤدي لتشوه في الخلايا المنقسمة واحتراقات صغيرة في الأوراق ، وتموت النموات من
البراعم الطرفية وتتساقط البراعم الزهرية .

٦- الموليبيدوم **Mo**: يدخل بشكل أساسي في استقلاب الآزوت وفي نقل الفوسفات .
أعراض نقصه: اصفرار وتنقبات في نصل الورقة

العمل المشترك للشاردات

لاحظ الكثير من العلماء المهتمين بدراسة التغذية المعدنية للنبات تداخل بين الشاردات فيما بينها
وكانت هذه التداخلات معقدة فالبعض منها كان إيجابياً لكلا العنصرين المتداخلين وسميت هذه
العلاقة بالعلاقة التساندية أما في حال كان هذا التداخل معيق سمي بالتضاد . ولوحظ لبعض
العناصر أن تداخلاتها عديدة جداً فعنصر المغنيزيوم يتداخل مع الكالسيوم والهيدروجن والأمونيوم
والبوتاسيوم والمنغنيز . فتداخله مع الكالسيوم يعتبر عنصر إيجابي في حين أن تداخله مع
الهيدروجن في الأراضي الحامضية تظهر أعراض نقصه عند ذلك، المغنيزيوم يحد من الأثر السام
للمنغنيز توجد علاقة تضاد بين البوتاسيوم والفوسفور، ارتفاع نسبة الكالسيوم في التربة يؤدي إلى
نقص الحديد الممتص من قبل جذور النباتات وتظهر أعراض نقصه على النباتات

حركة المواد المعدنية في النباتات

تتحرك المواد المعدنية في النباتات من مكان تجمعها في الأوراق حسب طبيعة كل عنصر
فالعناصر الثابتة مثل Ca تبقى في الأوراق بنسبة ٩٠% وتتم حركة المواد المعدنية قبل تساقط
الأوراق وسكون النبات حيث تدخر العناصر المتحركة بعد عودتها من الأوراق في الساق والأفرع
المعمرة والجذور وأهم هذه العناصر: الآزوت ، البوتاسيوم ، الفوسفور ، الحديد ، الكبريت ،
المغنيزيوم وتصل نسبة هذه المواد العائدة إلى ٩٠% من المحتوى الأساسي لها في الأوراق
وعلى العموم يمكن تلخيص حركة المواد المعدنية تبعاً للآليات التالية:

١- الدخول عن طريق الجذر مع ماء التربة الممتص عبر الشعيرات الجذرية حتى وصولها
للأوعية الناقلة.

٢- الصعود بالأوعية الخشبية الناقلة باتجاه معاكس للجاذبية الأرضية على الأوراق.

٣- التحول جزئياً على مواد عضوية في الأوراق.

- ٤- عودة المواد العضوية المعدنية من الأوراق إلى اعضاء النبات المختلفة عبر الأوعية الغربالية
٥- ادخار هذه المواد في الأعضاء والنسج الادخارية لكل من الساق والثمار والأفرع الهيكلية والجذور
٦- إعادة الدوران ثانية عند عودة النشاط للنبات عبر الخشب على الأوراق .

آلية امتصاص العناصر المعدنية:

إن ميكانيكية دخوال وانتقال العناصر المعدنية إلى النبات متعددة :

- ١- الامتصاص السلبي: ويحدث هذا الامتصاص للأملاح نتيجة ملامسة المجموع الجذري لمحلل التربة حيث تنتقل الأملاح من وسط عالي إلى منخفض التركيز وفق قانون الانتشار بمعنى أن هذا الانتقال آلي دون الحاجة لطاقة وهذا الانتشار هو انتشار حر يستمر حتى يحصل توازن في تركيز الأيونات بين الخلية النباتية والوسط المحيط (محلل التربة)
٢- التبادل الأيوني: إن الأيونات على أسطح الجدر الخلوية تتبادل مع أيونات محلل التربة فمثلا الكاتيون K يتبادل مع أيون H المدمص وهذا التبادل الأيوني سوف يسمح بامتصاص كبير لمجموعة عناصر هامة للنبات .

٣- التدفق الكلي للأيونات: يتم ذلك عبر عملية النتح وتأثير عملية النتح تأثيراً مباشراً على ذلك حيث يمتص النبات كمية كبيرة من محلل التربة بما يحويه من عناصر غذائية.

- ٤- النقل النشط: يحصل ذلك بأن تنتقل مجموعة من الأيونات والكاتيونات ضد منحدر تدرج التركيز وقد برهن العالم هوغلاند بأن تتركب الأيونات يثبط أو يتوقف عندما يتوقف النشاط التنفسية في النبات نتيجة أي عامل من العوامل لذلك قال: " بأن الطاقة التنفسية ضرورية لعملية النقل من خلال وجود معقد الحامل والأيون" حيث يسمح هذا الحامل أن يعبر الأيون الغشاء البلاسمي بوجود أنزيم خاص لكل أيون ويقوم هذا الأنزيم بمبادلة هذا الأيون مع مواد أخرى لازمة.
العوامل المؤثرة على امتصاص الأملاح:

- ١- درجة الحرارة : تسرع زيادة الحرارة امتصاص الأملاح من خلال تأثيرها على العمليات الفيزيولوجية المختلفة داخل النبات أو حول الجذور .
٢- تركيز H في محلل التربة: يتجلى أثر الهدرجن من خلال تأثيره على PH التربة فالفسفور على سبيل المثال في الوسط القلوي يكون بشكل فوسفات ثنائية التكافؤ ثم ثلاثية وهذه الثلاثية صعبة الامتصاص وفي حال ارتفاع قيمة PH الوسط قلوي يزداد معدل امتصاص الكاتيونات .

- ٣- الضوء: تأثير من خلال تأثيرات على فتح وإلاق الثغور والتمثيل الضوئي والنتج.
- ٤- العلاقة المتبادلة بين الأيونات المختلفة: لوحظ أن بعض العناصر إن ارتفع تركيزها تؤثر على عناصر أخرى سلباً أو إيجاباً فقد وجد أن للكالسيوم تأثير إيجابي في زيادة امتصاص البوتاسيوم والبروم ويحصل تنافس بين عديد من المركبات على الأماكن النشطة للامتصاص " مكان الربط في الحامل" لدرجة التضاد مما يؤثر على انتقال هذا الملح أو ذاك .

المحاضرة السادسة .

الأنزيمات Enzymes

لاحظ العالم Bucher 1897 أن مسحوق الخميرة يقوم بفعل الخميرة الحية في تحليل السكر وتخمره بوجود الأوكسجين وقال أن هناك عوامل في هذا المسحوق تقوم بتنشيط تفاعل التحلل العالم Sumner 1926 قام بعزل هذه المحفزات واستطاع أن يفصل أنزيم المسؤول عن تفكك البولة وسمي (يوريز) وأثبت ان الأنزيمات ذات طبيعة بروتينية وفتح مجال واسع للعلماء لمتابعة التفاعلات الحيوية التي تدخل فيها الأنزيمات كمنشطات ومحفزات للتفاعل أو وسطاء وعرفت بعد ذلك بأنها (الأنزيمات) : وعرفت بأنها مواد كيميائية عضوية تعمل على تسريع التفاعلات الحيوية دون أن تدخل بها حيث يبدأ عملها بتخفيض طاقة التنشيط الأولى للتفاعل لتلافي الأضرار الناتجة عن هذه التفاعلات في الوسط الغير حي.

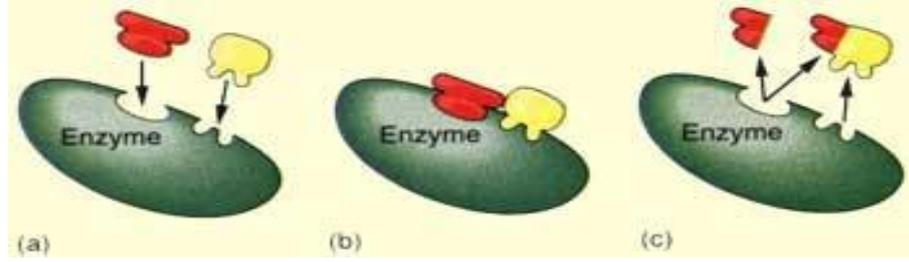
فعلى سبيل المثال :الماء الأوكسجيني H_2O_2 يحتاج إلى ١٨٠٠٠ حرارة لتفكيك جزء منه لكن عند استعمال أنزيم الكاتالاز يحتاج تفكيكه إلى ١٧٠٠ حرارة فقط

طبيعة الأنزيمات: عوامل مساعدة عضوية تتصف بالآتي:

- ١- تعمل بتراكيز ضعيفو جداً على مادة التفاعل Substrate وتحولها لنواتج تفاعل بشكل سريع جداً حيث ان الأنزيم يدخل في دورة تفاعلية متكررة قد تصل لعدة ملايين .
- ٢- لا يدخل الأنزيم في التفاعل وإنما يحفزه وتعمل الأنزيمات في ظروف محددة من الحرارة وph وهي حساسة جداً لهذين العاملين .
- ٣- يدخل الأنزيم في التفاعلات الحيوية بسرعة كبيرة لتحقيق التوازن في الخلية.
- ٤- الأنزيمات متخصصة جداً .

