جامعة الانبار

كلية الزراعة

# محاضرات فسلجة نبات

## اعداد : د. بشرى شاكر جاسم العبيدي

مفردات المنهج

المحاضرة الاولى : نبذة تاريخية عن علم فسيولوجيا النبات – الخلية النباتية اجزائها ومكوناتها

المحاضرة الثانية : الخلية النباتية اجزائها ومكوناتها

المحاضرة الثالثة: الجدار الخلوي

المحاضرة الرابعة : امتصاص وانتقال الماء– ميكانيكية انتقال الماء– المسلك المائي.

المحاضرة الخامسة: صعود العصارة النباتية (نسيج الخشب) – نظريات صعود الماء

المحاضرة السادسة: صور فقدان الماء – النتح –حركة اثغور

المحاضرة السابعة: ميكانيكية الثغور – العوامل المؤثرة على معدل النتح– االدماع

المحاضرة الثامنة: البناء الضوئي

المحاضرة التاسعة: التغذية المعدنية

المحاضرة العاشرة: التنفس

المحاضرة الحادية عشر: الانزيمات

المحاضرة الثانية عشر: انتقال وتوزيع نواتج البناء الضوئي (العصارة اللحائية)

لمحاضرة الثالثة عشر: منظمات النمو النباتية

المحاضرة الرابعة عشر: نمو وتطور النبات

المحاضرة الخامسة عشر: مفاهيم فسيولوجية

# المحاضرة الاولى

**علم فسيولوجيا النبات**

**مقدمة**

علم فسيولوجيا النبات Plant physiology هو احد فروع علم النبات ويعنى بدراسة وظائف الخلايا والانسجة والاعضاء المختلفة للنبات وكيفية ادائها لوظائفها وكذلك العلاقة بين التركيب والوظيفة وكيفية توزيع العمل بين الخلايا المتنوعة وتعاونها معا ليكمل النبات نموه ويتم دورة حياته بالاضافة الى دراسة الاجهادات البيئية على سلوك وانتاجية النبات.

علم فسيولوجيا النبات Plant physiology او علم وظائف النبات و اعضائه، هو من اهم العلوم الخاصة بالانتاج النباتي وعوامل تكيفه، اذ يختص بدراسة وتوضيح وظائف اعظاء النبات وانسجته وخلاياه المختلفة والعمليات الحيوية التي تتم فيها وكيفية حدوثها ودور كل منها منفردة ومجتمعة، وربطها بالظروف البيئية المحيطة بالنبات، وذلك بغية توجيه هذه الوظائف من قبل الانسان بافضل الوسائل لتحسين نمو النباتات بهدف الحصول على اعلى مردود ممكن كما ونوعا مما يساعد على زيادة الانتاج الزراعي ويجاري مشكلة ازدياد السكان. ومن مهام هذا العلم تفهم اليات عمليات الايض داخل النبات، ويتضح هذا الدور اذا علمنا ان اكثر من ربع مليون طن من الكاربون يقتنصها النبات يوميا من الجو ليحولها بابداع الى مركبات غنية بالطاقة بعمليات البناء الضوئي والتنفس مستفيدا من الطاقة الضوئية، ويعد ذلك من دون شك المصدر الوحيد للانسان لسد احتياجاته من السكريات والدفء والطاقة للقيام باعماله الحيوية واليومية المختلفة حيث ان النباتات تنتج بصورة مباشرة او غير مباشرة كل الغذاء الذي ياكلة الانسان والحيوان فالنباتات هي الكائنات الوحيدة التي تقوم بتصنيع غذائها بنفسها وذلك عن طريق عملية البناء الضوئي.

وعلم فسيولوجيا النبات له اهمية كبرى في مجال العلوم الزراعية التطبيقية ويضع الاساس العلمي للعديد من العلوم التطبيقية بهدف زيادة المحصول ومقاومة الظروف غير الملائمة ويبحث هذا العلم في كيفية امتصاص النبات للماء والذائبات بواسطة الجذور وانتقال وفقد الماء من النبات وعمليات الايض مثل بناء وهدم المركبات العضوية ويضع تفسير لعمليات النمو في النبات.

وقد سهم علم فسيولوجيا النبات بدور رئيسي في حل كثير من المشكلات التي تواجه العاملين في الزراعة، وكان ومازال عونا لهم في تعليل ما يدور من انحرافات في نمو النبات عموماً.

من المواضيع التي تدخل ضمن نطاق هذا العلم:

- الخلية النباتية
- علاقة النبات بالماء
- تغذية النبات
- البناء الضوئي
- التنفس في النبات
- نمو النبات الاحساس والحركة في النبات
- الهرمونات النباتية ومنظمات النمو
- استجابة النبات للعوامل البيئية المختلفة من حرارة ورطوبة واجهادات....

## الخلية النباتية

### تمهيد

الخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية الاساسية للحياة، فهي اصغر تركيب قادر على النمو والتكاثر ويعتبر هذا المفهوم جزء من نظرية الخلية التي اقترحها في مطلع القرن التاسع كل من عالم النبات ماتياس شليدينMthias Schleiden وعالم الحيوان تيودور شوان Thedor Schwannوقبل ظهور نظرية دارون وتعتبر نظرية الخلية ونظرية التطور والنشور هما العلوم الحيوية البيولوجية الحديثة. في الكائنات وحيدة الخلية تعتبر الخلية كائن حي كامل بينما في الكائنات عديدة الخلايا يوجد تجمع لعدد كبير من الخلايا المختلفة والتي تنتظم في منظومة دقيقة في تعاون شديد فيما بينها مكونة انسجة مختلفة( نسيج مجموعة من الخلايا المقترنة معاً ولها نفس الاصل وتشارك في اداء وظيفة اساسية واحدة) وتنتظم عدة انسجة مختلفة لتكون عضواً، والاعضاء المختلفة تكون جسم الكائن الحي نباتاً كان او حيواناً، كما ان الخلايا تشترك ايضا في عملية النمو Growth والتطور Development او التغيير التشكيلي Morphology لهذه الكائنات عديدة الخلايا من خلال تفاعلاتها الكيموحيوية وتخصصاتها الوظيفية، فليس من المدهش اذن حجم وشكل النبات يتحدد اساساً بعدد ومورفولوجيا وتركيب الخلايا النباتية وليس من المدهش حقاً وجود علاقة بين التركيب الخلوي والوظيفة. لذلك فان فهم تركيب وفسيولوجيا النبات يتوقف على فهم الاساس التركيبي والوظيفي لوحدة بناء جسم النبات الا وهي الخلية، وقد ساعدت التقنيات الحديثة في الفحص باستخدام الاجيال المتعاقبة من الميكروسكوب الالكتروني على كسب كماً هائلا من المعلومات في مجال دراسة الخلية النباتية.

### لمحة تاريخية

اول من شاهد الخلية تحت المجهر هو العالم الانجليزي روبرت هوك عام 1665عند فحصة لقطاع في نسيج الفلين حيث مشاهدها كفراغ محدد بجدار يشبة الحجرة الصغيرة اطلق عليها اسم الخليةCell ، اتضح له بعد ذلك ان خلية الفلين هي خلية ميتة عندما قارنها بخلايا اوراق بعض النباتات حيث لاحظ ان خلايا الاوراق تحتوي على على سائل اطلق عليه اسم عصير Juice والذي اطلق عليه هانشتاين عام 1880 مصطلح البروتوبلاستProtoplast وهو مصطلح يطلق حاليا على جميع محتويات الخلية عدا الجدار الخلوي، ومن ثم زاد الاهتمام بدراسة هذا السائل حيث اكتشف روبرت براون عام 1831 جسماً كروي اطلق علية اسم النواة عند فحصه لخلايا بشرة نبات من جنس الاوركيد كما ميز هوجو فون مول عام 1846 بين البروتوبلازم و العصير الخلوي cell sap ثم اقترح كوليكر عام 1862 اطلاق اسم السيتوبلازم Cytoplasm على المادة التي تحيط بالنواة ومن ذلك التاريخ وحتى يومنا الحاضر توالت الاهتمامات بدراسة الخلية التي نتج عنها العديد من الاكتشافات لمحتويات الخلية سواء كان ذلك بالمجهر الضوئي اول المجهر الكتروني مما جعل دراسة الخلية علماً قائما بذاته.