الفعل التحفيزي للأنزيم (Catalytic action) يرتبط الأنزيم بمادة التفاعل بطريقة تؤدي لحدوث تغير في تكوين وتركيب مادة التفاعل فيرتبط الأنزيم بمادة التفاعل ويتكون معقد الانزيم - والمركب الوسيط بطاقة تنشيطية بسيطة ومن الجدير بالذكر أن هذه التفاعلات تكون عكوسة

بحالة الاستقرار



تسمية الأنزيمات: تنتهي الأنزيمات بالنهاية آز ase وتستمد هذه التسمية وفقاً للآتي:

Arginase	Arginine	1- اسم الركيزة (المادة) التي تعمل عليها الأنزيمات :
Tyrosinase	Tyrosina	
urease	urea	
Amylase	Amidon	

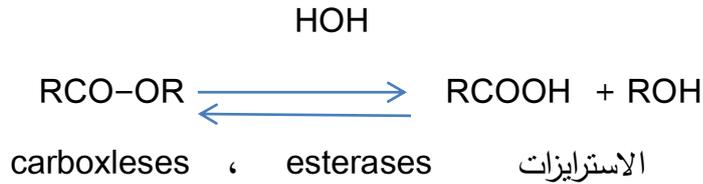
2- إلى اسم وظيفة الأنزيم : الأوكسيداز Oxidases

. تحلل الماء Hydrolases

. الكربوهدرات Carbohydrases

. أنزيمات الفسفرة Phosphorylase

أنزيمات التحليل المائي: Hydrolases وفق المعادلة



تركيب الأنزيمات : تتمتع الأنزيمات ببنية بروتينية معقدة تختلف السلاسل الببتيدية من أنزيم

لآخر ولعل تأثرها ب pH الوسط ودرجات الحرارة مرتبط بهذه الطبيعة البروتينية واعتماداً على

ذلك تقسم الأنزيمات لمجموعتين أساسيتين:

1- أنزيمات بسيطة: تتكون من جزيئات بروتينية فقط مثل Trypsine , epsine وهي

من مجموعة ureases أو البولاز .

2- أنزيمات مركبة: وتتألف من قسم بروتيني وقسم غير بروتيني أهمها : أنزيمات الأكسدة

الإرجاع . وهنا يسمى الجزء البروتيني الداعمة Apoenzyme وهو مجموعة من الحموض
الأمينية فقط والمرافق ويسمى CO anzyme . وهذه المرافقات تقسم إلى :
أ- مرافقات لا عضوية :

* قد يكون شاردة معدنية مرتبطة بالداعمة مباشرة مثل Cu في الأوكسيداز أو Zn في
نازعات الماء الفحمية (Carbonic anhydrase) و Ca في انزيم (Coagulase)
* قد يكون المرافق اللاعضوي مركب معدني مثل أنزيمات البيروكسيداز حيث يكون المرافق
مركب بور فيرين حديدي وهذه الانزيمات تتركز في الميتوكوندري وهي مسؤولة عن مناقلة
الالكترون .

ب- مرافقات عضوية :

وهي عادة تكون سهلة الانفصال تؤدي دورها الحيوي تتحد وفق تسلسل بنيوي مع الجزء
البروتيني لكي تقوم بعملها أهم هذه المرافقات :

١- التيمينان I و II : ويرمز إليهما (CO I و CO II) ويرمز للأول بـ (NAD) نيكوتين
أميد آده نين داي نيكليوتيد ويرمز للثاني (NADP) نيكوتين أميد آده نين داي نيكليوتيد
الفسفات وكلاهما مشتقان من الفيتامين (B1) أو ما يسمى النياسين أو النيكوتيند أميد يعمل
كلاهما على نزع الهيدروجن والالكترونات من الركيزة أي يسميان نازعات هيدروجين .

٢- التيمينان FMN و FAD: الأول فلافين مونونوكليوتيد والثاني فلافين آده نين ده
نوكليوتيد ويحتوي كلاهما على الريبوفلافين (" فيتامين B2) ولها دور في نزع الهيدروجين .
ج- الجملة السيتوكرومية أو الصبيغات :

وهي جملة من المرافقات تعمل على مناقلة الالكترون في الاصطناع الضوئي والتنفس وهي
مركبات معدنية بروتينية يدخل الحديد في تركيبها تشبه خضاب الدم .

د- التميم A ويرمز له COA : يحوي على مشتق حامض البانتوتينيك التابع لزمرة فيتامين
(B Complexe) له دور في اصطناع وتفكيك الدسم وفي دورة كريبس .

هـ - (ADP) والـ (ATP) : (آده نوزين دي فسفات) و (آده نوزين تري فسفات) على
الترتيب، وهي لا تعتبر من التماثل بل ينحصر عملها في تحويل الفوسفور بين جزيئات الركيزة
ويساهمان بهذه الروابط في عملية امداد الخلايا بالطاقة اللازمة للأفعال الاستقلابية في الخلية
والجدير بالذكر أن هذه المرافقات يمكن أن تدخل مع أكثر من داعمة أنزيمية لتشكل

أنزيمات مختلفة تعمل على ركائز مختلفة .

توزيع الأنزيمات في خلايا النبات :

تمكن العلماء من إعطاء صورة واضحة عن توزيع وعمل الأنزيمات داخل الخلية النباتية وذلك بدراسة مفصلة لهذه الأنزيمات عند الكائنات وحيدة الخلية كفطريات الخميرة والبكتيريا لأن هذه الكائنات تتميز ببنييتها البسيطة وقد وجد العلماء أن الانزيمات المشتركة في هذه الوظائف هي واحدة عند كل الكائنات من خلال معرفة الوظائف لكل عضية فالريبوزومات تصنع البروتينات لذلك تتركز الأنزيمات المسؤولة عن تركيب البروتين على سطح هذه الريبوزومات او قريبة منها. وقد وجد أن أعلى تركيز من الانزيمات يتوضع في الميتوكوندري والكلوروبلاست حيث توجد جميع انزيمات دورة كريبس التي تؤكسد حمض البايروفيك في الميتوكوندريا وأيضاً أنزيمات مناقلة الالكترونات ضمن هذه الدورة إلى O₂ وتشكيل الماء إضافة إلى تكوين ATP بعد هذه المناقلة ، الصانعات الخضراء تحتوي نظم أنزيمية اللازمة لتفاعلات تثبيت CO₂ وتحديداً في الستروما ، كذلك توجد الساييتوكرومات في الصانعات الخضراء والميتوكوندري سوية ، وتحتوي الصانعات الخضراء الأنزيمات اللازمة لتكوين الصبغات، في النواة يوجد أنزيم دي أوكسي ريبو نيوكليز هذا الأنزيم يحفز انشقاق لجزيء DNA والسيتوبلاسم تتركز فيها جملة من الأنزيمات ففيها انزيمات سلسلة تحلل الغلوكوز وتشكل الهكسوز احادي الفوسفات وأنزيمات التحلل المائي وأنزيمات الفسفرة ، كما لوحظ وخاصة عند وحيدات الخلية أنزيمات تفرز خارج هذه الخلايا تساعد على هضم المواد المحيطة بالخلايا مما يسهل دخولها إلى جسم الخلية ، والشبكة الإندوبلازمية والأجسام الدقيقة تحوي نسبة كبيرة من الأنزيمات المسؤولة عن الهضم والتحلل المائي .

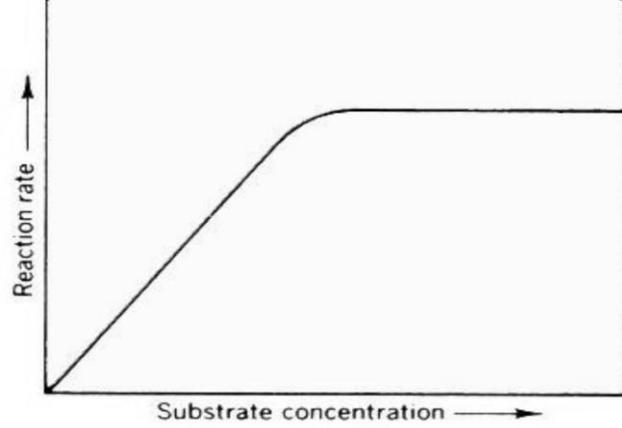
العوامل المؤثرة على النشاط الأنزيمي:

كما هو في كافة التفاعلات الكيميائية فإن التفاعلات التي تحفزها الأنزيمات حساسة جداً للظروف الخارجية وذلك بسبب الطبيعة البروتينية لهذه الأنزيمات كتركيز مادة التفاعل وتركيز الأنزيم ودرجة الحرارة و pH الوسط .

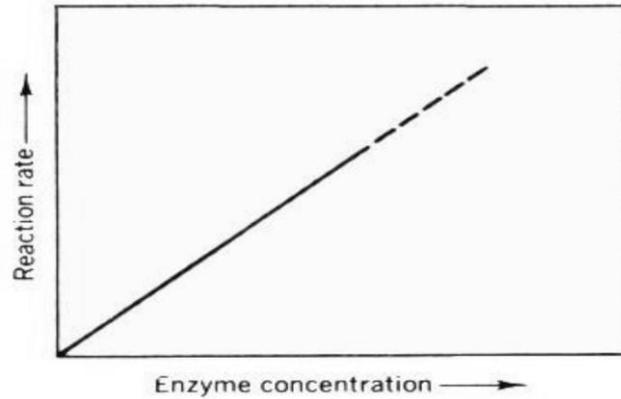
أ- تركيز مادة التفاعل:

لتكوين (أنزيم - مادة تفاعل) " تحولات تسبق التفاعل " يتأثر بشكل كبير بمادة التفاعل فعند وجود تراكيز منخفضة من مادة التفاعل فإن المركز النشط الأنزيم على اعتبار أن الأنزيم ذو بيئة

عملقة ببتعد عن مادة التفاعل ولا يعمل بفعالية قصوى لكن عند الزيادة في مادة التفاعل تزداد جزيئات مادة التفاعل في المركز النشط ويزداد معدل التحفيز الأنزيمي التفاعل حتى درجة التشبع بعدها لا يلاحظ أي تأثير للأنزيمات على معدل التفاعل كما في الشكل



ب- تركيز الأنزيم : إن زيادة تركيز الانزيم يتيح زيادة عدد المراكز النشطة وتزداد فرص التفاعل بين الأنزيم ومادة التفاعل وقد لوحظ بأنه بمعدلات منخفضة للأنزيمات تنخفض التفاعلات وتزداد هذه النسبة مع زيادة تركيز الانزيم حتى درجة معينة وبثبات مادة التفاعل وزيادة التراكيز ترتفع النسبة وتتناسب طردياً وفق الخط البياني.

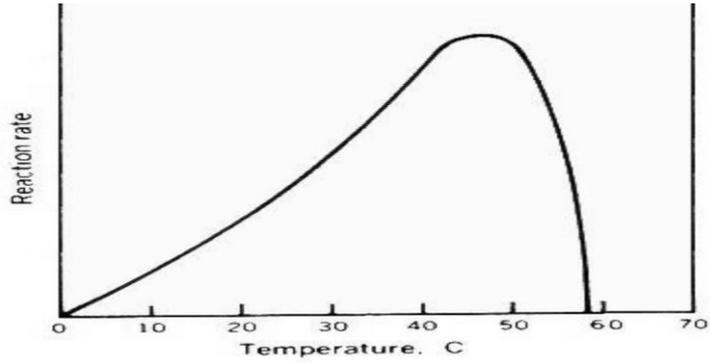


ج- درجة الحرارة: إن التفاعلات الأنزيمية تتأثر بشكل كبير بدرجات الحرارة وذلك يعود للطبيعة البروتينية لها وتتميز درجات النشاط الحراري لهذه الأنزيمات بمجال محدود جداً من الحرارة مقارنة بالتفاعلات الكيميائية العادية فند درجة ٠ م تكون التفاعلات معدومة لكن عند زيادة درجات الحرارة بمعدل ثابت ترتفع معدلات التفاعلات الأنزيمية بسطل مطرد حتى الدرجة ٢٥م فقد لوحظ أن زيادة ١٠ درجات مئوية حتى ٢٥م تضاعف معدل التفاعل بمعدل مرتين ونصف ويعود ذلك لسببين :

* زيادة الطاقة الحركية للأنزيم ومادة التفاعل

* زيادة فرصة التصادم بين الأنزيم ومادة التفاعل .

لكن عند الاقتراب من الدرجة ٣٠ م فإن هذه الدرجة تؤثر على طبيعة الانزيم ويلاحظ عندها انخفاض شديد في التفاعلات حيث تتفكك بنية الأنزيم وتتوقف كلياً التفاعلات المسؤول عنها الأنزيم كما في الشكل



د- تركيز PH الوسط: يؤثر الوسط من خلال هذه الدرجة على طبيعة الانزيمات وينعكس ذلك على نشاطه التحفيزي وكما هو معلوم فلكل أنزيم PH مناسب فأى خلل باتجاه القلوية أو الحامضية عن الحد المثالي للأنزيم يؤدي لتوقف التفاعل ويعود ذلك لتباين تركيب الأنزيمات وتأينها في PH الوسط .

الفائدة التطبيقية للأنزيمات: تعتبر الأنزيمات فرعاً أساسياً من الفيزيولوجيا الحيوية ودخلت مجالات استخداماتها وتطبيقاتها خارج فعلها الحيوي في مجالات عديدة مثل الصناعة والزراعة

أ- صناعة الخبز: الخبز يحتوي على نشاء وسكروز ومالتوز إضافة إلى الأميلاز فعند إضافة الخميرة فإنها تعمل بما تحويه من أنزيمات مثل الأنفرتاز ، المالتاز ، الزيماز على تفكيك محتويات الطحين أثناء عملية التخمر حيث يقوم الأنفرتاز على تحليل السكرز إلى غلوكوز وفركتوز ، المالتاز يعمل على إماهة المالتوز لجزئي غلوكوز ، أنزيم الزيماز يقوم بعملية التحلل السكري وإعطاء الكحول الإيتيلي وغاز CO2 ، الأميلاز يحلل النشاء إلى دكسترين ومالتوز عندها يصبح العجين قابل لصناعة الخبز

ب- صناعة الأجبان: الكازئيناز يحلل مادة الكازئين في اللبن ويحولها إلى جبن ، أما في مجال الصناعة: دباغة الجلود : يقوم انزيم الكيراتيناز بتحليل مادة الكيراتين الموجودة في الجلود ويحولها لمادة الكولاجين الطرية ويصبح الجلد أكثر قابلية للتصنيع ويمكن استخدام بعض

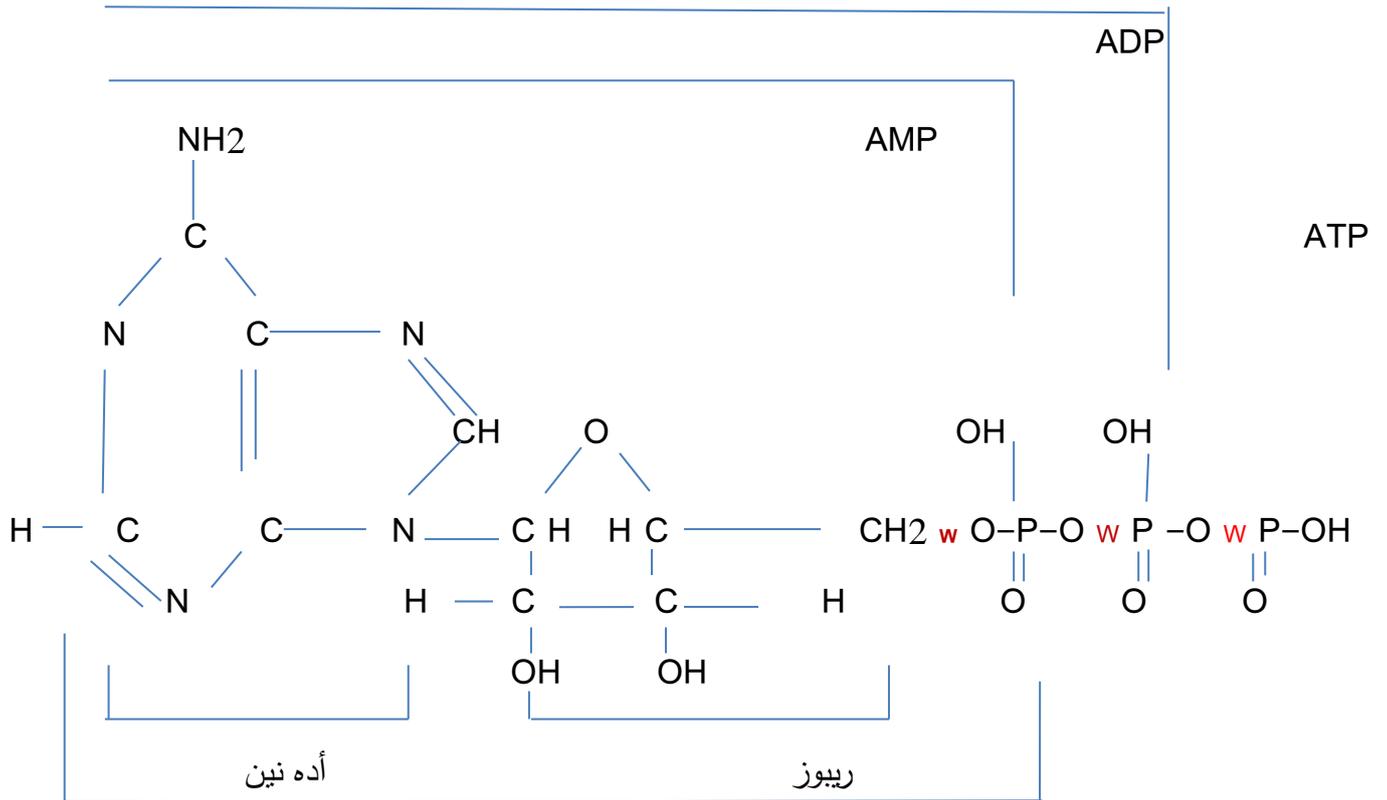
الأنزيمات في المعالجات الطبية وخصوصاً أنزيمات مناقلة الأمين (Transaminase) في أمراض القلب والكبد .

التنفس

تعود الطاقة الكامنة في الجزيئات العضوية إلى طاقة ضوئية تحولت إلى طاقة كيميائية مخزنة بشكل روابط فعند فك أو تحطيم هذه الروابط فإنها تعطي طاقة إما فقيرة مثل (C-C) (C-H) (C-O) أو غنية مثل روابط البيروفسفات فعند اتحاد حمض الفوسفور H₃PO₄ مع الأده نوزين وحيد الفوسفات ويخزن 3000 كالوري

فسفات الأده نوزين + H₃PO₄ ← ADP ويخزن 12000

H₃PO₄ + ADP ← ATP + 13000 كالوري



أده نوزين

تعتبر عملية التنفس في الكائنات الحية هي عملية أكسدة للمواد العضوية وليست عملية احتراق وفق الآليات الآتية:

أ- الاتحاد بالأوكسجين: أي زيادة نسبة الأوكسجين في المادة المستخدمة كركيزة

ب- فقدان الهيدروجين H_2 : وتتطلب هذه الحالة مستقبل للهيدروجين أو نازعات هيدروجين
ج- فقدان الكترول e^- : وتتطلب هذه الحالة مستقبل للإلكترونات ويترتب عن هذه الأكسدة تشكل
بروتونات على شكل ذرات هيدروجين ، وتتحد بروتونات الهيدروجين مع الاوكسجين وتشكل الماء
أما الالكترولونات فتنتقل في حلقة مناقلة الالكترولون وتحول الحديد الثنائي لثلاثي وتسمية عملية
نزع الالكترولون من مادة لأخرى عملية أكسدة أما إضافة إلكترون تعتبر عملية إرجاع إذن
عملية الأكسدة في المادة الحية لا تتم بإضافة الأوكسجين للمادة القابلة للأكسدة كالسكريات
مثلاً إنما تتم نتيجة لنزع ذرات الهيدروجين والالكترولونات حيث تستقبل بروتونات
الهيدروجين من قبل الأوكسجين وتكون الماء والالكترولونات المنزوعة من الهيدروجين تنقل في سلسلة
مناقلة الالكترولون والمسؤولة عنها أنزيمات NAD يحول $NADH$.

أنواع التنفس في الكائنات الحية :

أولاً - التنفس الهوائي: وعنده يكون المستقبل للهيدروجين هو الأوكسجين الجزيئي O_2

ثانياً - التنفس اللاهوائي : يكون المستقبل للهيدروجين المنزوع مركباً غير عضوي لكنه ليس
الأوكسجين مثل النترات ، الكبريتات ، الكربونات.

ثالثاً - التخمر: ويكون المستقبل للهيدروجين هو مركب عضوي .