### نظرية الخلية Cell Theory

هي نظرية اشترك في وضعها عالمان المانيان احدهما عالم نبات هو Schleiden والاخر عالم حيون هو Schwann عام 1839 وتتلخص مبادىء هذه النظرية في النقاط التالية:

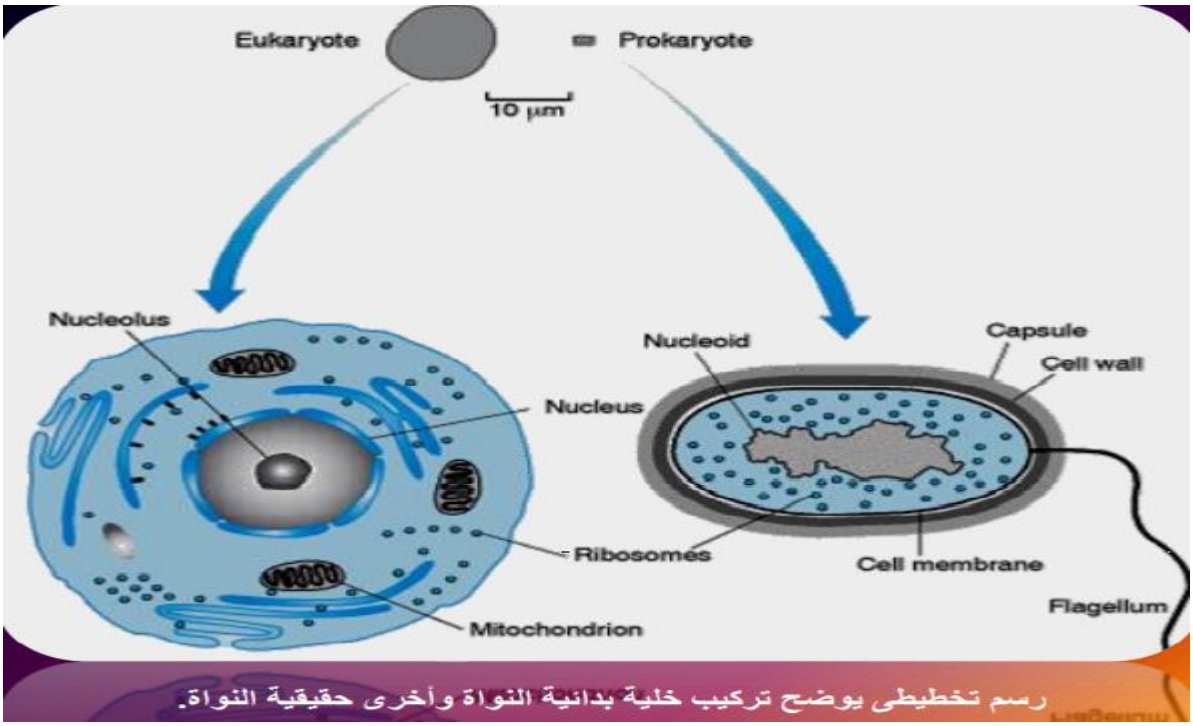
1- الخلية هي وحدة بناء جسم الكائن الحي 2- الخلية تقوم بجميع العمليات الحيوية

3-الخلايا تنشا من انقسام خلايا سابقة اي ان الزيادة في عدد الخلايا يحدث نتيجة انقسام الخلايا.

ونظرية الخلية نظرية عامة تنطبق على كل الكائنات الحية نباتية كانت او حيوانية، وهناك كائنات وحيدة الخلية (كائنات اولية) واخرى عديدة الخلايا، وقد يقتصر تركيب الكائن عديد الخلايا على عدد محدود منها كما في مستعمرة طحلب باندورينا وهو من الطحالب الخضراء ويتكون من 16 خلية فقط ، في حين يرتفع العدد في كائنات اخرى مثل النباتات والحيوانات الراقية لدرجة يصعب معها حصره بدقة، والكائن الحي مهما كبر حجمه نشا في وقت ما من خلية واحدة(الزايكوت) انقسمت وكونت الجنيني الذي بانقسام خلاياه ونموها وتشكلها كون الكائن الضخم نباتً كان او حيوان.

وقد ادى التقدم في بعض العلوم مثل الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزيئية وفي وسائل البحث العلمي والفحص بالمجهري الالكتروني الى اكتشاف اختلاف كبير في تركيب وسلوك الخلية البكتيرية عن خلايا الكائنات الحية الاخرى مما ادى الى تقسيم الكائنات الحية الى مجموعتين متميزتين هما :

1- كائنات بدائية النواة 2- كائنات حقية النواة



رسم تخطيطي يوضح تركيب خلية بدائية النواة وأخرى حقيقية النواة.

أهم الاختلافات بين الخلية بائية النواة والخلية حقيقية النواة

يتكون الجهاز الحامل للصفات الوراثية(النواة البدائية) في البروكاريوتات من خيط واحد مزدوج من DNA غير مرتبط مع RNA ولايفصله عن السايتوبلازم اي غشاء، وكثيرا ما يكون الجهاز الوراثي بالخلايا على شكل حلقة ويعرف حينئذ بالكرموسوم الدائري.

1) تفتقر البروكاريوتات الى الانقسام الميتوزي وتكوين خيوط مغزلية وتتكاثر بالانقسام الثنائي البسيط والتكاثر الجنسي غير الشائع ويكون غير كامل بحيث تحدث توافيق جزيئية بين المادة الوراثية للاخلايا اذا ما حدث اقتران بين فردين.

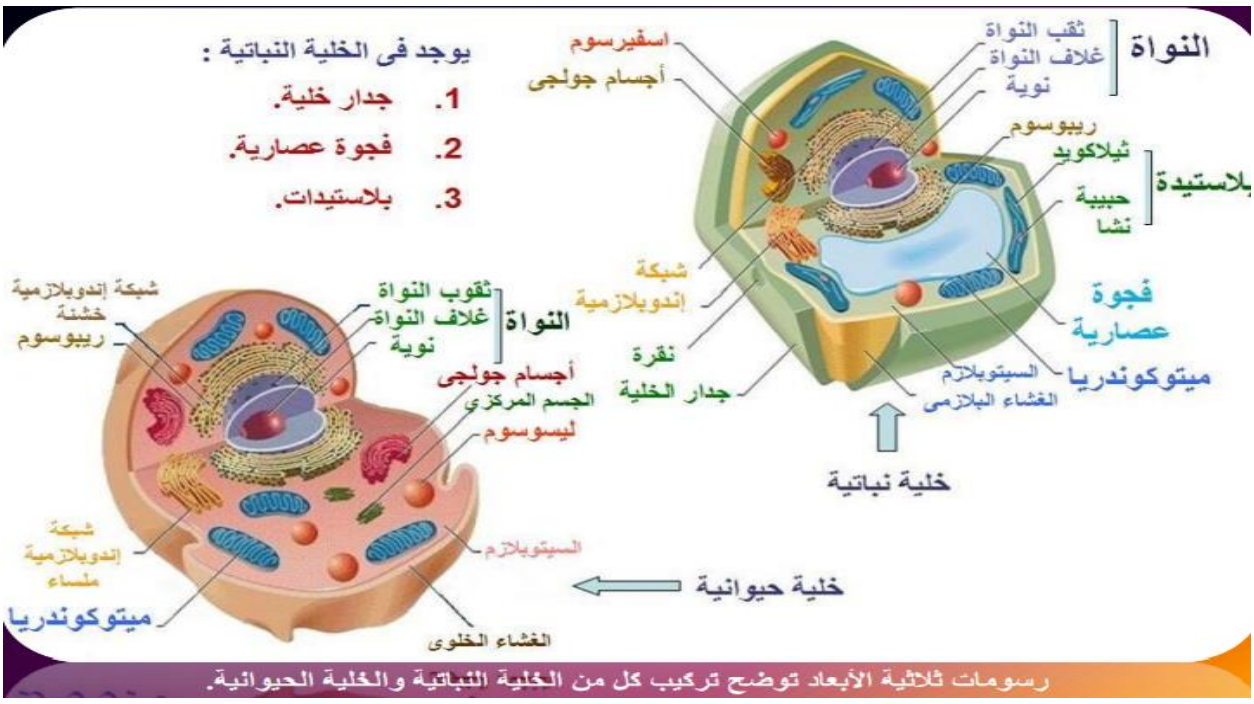
2) تفتقر خلايا البروكاريوتات الى العضيات الغشائية مثل المايتوكوندريا والبلاستيدات واجسام كولجي والشبكة الاندوبلازمية والفجوات العصارية.

3) الغشاء البلازمي ينثني مكونا طيات تسمى جسيمات المتوسطة Mesosomes تحوي انزيمات لانتاج الطاقة اي تقوم بعمل المايتوكوندريا في الكائنات ذات الانوية الحقيقية او تحتوي على صبغات او انزيمات خاصة بالبناء الضوئي فتقوم بعمل البلاستيدات الخضراء في النبات الراقي.

4) الرايبوسومات في البروكاريوتات صغيرة الحجم وذات ثابت ترسيب قيمته 70 S وهو يعبر عن الحجم الرايبوسومات حيث تدل على السرعة التي تترسب بها خلال الطرد المركزي فكلما كبرت قيمة S كانت الريبوسومات الكبر حجما، بينما ثابت الترسب في اليوكاريوتات قيمته 80 S .

5) تحاط خلايا البروكاريوتات بجدار خلوي غير سليلوزي يتكون من سكريات عديدة ببتيدية تسمى Peptidoglycans (PG) وهذه المادة تكسب جدار الخلايا صفات خاصة اذ يكون صلبا قويا وغير مرن .

الخلايا الحقيقية تتميز بوجود نواة حقيقية محاطة بغشاء او غلاف نووي به ثقوب يقسم بروتوبلازم الخلية الى قسمين اساسين هما النواة والسايتوبلازم ، ويحاط السايتوبلازم بالغشاء البلازمي ويحاط الغشاء البلازمي من الخارج في الخلايا النباتة بجدار صلب ويعرف "بجدار الخلية " حيث تتخلله نقر او قنوات تمر بها خيوط بروتوبلازمية تعرف بالبلازموديزمات Plasmodesmata. اما الخلية الحيوانية فلا تحاط بمثل هذا الجدار بل تحاط بغشاء بلازمي يغطي جزء منه بغشاء خلوي حيواني يعرف باسم Extraneous–coat. تحتوي الخلايا حقيقية النواة نباتية كانت او حيوانية على عضيات خلوية غشائية مثل المايتوكوندريا واجسام كولجي والريبوسومات وغيرها، الا ان هناك اختلافات تركيبية بين الخلية النباتية والخلية الحيوانية.



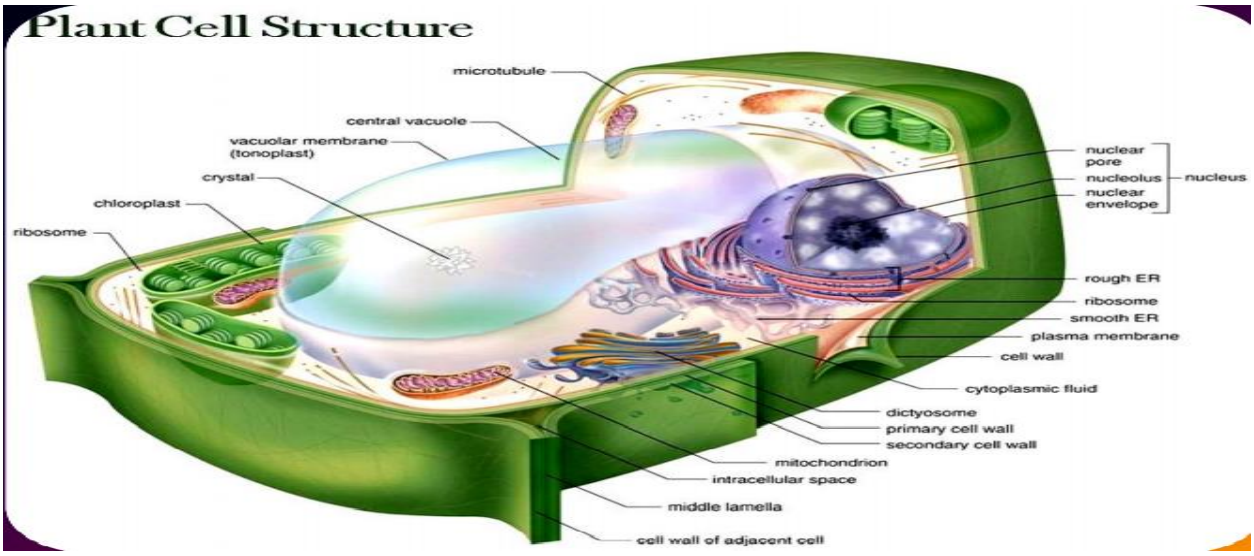
| وجه المقارنة | الخلية النباتية | الخلية الحيوانية |
| --- | --- | --- |
| الجدار الخلوي | يوجد لها جدار سليلوزي منفذ يليه من الداخل غشاء بلازمي ذو نفاذية اختيارية | لايوجد لها جدار سليلوزي ولكن يوجد غشاء بلازمي ذو نفاذية اختيارية |
| البلاستيدات | تحتوي على بلاستيدات | لاتحتوي على بلاستيدات |
| الفجوات العصارية | تحتوي على فجوات عصارية وفي الخلايا البالغة توجد فجوة مركزية كبيرة | لاتوجد فجوات وان وجدت فهي صغيرة الحجم وعادة توجد في الحيوانات الاولية وحيدة الخلايا التي تعيش في الماء العذب |
| الجسم المركزي | لايوجد جسم مركزي | يوجد جسم مركزي |

# المحاضرة الثانية

## الخلية النباتية اجزائها ومكوناتها

### الخلية النباتية Plant cell

يتكون جسم النبات الراقي من مجموعة أعضاء Organs هي الجذور والسيقان والاوراق والازهار والثمار، وكل عضو يتكون من مجموعة من الانسجة Tissues، ويتكون النسيج من مجموعة من الخلايا التي لها نفس الاصل وتشترك في اداء وظيفة اساسية واحدة، لذا تعتبر الخلية النباتية هي الوحدة التركيبية والوظيفية للنبات حيث تتميز بقدرتها الكامنة او الظاهرة على القيام بجميع الوظائف الحيوية اللازمة لصفة الحياة. ويمكن وصف حياة الخلية النباتية بانها مجموعة من التفاعلات الكيموحيوية المختلفة والمتزامنة في تناسق دقيق، وبعبارة ابسط فان الخلية فسيولوجيا هي وحدة بيولوجية ذات كفاءة متكاملة وعالية ومكيفة للنمو والتطور، وتختلف الخلايا في الشكل والوظيفة والحجم. وقد ساعد المجهر الالكتروني في الحصول على تصورا مجسما عن التفاصيل الدقيقة لما تحتويه الخلية النباتية، حيث تتميز داخليا الى اجزاء مميزة تظهر وظائف مختلفة فالمادة الوراثية ( DNA& RNA) توجد ضمن النواة المحاطة بالغشاء النووي Nuclear membrane ، ويقوم بالبناء الضوئي عضيات صغيرة ذات شكل مميز هي البلاستيدات الخضراء Chloroplasts وتحاط هي الاخرى بغشاء يفصلها عن السيتوبلازم، كما يتم التنفس في الخلية عن طريق عضيات صغيرة محاطة بغشاء المايتوكوندريا Mitochondria، وتفرز مواد الجدار الخلوي من جسيمات خاصة تاخذ صفة غشائية هي الدكتيوسوماتDictyosomes، ويتم تكوين البروتين بواسطة الرايبوسومات Ribosomes والشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum (E.R.) وجميع هذه العضيات الغشائية مغموسة في مادة سائلة هي البلازما الاساسيGround plasma . وبعبارة اخرى فان الوظائف الحيوية تتم في جسيمات او عضيات منفصلة ومنتظمة التركيب ومتعاونة للعمل بايقاع متزن بيولوجيا على مستوى الخلية بل وكثيرا على مستوى النسيج النباتي، وان النواة هي اساس التحكم في العوامل الوراثية وبالتالي التحكم في الانقسام والوظائف الفسيولوجية والنمو.



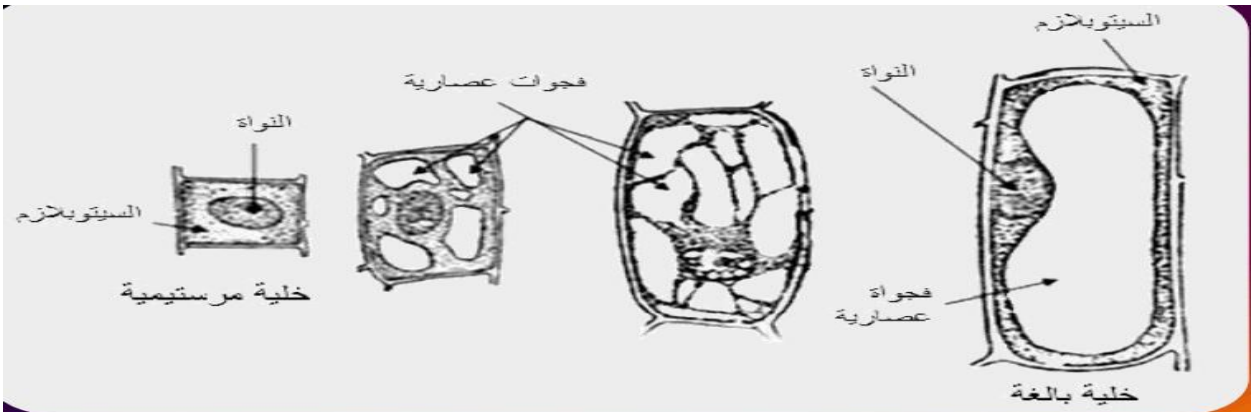
**مراحل نمو الخلية النباتية**

تمر الخلية النباتية في نموها بثلاثة مراحل:

**المرحلة الانشائية:** تحدث هذه المرحلة في مناطق النمو بجسم النبات وهي قمم السيقان والافرع والجذور وكذلك بدايات الاوراق والبراعم وهي مناطق تتكون من خلايا مرستيمية تتميز بانها رقيقة الجدار الخلوي، صغيرة الحجم، تحتوي على انوية وسطية، النواة تبدو كبيرة الحجم نظرا لصغر حجم الخلية، تحتوي على سيتوبلازم كثيف، تظهر بها فجوات عصارية صغيرة وتشاهد بينها مسافات بينية دقيقة اذا ما فحصت باستخدام المجهر الالكتروني. وظيفة الخلايا المرستيمية هي الانقسام وتكوين خلايا جديدة تنمو وتتشكل لتبني جسم النبات.