إذن يمكن تلخيص عمية التنفس بالآتي: " هي خطوات متعاقبة في الاستقلاب بحيث تؤكد
المركبات العضوية وتتحد شاردات الهيدروجين الناتجة مع الأوكسجين الجزيئي ، تتحرر نتيجة نزع
الهيدروجين طاقة تخزن بشكل روابط كيميائية ويكون التنفس مرافقاً لانطلاق CO_2 الناتج عن
تحطيم جزيئات الكربوكسيل في الحمو العضوية المتشكلة خلال مرحلة تحلل السكر . عند نقص
الأوكسجين فإن أكسدة المواد العضوية يكون ناقصاً ويحصل ما يسمى بالتخمر الكحولي حيث
يتشكل الكحول الإيثيلي وينطلق CO_2 لكن الطاقة الناتجة تكون منخفضة "

قياس التنفس : يقاس التنفس بعدة مؤشرات لكن القياس الأمثل يجب أن يراعي حساب كل
من مقدار الركييزة التنفسية المستهلكة ، مقدار O_2 المستهلك وجزيئات الماء المتشكلة ، عدد
جزيئات ATP ، كمية CO_2 المنطلقة ، النسبة الحجمية بين CO_2 المنطلق / O_2 المستهلك
ويسمى معامل التنفس ويختلف هذا المعامل باختلاف الركييزة المؤكسدة (المستهلكة في التنفس)
معامل التنفس يرمز له QR بالنسبة للسكريات يكون هذا المعامل ($QR=1$) ، الدسم $QR > 1$ من

(١) وكذلك في البروتينات أما الحموض العضوية فيكون المعامل (أكبر من ١) ويمكن أن يقاس التنفس بما يسمى معامل الإرجاع وهو مقلوب معامل التنفس ويرمز له RL.

العوامل المؤثرة على سرعة التنفس:

١- المحتوى البروتوبلازمي في الخلية: لوحظ أن الخلايا الميرستيمية الغنية بالبروتوبلازم تملك سرعة ومعدل تنفس أكبر من الخلايا المسنة ويفسر ذلك باحتوائها على نسبة أعلى من البروتوبلازم
٢- درجة الحرارة: إن معدل التنفس وسرعته تزداد مع ازدياد درجة الحرارة في حدود معينة حتى الدرجة ٤٥ م ثم ينخفض بشكل حاد وذلك للأسباب:

* تأثير المثبط لهذه الحرارة على الأنزيمات

* عدم قدرة الأوكسجين على الدخول للخلايا

* تراكم CO₂ في الخلايا

٣- الأوكسجين: إن تأثير الأوكسجين على معامل التنفس مختلف باختلاف نوع النسيج وتركيز O₂ والزمن ، قد لوحظ من تجارب عديدة على بعض النباتات أن O₂ يرفع من معدل التنفس حتى وصوله لمعدله الطبيعي في الهواء لكن عند زيادته عن الحد الأعلى لم يلاحظ أي زيادة في التنفس ، فنبات الرز مثلاً يتطلب مقدار من الأوكسجين أقل من القمح وهذا ما يفسر نموه في البيئات الرطبة ، ويبدو أن العلاقة التي يؤثر بها الأوكسجين على التنفس مرتبط بتركيز CO₂
٤- CO₂: لوحظ أنه عند زيادة تركيز CO₂ في الجو المحيط عن معدله الطبيعي يؤدي لانخفاض التنفس ويعود ذلك للتأثير السمي لـ CO₂ وهذا ما يفسر تضرر الجذور عند نقص الأوكسجين وارتفاع تركيز CO₂.

٥- الماء : يعتبر تركيز الماء في النسج النباتية ذو أثر كبير على سرعة التنفس حيث لوحظ أن انخفاض نسبة الماء في النسيج يؤدي لجفافها وموت الأنزيمات وبالتالي انخفاض معدل تنفسها .

٦- الضوء: يظهر أثره بشكل مباشر أو غير مباشر على التنفس فالتأثير الغير مباشر يتجلى من خلال أكسدة المواد المتشكلة في النبات وتأثيره المباشر على الاصطناع ولعل التأثير الحراري للضوء هو الواضح.

٧- الجروح: لوحظ ارتفاع لمعدل في الأنسجة المتضررة أو المجروحة خلال الفترة الأولى بعد الجرح بشكل كبير ولعل ذلك يفسر لارتفاع المحتوى السكري في الأنسجة المتضررة .

الآلية الكيمياءحيوية لحادثة التحلل السكري Glycolysis

- المرحلة الأولى : تشكل الفركتوز ثنائي الفوسفات

البداية غلوكوز ويتشكل غلوكوز ٦- فوسفات :

سلسلة Embden –Meyerhof and Parnas (E.M.P)

١ إذ يتفاعل الغلوكوز + ATP ← ADP + غلوكوز - ٦ - فوسفات بوجود أنزيم هكسوكيناز

غلوكوز - ٦ - فوسفات بوجود أنزيم أيزوميراز ← فركتوز - ٦ - فوسفات

فركتوز - ٦ - فوسفات + ATP بوجود أنزيم هكسوكيناز ← فركتوز ١-٦ - ثنائي الفوسفات +

ADP إذن يرافق هذه التحولات استهلاك جزئين من ATP وتحولهما إلى ADP. وتشكل فركتوز

١-٦ - ثنائي الفوسفات

٢ - المرحلة الثانية: انشطار جزئي فركتوز ١-٦ - ثنائي الفوسفات إلى جزئين تريوزفوسفات

(ثلاثي الكربون) بفعل أنزيم الألدولاز حيث يتشكل:

ثنائي هيدروكسي أسيتون - ٣ - فوسفات + ألدهيد - ٣ - فوسفوغلوسرين ويقوم أنزيم

أيزوميراز بتحويل ثنائي هيدروكسي أسيتون - ٣ - فوسفات إلى ألدهيد - ٣ - فوسفوغلوسرين

وهو الذي يستخدم في المرحلة اللاحقة

٣ - المرحلة الثالثة: يتم بهذه المرحلة أكسدة ألدهيد - ٣ - فوسفوغلوسرين إلى حامض -٣-

فوسفو غلوسرين ويقوم التميم الأنزيمي NAD بنزع H₂ من الألدهيد وتثبيت جزئي من حمض

فوسفوري H₃PO₄ على الوظيفة الألدهايدية ثم تنتزع هذه الوظيفة بعد أن يصبح لدينا حمض

١-٣ - ثنائي فوسفو غلوسرين بوجد ADP ويتحول إلى ATP وينتج لدينا

حمض ٣ - فوسفوغلوسرين

٤ - المرحلة الرابعة: " تشكل حمض الباربروفيك " نتيجة لانترع H₂O وجزئي فوسفوري من

حمض ٣ - فوسفوغلوسرين بوجود أنزيم الفوسفوغلوسرموتيز حيث يحول حمض ٣ - فوسفو

غلوسرين إلى حمض ٢ - فوسفوغلوسرين الذي يتحول بفعل أنزيم الانولاز إلى ٢ - فوسفو إينول

بروفيك بواسطة ADP ووجود الماء فينتج ATP وحمض بيروفيك .

٥-المرحلة الخامسة :وهذه المرحلة تختلف باختلاف مسلك حمض البيروفيك وتتعدد مساراته:

١-اما أن يرجع بواسطة (NADH2) ويتشكل حمض اللبن وفق المعادلة التالية:



ب-او يدخل في عملية التخمر الكحولي وهنا ينزع CO2 بواسطة بيروفيك كربوكسيلاز اذ يتشكل في البداية الدهيد الخل وبعد ذلك يرجع بواسطة NADH2 ويتشكل الكحول وفق المعادلة الآتية:

بيروفيك كربوكسيلاز

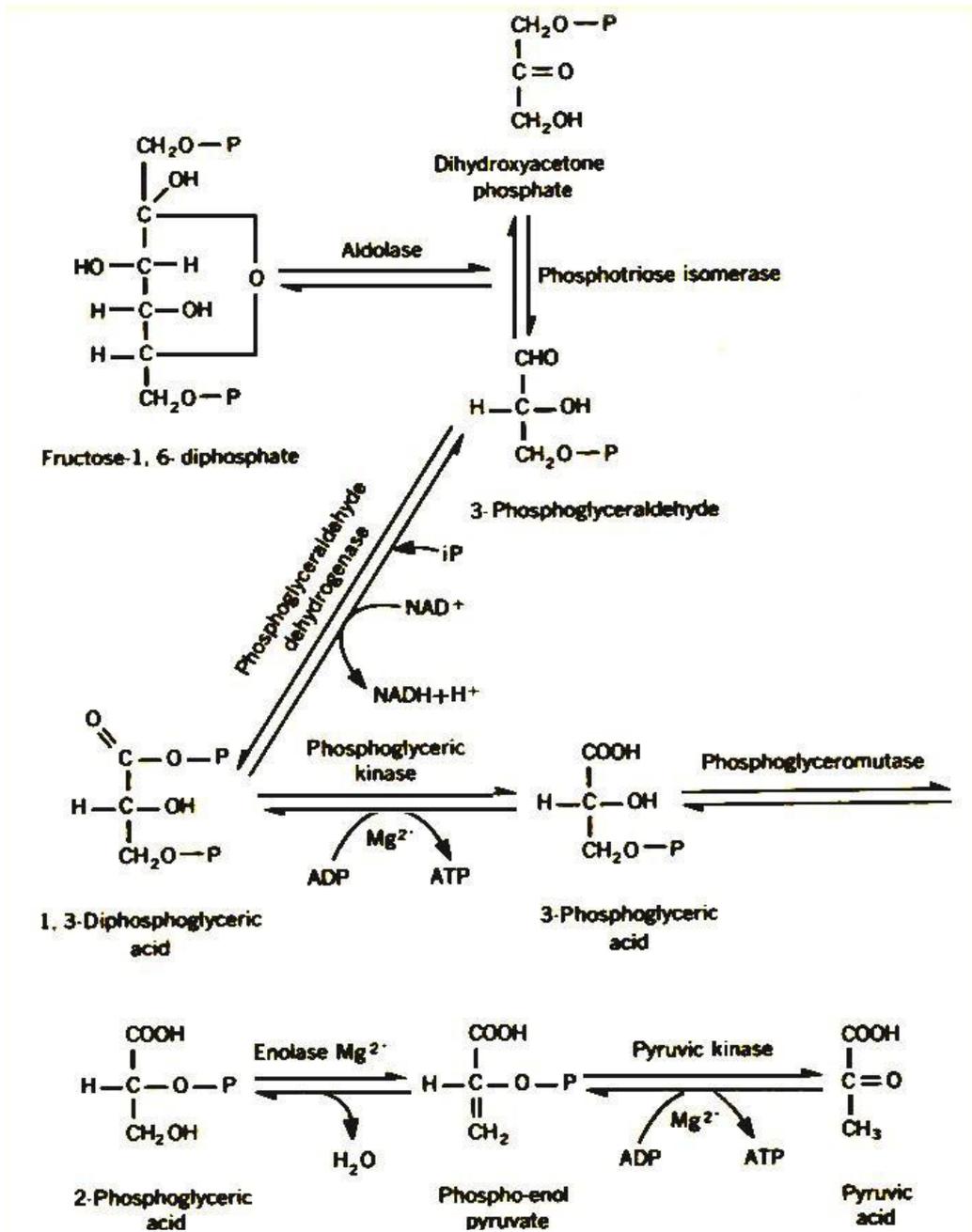


ج-او يتحول الى حمض الآلانين بعد اضافة الامين وهو حمض اميني هام.