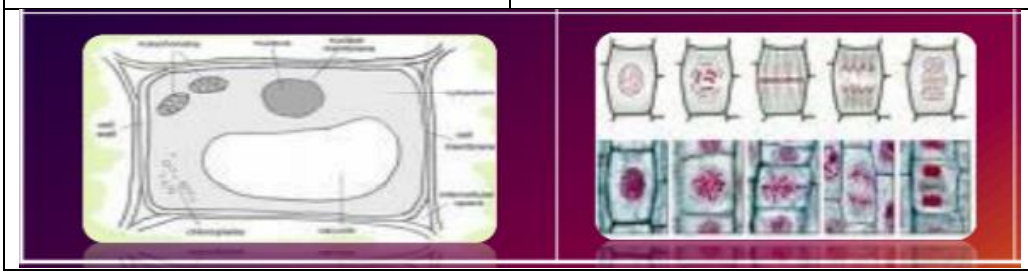
**مرحلة الاستطالة (التحول الى خلايا بالغة):** تنمو الخلايا الناتجة من الانقسام وتزداد في الحجم نتيجة انتقال الماء والذائبات اليها من الخلايا المجاورة والوسط والمحيط بها فتتمدد محتوياتها الداخلية وتضغط على الجدار الخلوي فيتمدد بدوره مسببا اتساع الخلية ( جدار الخلية في هذه المرحلة جدار ابتدائي رقيق يمتاز باللدونة والمطاطية حتى لايعوق الخلية عن الاستطالة)، يتجمع الماء والذائبات في بادىء الامر داخل فجوات عصارية صغيرة تظهر على شكل هيئة قطرات ثم تزداد في الحجم تدريجيا باستمرار دخول الماء والذائبات الى الخلية مما يؤدي اندماج بعض الفجوات معا مكونة فجوات اكبر تكسب السيتوبلازم كظهرا شبكيا وتظهر النواة في وسط الخلية ممسوكة ببعض خيوط السيتوبلازم، ومع استمرار دخول الماء والذائبات الى الخلية يزداد حجم الفجوات العصارية فتندمج مع بعضها في النهاية مكونة فجوة واحدة كبيرة وسطية تدفع السايتوبلازم والنواة بجوار جدار الخلية.

يصاحب زيادة الخلايا في الحجم حدوث تغير في شكلها نتيجة تزاحم الخلايا اثناء نموها وضغطها على بعضها البعض، ويؤدي التغير في شكل الخلايا اثناء نموها الى حدوث انفصال جزئي للصفيحة الوسطى التي تلصق الخلايا المجاورة ببعضها مما يؤدي الى ظهور المسافات البينية بين الخلايا. بعد وصول الخلايا الى الحجم النهائي لها والذي يصبح عند الجدار الابتادئي في ادنى درجات المطاطية تتوقف عن الاستطالة بان يبدا تكوين الجدار الثانوي وحينئذ تكون الخلايا قد اصبحت بالغة.



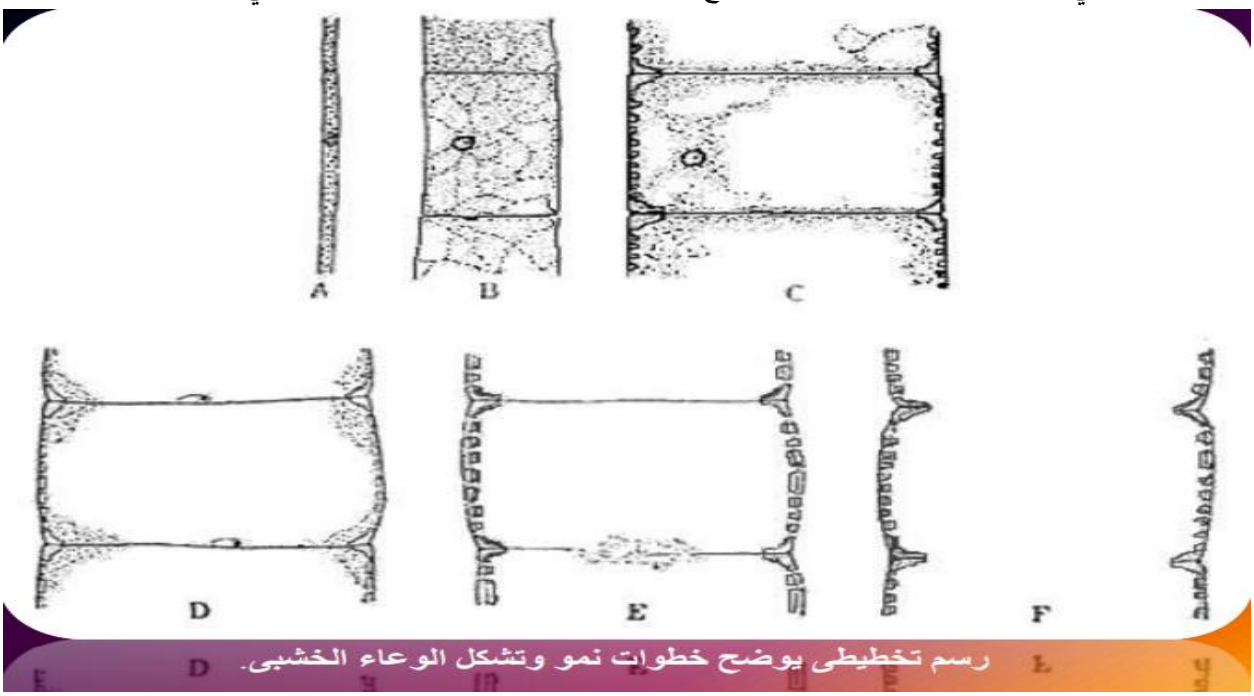

رسم تخطيطي يوضح مراحل نمو خلية ناتجة حديثا من الانقسام وتحولها إلى خلية بالغة

**مقارنة بين الخلية المرستيمية والخلية البالغة**

| وجه المقارنة | الخلية المرستيمية | الخلية البالغة |
|---|---|---|
| حجم الخلية | صغيرة الحجم | كبيرة الحجم |
| سمك الجدار | رقيق (جدار ابتدائي) | سميك(جدار ابتدائي+ ثانوي) |
| السايتوبلازم | كثيف | طبقة رقيقة تبطن الجدار الخلوي |
| النواة | كبيرة نسبيا | صغيرة نسبيا |
| الفجوات | لاتوجد فجوات او تكون دقيقة | توجد فجوة واحدة كبيرة عادة |
| المسافات البينية | صغيرة جدا او غير موجودة | توجد مسافات بينية واسعة عادة |
| القدرة على الانقسام | لها القدرة على الانقسام | فقدت القدرة على الانقسام |
| الرسم |  | |

**مرحلة التخصص او التميز:** في هذه المرحلة يتم تشكيل الخلايا بعد ان اصبحت خلايا بالغة لتؤدي كل مجموعة منها وظيفة معينة تبعا لمنشأها وموضعها في جسم النبات، ويتم تشكيل الخلايا حدوث تغير في تركيبها يلائم الوظيفة التي سيؤديها، فمثلا اذا كانت الخلية تصبح خلية بشرة لساق هوائية او ورقه خوصية يترسب على جدارها الخارجي (المعرض للجو) مادة الكيوتين لتكون طبقة الأدمة Cuticule وهي تمثل جداراً ثانوياً يزيد في تدعيم خلية البشرة ويعمل على حماية الأنسجة الداخلية من فقد الماء بالتبخير، اما اذا كانت ستصبح خلية بشره جذر فان جدارها الخارجي يمتد الى الخارج مكون نتوء انبوبي الشكل يعرف بالشعيره الجذرية تندفع النواة بداخلها مع جزء من السيتوبلازم وتستقر بالقرب من طرفها ولا تكون خلايا بشرة الجذر جدر ثانوية ( طبقه الكيوتيكل) كما يحدث في بشره السيقان الهوائية والاوراق، وذلك لأن وظيفة البشرة الجذر هي امتصاص الماء والأملاح الذائبة من التربة. إذا كانت الخلية ستصبح خليه كلورنكيمية فانه يتكون بها عدد كبير من البلاستيدات الخضراء التي تقوم بعملية البناء الضوئي ولا تحتاج هذه الخلايا الى تكوين جذور ثانوية. يوضح الشكل التالي خطوات نمو وتشكل الوعاء الخشبي، حيث ينشأ الخشب من صف راسي من الخلايا الناتجة من انقسام خلايا البروكامبيوم ( في حالة الخشب الابتدائي) او الكامبيوم الوعائي (في حالة الخشب الثانوي) والتي تنمو تستطيل حتى تصل حجمها النهائي ثم تتشكل مكونة وعاء خشبي وذلك بأن يترسب على جذورها طوليه (وهي جدار ابتدائية) جدر ثانوية من السليلوز واللجنين ياخذ اشكال مختلفه ، ويذوب الجدار الابتدائي والصفيحه الوسطى في أماكن تكوين الثقوب في الجدر المستعرضة بواسطة الانزيمات الموجوده في البروتوبلاست وقد تذوب الجذر المستعرضة بالكامل و يتكون مكان كل منها ثقب واحد متسع، كما يتحلل البروتوبلاست ذاته بواسطة الانزيمات التي

تفرزها الاسفيروسومات وتقوم الفجوات العصاريه بالتقام العضيات الخلوية وتحللها ثم تتحلل اغشية الفجوات نفسها وتختفي وبذلك تصبح خلايا الوعاء الخشبي خلايا ميته عند نضجها وتصبح تجاويف هذه الخلايا متصله ببعضها البعض عن طريق الثقوب الموجوده بالجدر المستعرضه مما يسمح للماء والمواد الذائبه فيه بالمرور خلال الوعاء في الاتجاه الراسي دون اي عائق ، كما ان النقر في الجدر الجانبية لوحدات الوعاء يسمح للماء بما فيه من مواد ذائبة بالانتشار الجانبي.