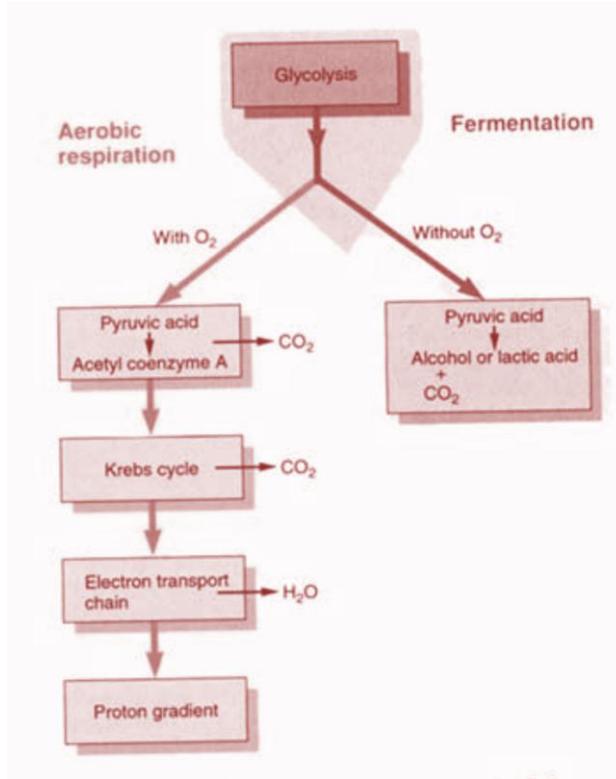
د-او يتزع الكربوكسيل بوجود الO2 حيث يتحول البيروفيك الى (استيل COA) وانطلاق

CO2 وتلعب شوارد Mg ويدخل حلقة كريس.

المخطط يوضح تشكل حمض البيريفيك بدءاً من ١-٦ ثنائي فوسفات فركتوز



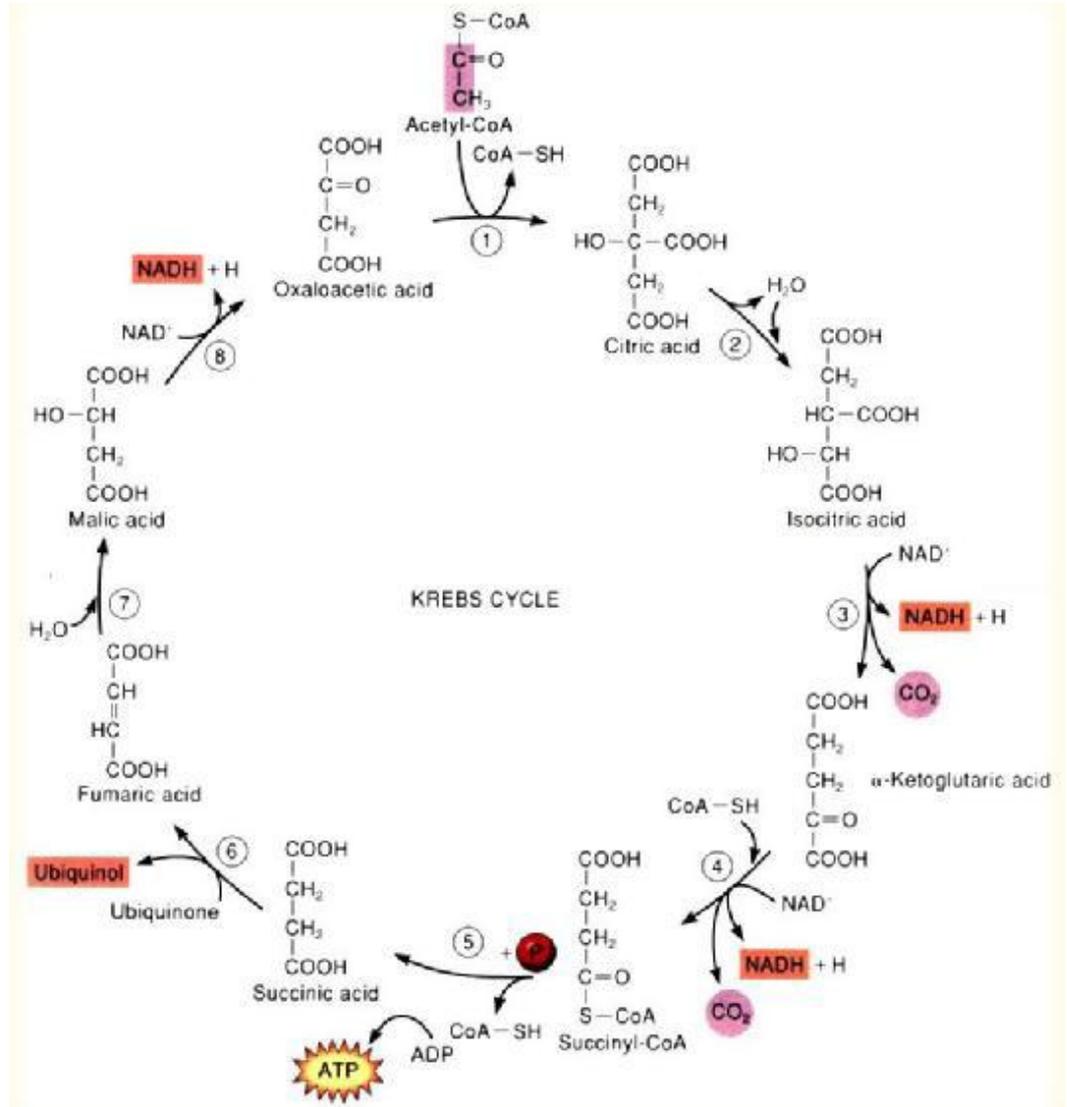
مخطط يوضح بشكل مختصر تحليل الجلوكوز بشكل مختصر



اما الجزء الأساسي من تحليل الجلوكوز فهو دخول استيل COA في حلقة كريس والتي تلخص بالمرحل التالية:

- ١- يتكاتف الأستيل COA مع حمض الأوكسالواسيتيك اسيد وبوجود الماء ويتشكل حمض الليمون (سيتريك اسيد)
- ٢- مماكبة حمض الليمون وتشكل حمض ايزو سيتريك ويتشكل مركب وسيط هو حمض الأكونيتك
- ٣- نزع الهيدروجين من حمض ايزوسيتريك وتحولته الى حمض الأوكسالوسوكسينيك بوجود (NAD) و (NADP) ويتم هذا التفاعل داخل الميتوكوندري
- ٤- نزع CO2 من الأوكسالوسوكسينيك ويتحول الى حمض كيتوغلوتاري
- ٥- نزع CO2 من حمض كيتوغلوتاري ويتحول الى حمض السوكسينيك بوجود الاوكسجين الهوائي

- ٦- نزع H₂ من حمض السوكسينيك بوجود (FAD) ويتحول الى حمض الفوماريك
- ٧- يتحول حمض الفوماريك بالإماهة ويتحول الى حمض الماليك (حمض التفاح)
- ٨- نزع H₂ من حمض الماليك ليتحول الى حمض الأوكسالواسيتيك بوجود (NAD) لتعود الدورة من جديد



مخطط يوضح تفاعلات دورة كريس

وفي نهاية عملية التنفس يكون نواتج هذه العملية قد تم تخزينها بشكل روابط غنية بالطاقة تستفيد الكائنات منها حين الحاجة ومحصلة هذه الروابط موضحة في الجدول الآتي

حساب الطاقة

المجموع	حساب الناتج من عوامل الاختزال ATP	العوامل المختزلة	الناتج ATP مباشرة	العملية
8	6 ATP	2NADH	٦ATP	الجلايكوليسيس
6	6 ATP	2NADH		أكسدة البيروفيت
24	18 ATP 4 ATP	6NADH 2FADH ₂	٦ATP	دورة كريبس
38				

التركيب الضوئي

عملية تقوم بها النباتات الخضراء دون غيرها من الأحياء وتشمل على امتصاص الطاقة الضوئية بواسطة اليخضور (الكلوروفيل) وتحويلها إلى طاقة كيميائية تخزن في ماءات الفحم اعتباراً من الماء وثاني أكسيد الكربون CO₂ وينطلق الأوكسجين وفق المعادلة الإجمالية البسيطة:

ضوء



كلوروبلاست

سؤال كيف يتم تحويل هذه الطاقة؟

يعتبر التركيب الضوئي هو عكس التنفس وبالتالي تحدد نقاط التفاعل وفقاً لما يلي:

* O₂ هو ناتج عن تفكك الماء وليس من غاز CO₂

* CO₂ يرجع بالهدرجين الباقي من تحلل H₂O ضوئياً ويدخل في تكوين المادة العضوية

على طريق تكوين الكربوكسيل

والحقيقة العلمية الأساسية هي تحلل الماء ضوئياً ويعتمد استمرار وجود الكائنات الحية النباتية على مقدرتها في اقتناص الطاقة من ضوء الشمس وتحويلها على روابط كيميائية غنية بالطاقة مثل : أدونوزين ثنائي الفوسفات ATP وإلى مرافقات أنزيمية مثل نيكوتين اميد أدنين داي نيكلو تيد فوسفات NADPH₂ هذان المركبان يؤديان من خلال التفاعلات التي يدخلان بها إلى تحويل ثنائي أكسيد الكربون إلى مواد كربوهيدراتية وتشكيل اللبنة الأساسية العضوية لتكوين المواد الأخرى مثل البروتينات والدهون والهرمونات..... تتم هذه العملية ضمن جهاز التمثيل الضوئي (البلاستيدات الخضراء) وهي عضوية ذات بنية معقدة من الأغشية والصبغات تقتنص الفوتونات وتحولها إلى طاقة كيميائية .