رسم تخطيطى يوضح خطوات نمو وتشكل الوعاء الخشبى.

**تركيب الخلية النباتية Structure of plant cell**

1- الجدار الخلوي Cell wall

2- البروتوبلاست Protoplast يتكون من:

(أ) البروتوبلازم Protoplasm (المكونات الحية) ويشمل:

- السايتوبلازم ويتركب من:

الاغشية البلازمية Plasma membrane اي الغشاء البلازمي خارجي Ectoplast والغشاء البلازمي الداخلي Tonoplast ويسمى ايضا بالغشاء الفجوي Vacuolar membrane بلازما الاساس Ground plasm – الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum ، ويوجد به عضيات سيتوبلازمية غشائية مثل البلاستيدات Plastids والميتوكوندريا Mitochondria والرايبوسومات Ribosomes والديكتيوسومات Dectyosomes والجسيمات الدقيقة Micro bodies وعضيات غير غشائية مثل الانيبيبات الدقيقة Microtubules.

- النواة Nucleus وتتركب من:

غلاف نووي Nuclear envelope – العصير النووي Nuclear sap – الشبكة الكروماتينية Chromatin reticulum – نوية Nucleolus.

(ب) مكونات غير بروتوبلازمية (مكونات غير حية) وتشمل:

- العصير الخلوي الذي يوجد داخل الفجوة العصارية Vacuole
- المواد الكربوهيدراتية Carbohydrate
- البروتينات Proteins
- الدهون Fats

اشباه القلويات– Alkaloids – التابينات–Tannins الصموغ– Gums –الاصباغ Stains.

# المحاضرة الثالثة

## الجدار الخلوي- اجزائه -اهميته

**الجدار الخلويCell wall**

تكوين الجدار الخلويCell wall formation

يختلف سمك وتركيب الجدار الخلوي تبعاً عمر الخلية ونوعها، ويتركب الجدار الخلوي من ثلاث اجزاء هي الصفيحة الوسطى Middle lamella – الجدار الابتدائي Primary wall- الجدار الثانوي Secondary wall.

1- الصفيحة الوسطى Middle lamella:

نحن نعلم ان الخلايا المرستيمية نشطة في انقسامها وهذا الانقسام يعرف بالانقسام الميوزي Mitosis والذي يسبب تضاعف الخلايا الجسمية تمييزاً له عن الانقسام الميوزي او ما يعرف بالانقسام الاختزاليMeiosis ذلك الانقسام المرتبط بتكوين الكيميتات الجنسية ( وهي خلايا عديمة الجدر الخلوية) عند حدوث التكاثر الجنسي. اما في الانقسام الميتوزي الذي يؤدي الى تضاعف الخلايا الجسمية ذات الجدر الخلوية، فيبدا تكوين الجدار الخلوي في الطور النهائي من الانقسام Telophase بعد ان تكون نواة الخلية الام قد انقسمت الى نواتيين واستقرت كل نواة مع جزء من السايتوبلازم في احد طرفي الخلية يعقب ذلك حدوث انقسام للسيتوبلازم بتكوين الصفيحة الوسطى التي تقسم الخلية الام الى خليتين ، حيث تهاجر الانيبات الدقيقة Microtubules التي توجد في السايتوبلازم الى المنطقة الاستوائية للخلية الام مكونة نظام لتجميع مكونات الصفيحة الوسطى بين النواتين يعرف بالفرموبلاست Phragmoplast تنتقل اليه حويصيلات تنتجها اجسام كولجي تحتوي على مواد الصفيحة الوسطى ثم تلتحم هذه الحويصلات معا على طول الفرموبلاست لتكوين الصفيحة الوسطى التي تقسم السايتوبلازم ا وفي نفس الوقت تعمل كمادة لاصقة لجدر الخلايا الناتجة من الانقسام. تشبه الصفيحة الوسطى في بداية تكوينها الهلام لاحتوائها على نسبة عالية من حامض البكتيك والذي يحتوي جزيئة على مايقارب مائة جزيء من حمض الكلاكتورونيك Galacturonic، ثم تتصلب بعد ذلك نتيجة تشبعها ببكتات الكالسيوم والمغنسيوم (املاح غير ذائبة) بالاضافة الى عديدات التسكر كالسليلوز وفي بعض الاحيان اللجنين، كما تحتوي الصفيحة الوسطى ايضا على كميات ضئيلة من البرتوبكتينيات Protopactins.

ترجع خاصية ليونة الثمار عند نضجها الى زيادة ذوبانية المركبات البكتينية للصفيحة الوسطى كما تفقد تلك المركبات خاصية ترابطها ويعزى ذلك الى الى تلك التفاعلات التي تشترك فيها انزيمات تحليل البكتينات والتي يتزايد نشاطها كلما تقدمت الثمار في النضج. عند احلال الصوديوم محل الكالسيوم والمغنسيوم في املاح البكتينات تتفكك الخلايا عن بعضها ، وهذا ما يحدث اثناء حفظ الثمار في المحاليل الملحية المركزة والتي تحتوي على ملح الطعام. اذن الدور تلعبه مكونات الصفيحة الوسطى هو لصق جدر الخلايا المتجاورة بعضها البعض اي انها تعمل على تماسك كل العدد الهائل من الخلايا والانسجة المكونة للنبات ككل.

**الجدار الابتدائي: Primary wall**

بمجرد تكوين الصفيحة الوسطى التي تنقسم الخلية الام إلى خليتين تنمو الخلايا الناتجة من الانقسام و تزداد في الحجم لتتحول الى خلايا بالغة (مرحلة الاستطالة) ويصاحب ذلك تكوين الجدار الابتدائي والذي يبدأ تكوينه عقب تكوين الصفيحة الوسطى مباشرة بأن يقوم سيتوبلازم كل خلية من الخليتين الناتجتين من الانقسام بإنتاج مواد الجدار الابتدائى (السليلوز كهيكل أساسي

والهيميسليلوز وكليكوبروتينات ومواد بكتينيه كمواد مكملة)ويرسبها فوق الصفيحه الوسطى التي تتكون من مواد جيلاتينية تشبه في الفعل الصمغ اللاصق فينتج عن هذا الترسيب طبقة سمكها 1 : 3 مايكرون تمثل الجدار الابتدائي او الاولي وتصبح الصفيحة الوسطى محصوره بين جدارين ابتدائيين لخليتين متجاورتين، يتميز الجدار الابتدائي في بداية تكوينه بخاصيه المطاطية العالية (القابلية للتمدد) حتى لا يعوق الخليه عن الزيادة في الحجم. يستمر تكوين مواد الجدار الابتدائي وترسيبها طوال مرحلة الاستطالة حتى يجاري الزيادة في حجم الخلية دون أن يتمزق ويتم ذلك من خلال عمليتين، الاولى هي عملية الاغماد الداخلي Intrassusception وهي دخول المواد الجداريه الناتجة من السايتوبلازم مباشره في فراغات الجدار، و الثانية عملية التراكم Apposition وهي ترسيب المواد الجدارية في صورة طبقات جديدة فوق طبقات الجدار السابق تكوينها. ترجع المطاطية العالية التي يتميز بها الجدار الابتدائي في بداية مرحلة الاستطالة الى احتوائه على كمية كبيرة من السليلوز غير المتبلور والى المسام الدقيقة التي تمتلئ بالمركبات البكتينية المحبة للماء، ثم تقل نسبة السليلوز غير المتبلور تدريجياً مع استمرار زيادة الخلية في الحجم وزيادة ترسيب وتراكم مكونات الجدار الابتدائي وتزداد صلابته مما يؤدي إلى فقد الجدار الابتدائي لمطاطيته تدريجياً حتى يصبح في ادنى درجات المطاطية وحينئذ تتوقف الخلية عن الزيادة في الحجم.

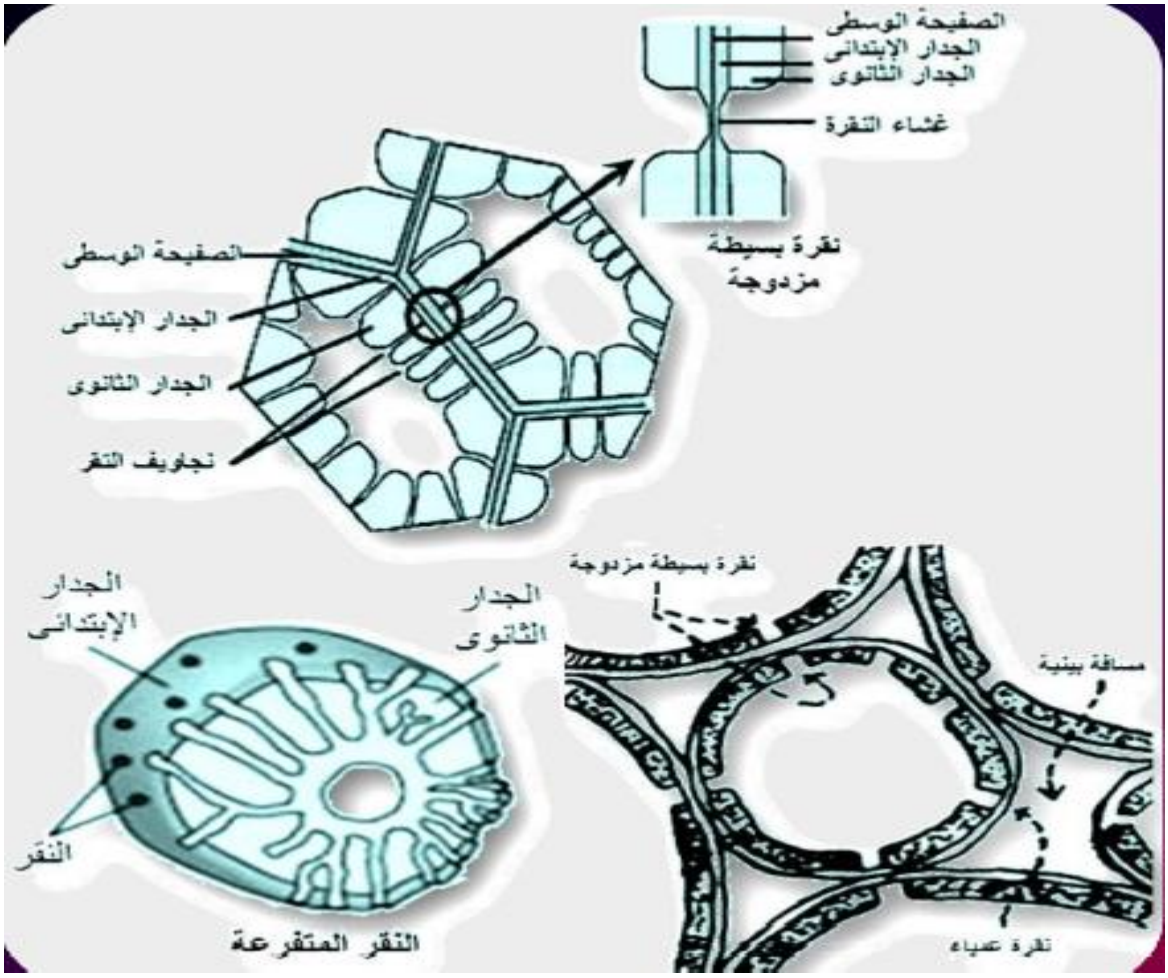
**الجدار الثانوي Secondary wall:**

معظم الخلايا الحية مثل الخلايا البارنكيمية والكولنكيمية و الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقه بعد ان تصل الى الحكم النهائي لها (اي تصبح خلايا بالغة) تتوقف عن الاستطالة وعن ترسيب اي مواد جدارية اخرى لذا تكون هذه الخلايا ذات جدر ابتدائية فقط، لكن بعض الخلايا مثل القصيبات الخشبية و الخلايا الحجرية يستمر تغلظ جدرها بعد توقف الخلايا عن الاستطالة وتحدد شكلها لتكون جدار اضافي فوق الجدار الابتدائي يعرف بالجدار الثانوي والذي يتكون من هيكل أساسي من السليلوز يختلط معه مواد اخرى مكملة تختلف تبعا لنوع الخلية فقد تكون اللجنين كما في أوعية الخشب والقصيبات والالياف الحجرية او السوبرين كما في خلايا الفلين او الكيوتين كما في خلايا بشرة الأوراق والسيقان العشبية، وقد يتكون الجدار الثانوي كله من السليلوز مثل ألياف اللحاء في الكتان. يتميز الجدار الثانوي بأنه سميك وصلب حيث يتكون من عدة طبقات، لذا فإنه بعد الانتهاء من ترسيب الجدار الثانوي تصبح الجدر الخلوية غير مرنه وغير مطاطة بالمره ومن ثم تفقد الخلية القدرة على الزيادة في الحجم. وقد يزداد تغلظ الجدار الثانوي الى حد انه يشغل معظم الحيز الداخلي للخلية ويسبب موت وتحلل البروتوبلازم تاركا تجويفاً ضيقا مكانه وتصبح الخلية ميته و تتركب من جدار خلوي فقط مثل أوعية الخشب والقصيبات والالياف والاسكلريدات.

**النقر Pits:**

النقر عبارة عن فتحات دقيقة في جدر الخلايا يبدء تكوينها اثناء تكوين الجدار الابتدائي للخلية ، حيث لا يتم ترسيب مواد الجدار الابتدائي بانتظام على اسطح الصفيحة الوسطى بل تترك مساحات محدودة تكون منخفضة عن باقي سطح الجدار تسمى بحقول النقر الابتدائية توجد بها ثقوب دقيقة تمر منها خيوط بروتوبلازمية دقيقة تعرف بالبلازموديزماتا لتعمل على ربط المادة الحية للخلايا المتجاورة مع بعضها كما تعمل كطرق موصلة للماء والذائبات بين الخلايا المتجاورة. توجد حقول النقر الابتدائية في الجدر الخلايا الحية مثل الخلاية المرستيمية و البارنكيمية و الانابيب الغربالية و الخلايا المرافقة. وعند تكوين الجدار الثانوي يتم ترسيب مكوناته فوق الجدار الابتدائي ما عدا مناطق حقول النقر الابتدائية فيزداد عمقها وتبدو كتجاويف صغيرة في الجدار وتسمى انذاك بالنقر التي تتنوع في اشكالها واحجامها و تركيبها، وعادة تتكون النقر في ازواج متقابلة فعندما تتكون نقرة في جدار

خلية تتكون نقرة مقابلة لها في خدار الخلية المجاورة ويطلق عليهما معاً نقر مزدوجة اما اذا تكونت النقرة في مقابل مسافة بينية فتسمى بالنقرة العمياء.



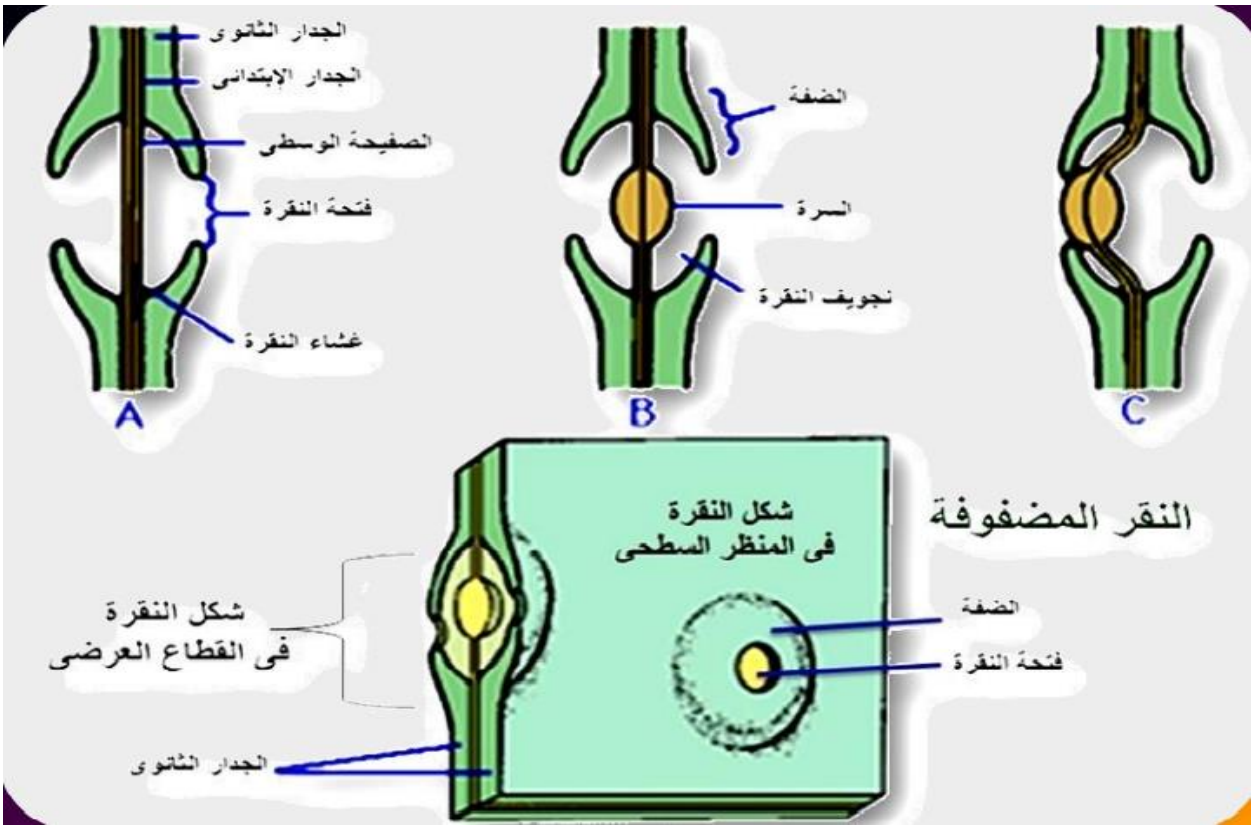

**انواع النقر**

1- النقر البسيطة تظهر هذه النقر في المنظر السطحي كثقوب دائرية بينما تظهر في القطاع العرضي كقنوات منتضمة القطر في جدار الخلية ، توجد النقر البسيطة في جدار خلايا البشرة و الخلايا البارنكيمية مغلظة الجدر (بارنكيما الخشب الثانوي) و الالياف و الخلايا الحجرية و بعض الاوعية الخشبية والقصيبات. وفي الخلايا الحجرية يكون سمك الجدار الثانوي كبير ويملء معضم حيز الخلية مسببا موت البروتوبلازم وتحلله ونتيجة لذالك تصبح النقر ذات قنوات عميقة وتفتح كلها في تجف الخلية الذي يبدو في القطاع العرضي كتجويف متفرع ولذا يطلق علا هاذ النوع من النقر اسم النقر المتفرعة .