تركيب الصانعات: تتركب الصانعات من ٨٠ % ماء + ٢٠ % مواد جافة (٨٠ % منها

أصبغة معظمها أصبغة اليخضور و ١٠ - ١٥ % حديد ونحاس وفوسفور ومغنيزيوم) **رسم**

أهم الصبغات التي تقوم بعملية التركيب الضوئي :

أ- صبغة الكلوروفيل: تعتبر الكلوروفيلات أهم الصبغات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي وهي

تسعة أنواع مرقمة A,b,C..... لكن الكلوروفيل A,b هو الأكثر سيادة في الكائنات ذاتية

التغذية ، لون الكلوروفيل A اخضر مزرق بينما الكلوروفيل b فلونه أخضر مصفر: الصيغة

العامة للكوروفيل A هي $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

اما الكوروفيل b هي: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

ويتكون جزيء اليخضور بنوعيه من أربع حلقات بيرول تتوسطها ذرة المغنيزيوم ، أما الفرق بين النوعين A و b فيظهر في جذر الميثيل (CH_3) في الكوروفيل A أما في الكوروفيل B فيحل محله مجموعة أدهيد (COH) .

ب- صبغات الكاروتينات: هي صبغات ذات ألوان مختلفة من الأصفر حتى الأرجواني وهي مواد ذوابة في مذيبات الدهون . أهم هذه المركبات:

الليكوبين الذي يعطي الصبغة الحمراء في ثمار البندورة وصيغته الكيميائية $C_{40}H_{51}$

الكاروتين يعطي اللون البرتقالي وصيغته $C_{40}H_{56}$ ، الكزانثوفيل $C_{40}H_{56}O_2$

نواتج الاصطناع الضوئي:

الكربوهدرات + الأوكسجين

ودلت الأبحاث على أن الكربوهدرات الناتجة عن التركيب الضوئي هي الغلوكوز D- الفركتوز D - السكروز والنشاء.

والسؤال المطروح أيهما الأول : وهذا ما سيوضح خلال الدراسة الكيمياءحيوية لعملية التصنيع الضوئي ، لوحظ أن تتابع عملية تشكل الكربوهدرات وتعقيدها يتناسب طردياً مع تعرضها للضوء وأكدت تجارب عديدة أن السكروز ($C_{11}H_{22}O_{11}$) هو الذي يتكون ولوحظ أن النشاء والسكروز هما مترافقان معاً . وأن مواد أخرى غير الكربوهدرات تترافق مع تكون الكربوهدرات مثل البروتينات . إدخال الأمين في حمض البيروفيك يؤدي إلى تشكل حمض الأميني الآلانين .

- قياس معدل الاصطناع الضوئي:

يقاس معدل الاصطناع بقياس نواتج الاصطناع مثل تقدير معدل الأوكسجين المنطلق أو CO_2 المستخدم .

العوامل البيئة المؤثرة على الاصطناع الضوئي:

(الضوء - CO_2 - الحرارة) أساسية (الماء - التغذية المعدنية والأوكسجين) ثانوية

أولاً- الضوء: يتحدد ضوء الشمس المرئي بموجات طولها يتراوح بين ٣٨٠٠ إلى ٧٦٠٠ Å

(أنغستروم) ووجد أن منطقة الامتصاص الفعالة بالنسبة التركيب الضوئي محصورة بين

٤٧٠٠ - ٦٦٦٥ Å وهذه المنطقة محصورة ما بين الأخضر والأزرق من ألوان الطيف الضوئي ،

الأمواج القصيرة تحت حمراء فعلها حراري والموجات فوق البنفسجية أثرها تخريبي وليس لها

دور في التركيب الضوئي . ويؤثر الضوء على التركيب الضوئي من خلال الشدة الضوئية

(طول الموجات) والمدة فاعتماداً على شدة الضوء تقسم النباتات :

أ- نباتات الظل : تتجح هذه النباتات في الغابات احتياجها للضوء قليل وفي المناطق القطبية
ب- نباتات النصف ظليلة : تحتاج إلى شدة ضوئية أكثر من النباتات السابقة وتمثلها (الخضار
الشتوية)

ج- نباتات محبة للضوء : تحتاج لشدة إضاءة عالية وهي تمثل (الخضار الصيفية والأشجار
والمثمرة والنباتات الاستوائية)

د- نباتات محايدة : تتجح في مجالات متباينة من الشدة الضوئية مثل نبات (البطاطا) الذي
يزرع في عدة عروات.

وحسب المدة الضوئية تقسم النباتات إلى :

* نباتات نهار قصير * نباتات نهار طويل * نباتات محايدة

ثانياً - غاز CO2 : يصل تركيز CO2 في الغلاف الجوي إلى حوالي (٠,٣ %) ويلعب
دوراً أساسياً في عملية التركيب الضوئي وقد لاحظ العديد من العلماء أن زيادة تركيز غاز CO2
في الجو المحيط بالنباتات يزيد من معدل الاصطناع الضوئي حيث أخذت هذه الزيادة منحى
طردي مع زيادة تركيز CO2 إلى أن وصل إلى تركيز (٠,٥ %) كحد أعظمي

ثالثاً - الحرارة : تعتبر الحرارة من العوامل الهامة في زيادة معدل الاصطناع الضوئي وقد
قسمت النباتات حسب حاجتها :

* نباتات تنمو في مجال حراري منخفض ٨-١٦ م وهي تمثل (نباتات المحاصيل الشتوية)
* نباتات تحتاج لمجال حراري من ١٦ - ٢٥ م مثل (الخضار الصيفية والأشجار المثمرة)
لكن الفعل الحقيقي للحرارة يتجلى بأن الدرجة المثالية للتركيب الضوئي محصور ما بين
(٢٥-٣٠ م) يقل معدل الاصطناع عند ارتفاع وانخفاض درجة الحرارة عن ذلك ويفسر ذلك
نتيجة لتأثير الحرارة على الأنزيمات وتفاعلاتها خلال عملية التركيب الضوئي .

رابعاً - الماء : يعتبر الماء من العناصر الأساسية في عملية التركيب الضوئي لكن ما يستهلك
من الماء الممتص من قبل النبات لا يتجاوز ١% ، ويتجلى أثره الأساسي من خلال تأثيره على
فتح وإغلاق الثغور التنفسية المسؤولة عن عملية التبادل الغازي الضرورية للتركيب الضوئي
وخاصة CO2 .

خامساً - التغذية المعدنية : تعتبر أيضاً من العوامل الأساسية لعملية التركيب الضوئي من
خلال دور العناصر المعدنية في انتاج الخلايا وحركة النسغ الناقص تجاه الأوراق إلى دخولها
المباشر في المركبات العضوية اللازمة للخلايا ولأعضاء النباتية .

سادساً - الأوكسجين : يعتقد الكثير من العلماء أن عملية التنفس والاصطناع الضوئي
مترافقتان لكن لوحظ عند ارتفاع تركيز CO2 يثبط عملية التركيب الضوئي ويعود ذلك ليس

لزيادة معدل التنفس بزيادة الاوكسجين وإنما للمنافسة بين غاز CO2 وبروتونات الهيدروجين الناتجة في سلسلة مناقلة الالكترون مع غاز CO2 .

ودراسة هذه العوامل فيما بينها مشاب بكثير من التعقيد فجميعها مرتبط مع بعضها البعض ومن الصعوبة فصل أي عامل عن العوامل الأخرى . فالعلاقة متداخلة ويعتبر التركيب الضوئي مظهراً استقلابياً في الخلية وهنا لا بد من فهم العامل المحدد وفق نظرية بلاك مان (1905) وقد ميز بين ما يسمى (الحد الأدنى - الحد الأنسب - الحد الأقصى) لكل عامل من هذه العوامل وتأثيره على الاصطناع الضوئي ،ونظرية بلاك مان تقول : إذا ما توقفت مسيرة عملية حيوية على عدد من العوامل فإن سرعة هذه العملية تتحدد من حيث الأهمية بالعامل الأكثر ضعفاً .

مثال : ورقة تحتاج إلى ساعة لتحليل 5/سم³ من CO2 وإذا ما تعرضت خلال ساعة اعتباراً من 1 سم³ نلاحظ زيادة معدل الاصطناع مع زيادة تركيز CO2. حتى تصل إلى 5 سم³/ساعة ومهما زاد بعد ذلك تركيز CO2 فإن معامل الاصطناع لا يزداد لكن عند زيادة المدة الضوئية أكثر من ساعة نلاحظ ارتفاع في معدل الاصطناع .

والمنتقدين لهذه النظرية قالوا بعد ملاحظتهم :

* أن قيمة CO2 الأنسب تتغير مع الشدة الضوئية العليا وكذا فإن الحرارة المثلى تتغير بتغير الشدة الضوئية كذلك تبعاً لإمدادها بالماء .

* إن تعرض أجزاء النبات وخاصة الأوراق والصناعات تحديداً فيها ضمن النسيج الميزوفيل ليس واحداً لكافة هذه العوامل وذلك يعود لاختلاف توزيعها داخل الورقة وتوضع الأوراق على مختلف الأفرع .

العوامل الداخلية والاصطناع الضوئي:

١- تشريح الورقة : يتأثر معامل الاصطناع الضوئي بالمسافات البينية في نسيج الميزوفيل للورقة وتوزع الخلايا التي تضم هذه الصناعات وبعدها طبقات النسيج الحباكي والفراغي وبحجم المسام وتركيبها

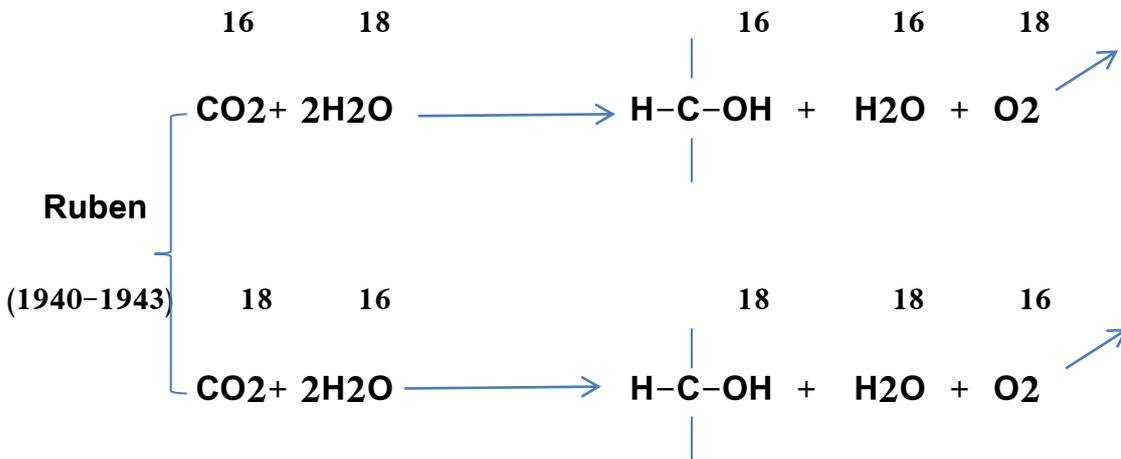
٢- العوامل البروتوبلازمية: وأهمها الجزء الأنزيمي للبروتوبلازما والذي يتجلى من خلال الجسيمات الحالة والأنزيمات الموجودة فيها ، وعلى عدد الصناعات المتوزعة في الخلية.

٣- المحتوى اليخضوري ورقم الاصطناع الضوئي : رقم الاصطناع هو عدد الغرامات من CO2 التي يمتصها 1 غ كلوروفيل خلال 1 ساعة .

٤- تراكم نواتج الإصطناع : فقد لوحظ تضائل الاصطناع الضوئي مع ارتفاع نسبة النشاء في خلايا النسيج المصنع (كلورانثيم) .

الدراسة الكيماحيوية للاصطناع الضوئي

مصدر الأوكسجين الناتج: حاول العديد من العلماء معرفة مصدر الأوكسجين الناتج من عملية التركيب الضوئي . لقد قاموا بتجارب على بعض الأشنيات ومنها أشنة الكلوريل فأمدها بماء يحوي نظير الأوكسجين O18 فلاحظوا : أن الأوكسجين المنطلق كان النظير O18 نفسه وأدكوا من خلال ذلك أنه خلال عملية التركيب الضوئي يتم تحليل الماء المستخدم وكان على رأسهم العالم روبن ووضح ذلك بالمعادلة التالية :



وبعد دراسات عديدة توصل العلماء إلى مفهوم أن عملية التركيب الضوئي عملية حيوية معقدة تقوم بها النباتات الخضراء لذلك قسموها لمرحلتين أساسيتين:
 أ- أكسدة الماء وتحرير الأوكسجين : مرحلة كيميائية ضوئية لا تتأثر بالحرارة .



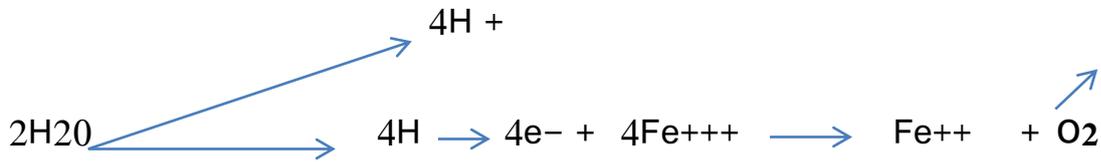
ب- مرحلة إرجاع (CO₂) إلى غليكوزيدات: وهي مرحلة كيميائية لا تحتاج للنور وتتأثر سرعتها بالحرارة



وتتم هذه المرحلة بعد أن يستقبل NADP الـ H+ من تحلل الماء ويتحول NADPH يقوم هذا المركب بارجاع CO2 في مرحلة الظلام ويكون مركب كربوهيدراتي أولي .

أولاً - مرحلة الكيمياء الضوئية:

أكد العالم هيل بعد أن عزل الصانعات وجود السكروز بكمية كبيرة واستطاع هذا العالم أن يحقق عملية الاصطناع الضوئي في صانعات خضراء معزولة حيث لاحظ انطلاق الأوكسجين عند عدم وجود CO2 شرط توفر مادة قابلة للإرجاع لاستقبال الهدروجن الناتج من تفكك الماء كمركب الحديد الثلاثي Fe+++ وحدد ذلك بمعادلة سميت باسمه معادلة هيل :



ضوء + يخضور

وتتم هذه العملية بمشاركة العديد من الأنزيمات وعلى رأسها التميم الأنزيمي NADP والذي يرجع باستقبال ذرات الهدرجين الناتج عن تفكك الماء إلى (NADPH. H +) .
ثانياً - مرحلة الظلّة :

يتم في هذه المرحلة إرجاع CO2 وبوجود ATP + (NADPH H+) ويكون هذا ATP ناتج عن الصانعات التي تقتنص الطاقة من أشعة الشمس حيث يتفاعل P + ADP معدني ولذلك سميت هذه العملية بالفسفرة الضوئية على عكس الفسفرة التأكسدية. وفي الطور المظلم الذي لا يحتاج إلى ضوء يتثبت غاز CO2 على حمض البايروفيك ويعطي حمض أوكزالوأستيك وفق المعادلة:



ثم لا يلبث هذا المركب إلى أن يتحول إلى حمض الفوسفوغليسول وقد أكد ذلك العالم كالفن باستخدام الكربون النظير وشرح آلية إرجاع CO2 فقد استعمل أشنة الكلوريل وعرضها للضوء لوضع ثوان فوجد أن الكربون المشع C14 قد لوحظ بكليته في حمض الفوسفوغليسريك وبالتالي اعتبر هذا الحمض أول منتجات التركيب الضوئي وهو حمض ثلاثي الكربون وقد تثبت غاز ثنائي لأكسيد الكربون الحاوي على النظير المشع في الجذر الكربوكسيلي لهذا الحمض COOH

ويتطلب ذلك وجود التميم الأنزيمي NADPH₂ ويتحول إلى NADP . بعد هذه المرحلة تتشكل لدينا سكريات الخماسية وعلى رأسها المركب فركتوز ١-٦ ثنائي الفوسفات وسمي هذا التفاعل بتفاعل هاردن ويونغ . بعد ذلك يتشكل لدينا السكريات الحرة كالسكروز والغلوكوز نتيجة اتحاد فوسفوغليسريد ألدريد مع بعضها .

ملخص الاصطناع الضوئي:

- ١- تحليل الماء .
- ٢- تثبيت CO₂ بالريبيلوز ثنائي الفوسفات الذي يعطي حمض الفوسفوغليسريك .
- ٣- تكثف حمض الفوسفوغليسريك ليعطي سكريات خماسية وسداسية يعود جزء من السكريات الخماسية للدخول في دورة الاصطناع الضوئي أما الجزء المتبقي منها مع السداسية فيدخلان في تشكيل السكروز والنشاء والمواد الأخرى .
- ٤- خزن الطاقة خلال عملية الاصطناع الضوئي في روابط المواد الناتجة المخزنة لهذه الطاقة وتقدر بحوالي ٦٩٦ كيلوكالوري .

لمحة عن (استقلاب الكربون) في النبات

تجري جملة من التحولات المستمرة والسريعة لكل من السكريات والدهم والشحوم حيث يكون الانتقال من نوع إلى آخر عملية حيوية تقوم بها الخلايا النشطة وظيفياً ويستفاد منها في تكوين البروتينات وغيرها من المواد الوظيفية . أهم هذه التفاعلات داخل الخلية:

١ - تكون الاسترات المفسفرة: وتعتبر هذه التفاعلات وخاصة في دورة التنفس حيث يتم فيها تشكل مركب هام حيويًا هو غلوكوز -٦- فوسفات بوجود الغلوكوز و ATP .

٢ - تكون وتحلل سكر القصب (السكروز) : يلاحظ هذا السكر كما لاحظنا خلال عملية الاصطناع الضوئي أنزيم السكراز

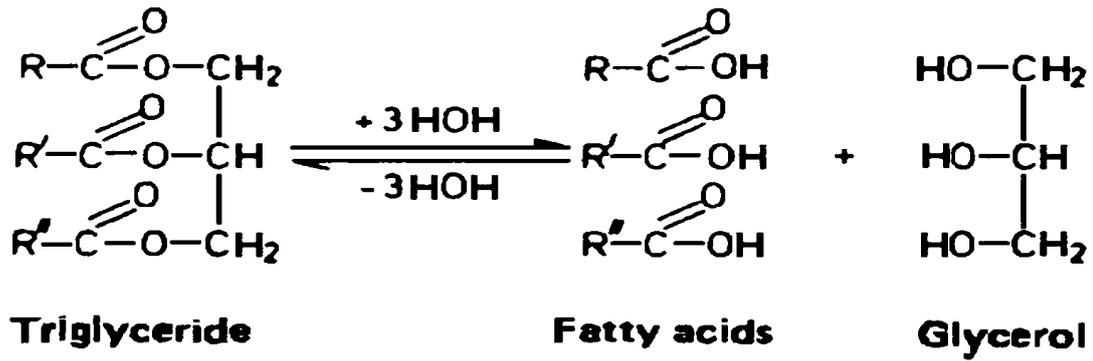
ويتكون من غلوكوز-١ فوسفات + فركتوز ← سكروز + فوسفات

٣ - تكون وتحلل النشاء: يتكون النشاء من غلوكوز-١- فوسفات بفعل أنزيم ألفاغلوكوزان فوسفوريلاز حيث تتحد مئات من جزيئات غلوكوز -١- فوسفات لتكوين النشاء ويتحلل النشاء إلى دكستريانات ومالتوز بواسطة أنزيم الأميلاز .