2- النقر المضفوفة

تختلف النقر المضفوفة عن النقر البسيطة في ان الجدار الثانوي عند ترسيبه فوق الجدار الابتدائي ينمو فوق موضع النقرة على شكل قبة تاركاً فتحة في وسطها تسمى فتحة النقرة، وفي كثير من الاحيان يتكون في منتصف غشاء النقرة تغلظ مصمط غير منفذ للماء ذو شكل محدب يسمى السرة. تنتشر هذه النقر في اوعية الخشب للنباتات ذوات الفلقتين الخشبية وقصيبات الخشب

في المخروطيات في الصنوبر. تلعب النقر المضفوفة ذات السة دور هام في تنظيم مرور الماء داخل الاوعية والقصيبات فعندما يكون اندفاع الماء من الاوعية او القصيبات الى الخلايا المجاورة عبر النقرة شديدا يرتخي غشاء النقرة وتتحرك السرة نحو فتحة النقرة وتغلقها لتسمح بصعود الماء الى أعلى والعكس صحيح، كما تمنع السرة دخول فقاقيع الهواء داخل الاوعية والقصيبات لتمنع تقطع خيوط الماء داخل هذه العناصر الناقلة. تتكون النقر المضفوفة في ازواج متقابلة وتسمى نقر مضفوفة مزدوجة. احيانا قد تتكون نقر نصف مضفوفة وذلك عندما يجاور وعاء خشبي او قصيبة خلية بارانكيمية فيكون زوج النقر المتكون احدهما مضفوفة وهي التي تكون في جدار الوعاء او القصيبة والاخرى بسيطة وهي التي تكونت بجدار الخلية البارنكيمية فيطلق على هذا الزوج من النقر اسم النقرة نصف المضفوفة.




**وظائف الجدار الخلوي:**

1- يحيط بالبروتوبلاست ويحميها و يحدد شكل الخلية وحجمها
2- تمثل الجدر الخلوية حدودا فاصلة بين الخلايا ذات الوظائف المختلفة
3- تكون الجدر الخلوية معا هيكلا مترابطا يحفظ للنبات واعضائه شكلها العام.
4- يلعب مع الغشاء البلازمي دورا هاما في انتقال الماء والذائبات من والى الخلية

5- تصل الجدر الخلوية في الخلايا الميته الى درجة عالية من التخصص بحيث تقوم هي بوظيفه الخلية كما هو الحال في الأوعية الخشبية والقصيبات والتي تقوم أساسا بوظيفة تدعيم جسم النبات الى جانب توصيل الماء والأملاح من الجذر الى باقي اجزاء النبات وايضا الألياف التي تقوم بوظيفة التدعيم وجميعها خلايا ميتة تتركب من جدر خلوية فقط

6- صلابة هذا الجدار مع ضغط الماء في الفجوات هما المسؤولان عن ضغط الامتلاء الذي يساعد تدعيم جسم النبات و يحفظ له استقامته

7- يلعب الجدار الخلوي دورا هاما في مقاومة الامراض فهو ينتج أجسام مضادة و قد يحتوي على مضادات الاختراق لمقاومة الطفيليات.

المصادر:

1- اساسيات كيموحيوية وفسيولوجيا النبات ، د. محب طه صقر – كلية الزراعة – جامعة المنصورة
https://t.me/agricultural_eg

2- كتاب فسيولوجيا النبات . المؤلف روبرت م. دفلن . ترجمة.د.عبد الحميد بن حميدة ومحمد الجيالني
نرجس مكتبة الالوسي وحازمwww.narjes.library.blogspot.com.

3 -اساسيات فسيولوجيا النبات – د. بسام طه ياسين – كلية العلوم – جامعة قطر.2001

# المحاضرة الرابعة

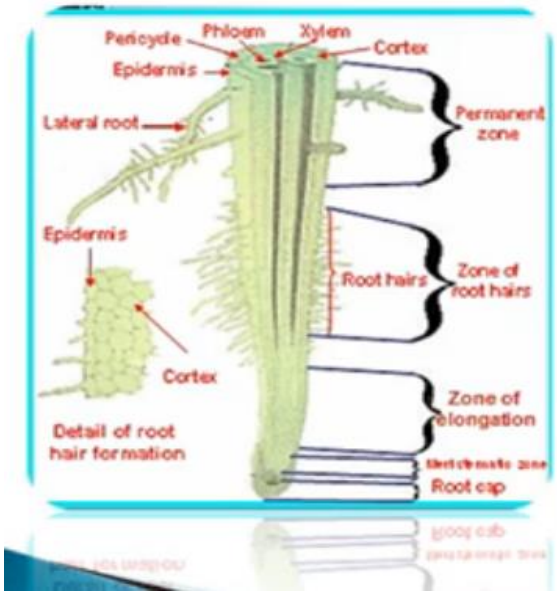
# العلاقات المائية – علاقة النبات بالماء

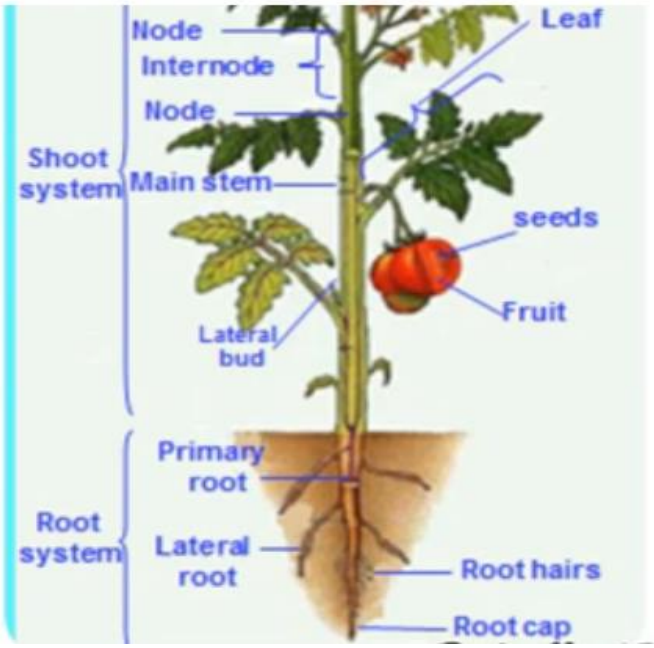
## العلاقات المائية

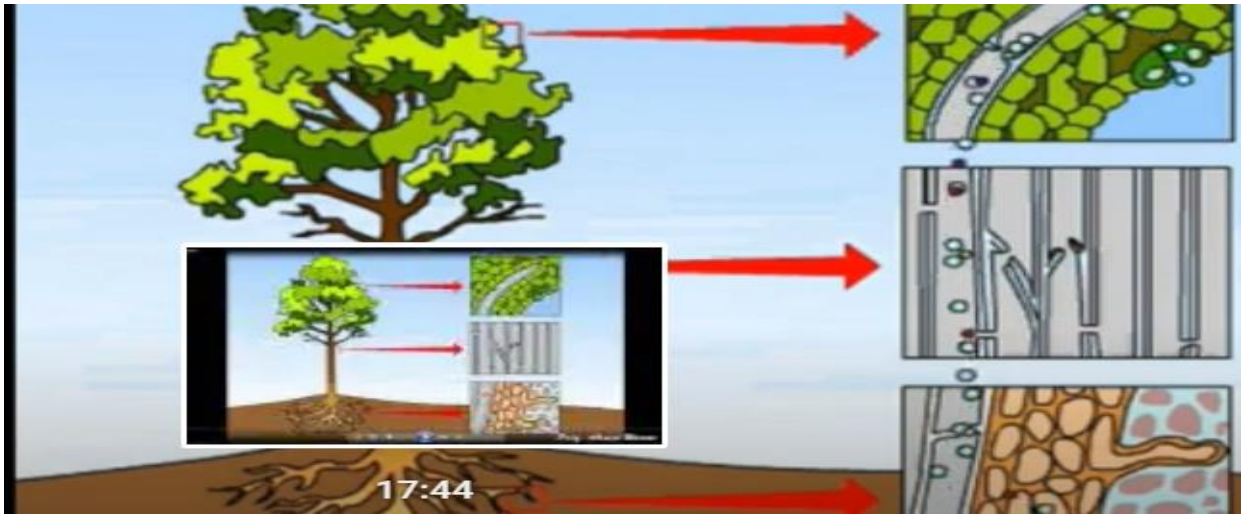
## علاقة النبات بالماء

### مقدمة

يُكَون الماء الموجود فى التربة مع ماء النبات نظاما متصل بصفة مستمرة من التربة وخلال النبات حتى أعلاه حيث تفقد االوراق هذا الماء فى صورة بخار إلى الجو المحيط، ويمكن القول على وجه التقريب أن كل الماء الذى يتحرك داخل النبات إلى أعلاه يفقد فى عملية النتح، وأن حوالى 1 %من هذا الماء هو الذى يستخدم فى العمليات الحيوية المختلفة لاسيما تفاعلات التحولات الغذائية داخل النبات وهو ما يعرف **بالماء الفسيولوجى.**