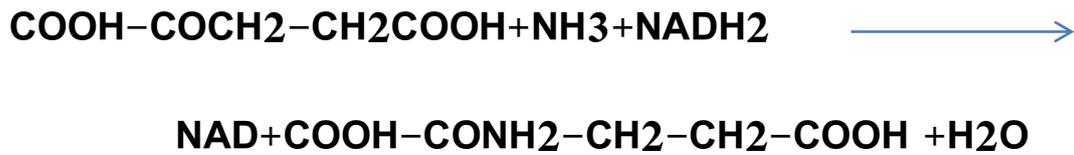
استقلاب الحموض الدسمة

تشكل المواد الدسمة ما نسبته ٥٠% من الوزن الجاف وهي مواد غنية بالطاقة وتتشكل في النباتات مجموعة من الحموض الهامة كحمض البايروفيك وحمض الغليسريك والحموض في حلقة كريبس (الثلاثية الكربوكسيل) فحمض الخل يدخل بشكل فعال على شكله أستيل COA ينتقل من الحموض الثلاثية الفحم إلى حموض دسمة ذات سلاسل طويلة

وتعتبر الدهون والزيوت مواد غنية بالطاقة لذلك تدخر في البذور والثمار و ١ غ من الدهن يحرق ٩ كالوري في حين أن ١ غ سكر يحرق ٤ كالوري . والفرق بين الدهون والزيوت يكون من حيث القوام والصلابة وما تحتويه من روابط غير مشبعة فالزيوت عبارة عن أسترات لحموض دسمة مترابطة مع بعضها وينشأ الدهم من الغليسرين والحموض الدسمة خلال عملية التنفس كما في المعادلة التالية حيث R هو حمض دسم مرتبط مع الغليسرين والغلوسرين ينشأ في دورة تحلل الغلوكوز على حساب مركب ثنائي هيدروكسي أسيتون بعد نزع الهيدروجين منه وإماهته ويقوم بذلك أنزيم الفوسفاتاز .



استقلاب الآزوت : إن استقلاب الآزوت يعني تكوين البروتينات ومصدر الآزوت الرئيسي للنبات هو النترات وأملاح الأمونيوم أولى خطوات استقلاب النترات وتصنيع البروتينات إرجاع النترات إلى نترت وتتم هذه العملية إما في الجذور أو في الأعضاء الخضراء وخاصة في نسيج الميزوفيل ويتشكل بعد ذلك حمض أميني هو ألفاغيتوغلوتامين على حساب حمض ألفاغيتوغلوتارين **وفق المعادلة الآتية:**



تتكاثف الحموض الأمينية مع بعضها عن طريق زمرة الأمين مع زمرة الكربوكسيل بالتسلسل ليتشكل لدينا بروتينات في سلاسل عديدة جداً تملك وزن جزيئي كبير .

النمو والتطور في النبات

النمو: الزيادة الذي يطرأ على أقسام النبات المختلفة كنمو الساق والجذور والأفرع تكون هذه العملية مسبوقة بالتكاثر والانقسام .

التطور: هو التحول الذي يطرأ على الأعضاء النباتية وانتقالها من مرحلة لأخرى كانتقال النباتات من الطور الخضري إلى الطور الزهري ويعتبر كل من النمو والتطور مرحلتين مترافقتين فمظاهر النمو تتجلى بزيادة الحجم وزيادة الوزن أما التمايز فهي مرحلة لاحقة بعد النمو حيث تتخصص الخلايا لتشكل أنسجة تؤدي وظيفة معينة ويعتبر النمو تغيرات كيفية في النبات أما التطور فهو تشكل أعضاء جديدة تغاير السابقة فتشكل الأزهار هو تغير داخلي في المرستيم المشكل لها دون زيادة في الحجم

مناطق النمو ومراحله: تتميز النباتات الراقية بأن :

١- مناطق النمو تتحصر في نقاط محددة مثل اطراف الجذور وقمم السوق ومناطق الكامبيوم

٢- يستمر النمو طوال حياة النبات

مراحل النمو: هي ثلاث مراحل : الانقسام - الازدياد في الحجم - التمايز

أ- **مرحلة الانقسام :** يحصل في المرستيمات الأولية وتعطي بنيات ابتدائية أو **أولية**

آلية النمو الابتدائي: تتجلى في الجذور وقمم السوق حيث يحصل انقسام للمرستيم ليعطي

البروكامبيوم الذي يشكل النسيج الناقلة وخلايا المرستيم لها ميزات:

* صغر الحجم * رقة الجدران * متساوية الأبعاد * ندرة الفجوات أو صغرها * كبيرة النوى

* ليس بينها مسافات بينية * تنقسم باستمرار

تتواجد في قمم الجذور يلي هذه المنطقة منطقة الاستطالة وهي المسؤولة بتناولها عن تمايز

النسيج الناقلة مشكلة الأنسجة الغريالية والخشبية الأولية، حيث يتشكل الخشب في منطقة

الاستطالة بينما يتشكل **الغريال في منطقة الانقسام قبل الخشب** اما النمو الابتدائي في السوق

فهو يشمل إضافة لازدياد طول الساق تشكل الاوراق والاعضاء الجانبية الاخرى فقمم السوق

حيث الميرستيم الأولي لا يتجاوز طولها بضعة ميكرونات يتحول جزء منه إلى بروكامبيوم

مباشرة يعطي النسيج الوعائية الابتدائية وهذه المنطقة (القمم النامية) تملك نفس مواصفات قمم

الجزور وتتميز أيضاً منطقة الانقسام في قمة الساق بأنها مسؤولة عن النمو العرضي من خلايا بدائية تعطي الكامبيوم المسؤول عن النمو الثانوي ويزداد حجم الخلايا أثناء الانقسام نتيجة استطالة الخلايا المنقسمة والخلايا الأصلية في قمة السوق هي خلايا كامنة تتحول مباشرة إلى مرستيم انتظار أما منطقة الانقسام المتوضعة في مركز القمة النامية فهي الحلقة المولدة للأوراق ويوجد في المركز مرستيم شعاعي يشكل الكامبيوم الداخلي ويعطي البداءات الورقية التي تشكل الأوراق وجميع هذه الأنسجة تتوضع في البراعم المحاطة بأوراق حرشفية .

ب- مرحلة الازدياد في الحجم : عند انبات البذرة اول ما يظهر الجذر الابتدائي ويمتد على المحور السفلي للنبات يستطيل نتيجة لتطاول ويزداد في القطر وتظهر الفروع الجانبية عليه لتشكل الجذور الثانوية وتسمى هذه الاعضاء المجموع الجذري الابتدائي ، وتنشأ الجذور الجانبية من نسج تختلف عن النسج التي تنشأ منها الافرع الجانبية حيث تتشكل الجذور الثانوية من نسيج داخلي بينما الأفرع تنشأ من نسيج سطحي يتحكم بها هرمونات تفرزها النباتات أو تكون موجودة أصلاً في البذرة . تتوضع البراعم المنشئة للأفرع في أباط الأوراق حيث يكون البرعم مكون من صفيين من الخلايا المرستيمية على جانبه بداءات الاوراق وفي الوسط مرستيم مسؤول عن النمو .

النمو الثانوي في معرات البذور وثنائيات الفلقة : تتميز هذه النباتات بنمو جانبي أو عرضاني (ازدياد في قطر النباتات) ويتحكم بذلك المرستيمات الثانوية وهي المرستيم الذي يعطي الخشب والغريال الثانويين وهو كامبيوم ما بين الحزم ، يتركب عادة من طبقة سمكها خلية واحدة بين اللحاء والخشب وخلايا هذه الطبقة نموذجان : خلايا متساوية الأبعاد تشكل الأشعة الوعائية وهي قليلة العدد ، خلايا مغزلية تشكل النسبة العليا من هذا الكامبيوم وتعطي الغريال والخشب الثانويين ينقسم الكامبيوم الثانوي في اتجاه عمودي على القطر ليعطي غريال للخارج وخشب للداخل . ويستمر هذا الكامبيوم طوال حياة النبات ويزداد قطر السوق نتيجة إضافة طبقات جديدة فالغريال المسن ينسلخ مع القلف وبالتالي فإن كتلة الساق أو الجذر المسن تتكون من الخشب الثانوي فحسب ويلاحظ أن كمية الخشب التي ينتجها هذا الكامبيوم عدة اضعاف مما ينتجه من عناصر الغريال مما يؤدي لدفع الكامبيوم نحو الخارج وتوسع حلقة الكامبيوم عندها وتستطيل خلايا هذه

الطبقة أما المرستيم الثانوي الآخر فهو المرستيم الفليني ينشأ إما من بشرة أو من خلايا تحت البشرة يعطي الفلين نحو الخارج والفلوجين نحو الداخل والفلين عبارة عن طبقة خلايا ميتة تحمي النسج الحية أما الفلوجين : هو خلايا حية يبقى مستمراً طوال حياة النبات وأهم مميزات المرستيمات الثانوية بأن خلايا متمايضة أكثر من المرستيمات الابتدائية وفجواتها أكبر وأنويتها تتركز في جوانب الخلايا

قياس النمو

تستخدم عدة طرق لقياس النمو أهمها : قياس أطوال الأعضاء النباتية كالأفرع والجذور - حساب اقطارها وحجمها - حساب مساحة المسطح الورقي - حساب الوزن الجاف والرطب ، وتستخدم هذه المؤشرات ومدلولات من الناحية الاقتصادية وذلك بغية معرفة الطاقة الانتاجية للنباتات المدروسة وتعتبر معرفة الوزن الجاف ومعرفة المسطح الورقي دليل أساسي في حساب كفاءة التركيب الضوئي حيث يتم حساب الوزن الجاف لجميع أعضاء النبات (أوراق ، جذور ، أفرع ، ثمار...) كل على حده.