**أهمية الماء للخلايا الحية**

1- الماء مذيب عام لجميع المركبات بلا استثناء والتي تذوب فيه بدرجة او باخرى ( مثل السكريات الاحماض الامينية والهرمونات والاملاح المعدنية والغازات وغيرها) والتي تنتقل الى جميع اجزاء النبات في وسط مائي، فجدر واغشية الخلايا تنفذ الماء بسهولة وينتج عن ذلك استمرارية الطور السائل في كل اجزاء النبات مما يسهل عمليات نقل المواد الذائبة في الماء بين اجزاء النبات المختلفة.

2- الماء ضروري للتفاعلات الكيميائية فكثير من المواد لاتدخل التفاعل إلا بعد ذوبانها بالماء

3- الماء ضروري لنقل المواد بين خلية و أخرى أو داخل الخلية .

4- الماء ضروري جدا لإنبات البذور بعد حصول التشرب وتنشيط الـ amylase الذي يحلل النشا إلى سكر لتغذية الجنين ليحصل الإنبات

5- الماء مهم لعمليات التحلل المائي

6- الماء مهم لعملية التمثيل الضوئي فالالكترون الذي تبدأ به عملية الفسفرة الضوئية مصدره الماء

7- الماء مهم لعملية انتفاخ الخلايا مما يعطي النبات شكال منتصبا و عندما تفقد الخلية مائها فإنها تفقد انتفاخها مما يؤدي إلى انكماش الخلايا و هو ما يلاحظ عند ذبول النبات

8- الماء مهم جدا لأمتصاص العناصر الغذائية من التربة ولا يستطيع النبات اخذ العناصر إلا بعد ذوبانها بالماء

9- يؤدي الماء دورا في تبريد النبات من خلال عملية النتح و فقدان الماء على شكل بخار من أسطح الأوراق.

خواص الماء الهامة للنبات

1) تجمع جزيئات الماء
2) ارتفاع الحرارة النوعية للماء
3) ارتفاع حرارة التبخر للماء
4) ارتفاع حرارة انصهار الماء
5) التوتر السطحي والتماسك والتلاصق لجزيئات الماء
6) الماء كمذيب
7) الماء الحر والماء المرتبط

## العلاقات المائية للخلية النباتية

تحكم العلاقات بين الخلايا النباتية والماء عدة ظواهر طبيعية لابد من دراستها اولا حتى يمكننا فهم الأسس التي تقوم عليها العلاقات، وهذه الظواهر هي في الواقع صور لظاهرة واحدة وهي الانتشار والتي يتفرع منها ظاهرتين هما الانتشار الغشائي والتشرب، وهاتات العمليتان وغيرهما من العمليات الحيوية المسؤولة عن حركة الماء داخل النبات وخروجه وما يترتب على ذلك من عمليات حيوية ترتبط ارتباط كلي بقوانين التحول في الطاقة والتي تخضع بدورها لقوانين الديناميكا الحرارية. ويندر ان يوجد من بين العمليات الفسيولوجية التي تحدث في النبات ما لايرتبط بطريقة مباشرة او غير مباشرة بظواهر الانتشار.

### اولا: الانتشار Diffusion

الانتشار هو عبارة عن صافي حركة جزئيات مركب من منطقة يكون تركيزها فيه مرتفع إلى منطقة يكون تركيزها فيها أقل، وهذا الانتقال يأتي نتيجة للحركة العشوائية لجزئيات أو دقائق المادة، بفعل الطاقة الوضعية الانتقالية(الطاقة الكينيتية) الكامنة في جزئيات او دقائق المادة.

-**الطاقة الانتقالية أو الكينيتية** Energy Kinetic or Translational

هي عبارة عن القوة المسؤولة عن تحريك الجزئيات سواء كانت الجزئيات لسائل أم لغاز. في درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق(−18.273م) تكون جزئيات أي مادة ما في حركة دائبة نظراً لاحتوائها على كمية معينة من الطاقة الذاتية، هذه الحركة الدائبة هي حركة عشوائية حيث تتحرك الجزئيات في جميع الاتجاهات وفي حالات عديدة تتصادم مع بعضها البعض.

**الجهد الكيميائي Chemical Potetial**

كمية الطاقة الحرة لكل واحد جرام وزن جزيئي للمادة وهذا يعني أننا نسبنا الطاقة الحرة إلى كمية معلومة من المادة .بناء على مفهوم الجهد الكيميائي يمكننا إذا إعادة **تعريف الانتشار**: عبارة عن محصلة حركة أي مادة من وسط يحتوي على جهد كيميائي مرتفع إلى وسط يحتوي على جهد كيميائي أقل وهذه الحركة تعتمد على العشوائية والطاقة الكينيتية للجزئيات أو الذرات أو

الايونات – .استقلالية الجهد لكل مادة يعتبر مستقلاً إن انتشار أي مادة ما عن المادة الاخرى التي قد توجد في نفس الوسط وذلك حسب تركيز أو جهد كل مادة على حدة .لو ملئنا بالون بغاز النيتروجين فقط فإن النتيجة هي زيادة الجهد الكيميائي لغاز النيتروجين داخل البالونة عنه خارجها وذلك لزيادة تركيزه في وسط ضيق فإذا فرضنا أن غاز $CO_2$ يستطيع النفاذ خلال مسام البالونة وحدة فلو وضعت البالونة في الهواء الطلق فسنلاحظ أن $CO_2$سوف ينتشر وينفذ عن طريق مسامات البالونة للداخل ذلك ألن جهده الكيميائي خارج لعدم وجوده نظراً البالونة أكبر بكثير من جهده داخل البالونة والذي يعتبر صفرا.

## العوامل التي تؤثر على معدل انتشار المواد المختلفة

1- درجة التركيز :تتناسب سرعة الانتشار طرديا مع درجة تركيز الايونات او الجزيئات المنتشرة.

2- الحجم: تتناسب سرعة الانتشار عكسيا مع حجم الايونات او الجزيئات المنتشرة

3- الكتلة: تتناسب سرعة الانتشار تناسبا عكسيا مع الوزن الذري او الجزيئي

4- انحدار الجهد الكيميائي : هو مقدار الفرق في الجهد الكيميائي للمادة بين منطقتين، كلما زاد انحدار الجهد الكيميائي كلما زادت سرعة الانتشار.

5- درجة الحرارة: تزداد سرعة الانتشار بارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة الطاقة الحركية للجزيئات.

6- قابلية الذوبان في وسط الانتشار: كلما زادت قابلية المادة للذوبان في وسط الانتشار زادت سرعة انتشارها في الوسط ولكن اذا كان وسط الانتشار ذو تركيز مرتفع فسوف تزداد درجة مقاومته للمواد المنتشرة.

## ثانيا: التشرب Imbibition

هو صورة من صور الانتشار ويمثل حركة الماء أو المذيب عند وجود فرق في الجهد المائي بين المادة المشرِبة(الماء) والمادة المتشربة Imbibant دون وجود أغشية. ويحدث التشرب بفعل قوة الادمصاص Adsorption للمذيبات على اسطح الدقائق الغروية ويسبب التشرب ضغطا 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 بمذيب عضوي مثل الايثر.

## ثالثاً:الأزموزية Osmosis

هي نوع خاص من الانتشار يخص حركة الماء بين المحاليل 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 اغشية 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 او ملحي بغشاء شبه منفذ مثل السيلوفان فأن فرق الجهد الكيميائي للمذاب والمذيب سوف يلعب دوراً في التوازن الا ان المذاب لا يستطيع المرور عبر الغشاء شبه المنفذ أي انه محتجز داخله وعليه يبقى الماء النقي من يملك حرية الحركة وينتقل الى منطقة المحلول لأن جهده(الماء) الكيميائي منخفض فيها على العكس من منطقة الماء المقطر وعند دخوله يعلق في المحلول بسبب جهد الذائبات مما يسبب ضغط ازموزي داخل الغشاء يعمل على رفع مستوى الماء لحد معين يساوي الضغط الناشئ عن عمود الماء.

**الجهد المائي:Water potential (Ψw)**

وهو مصطلح للتعبير عن الجهد الكيميائي للماء ويرمز له بالرمز **Ψw**.

ويعرف الجهد المائي بانه عبارة عن الفرق بين الجهد الكيميائي للماء في محلول ما والجهد الكيميائي للماء النقي عند ظروف قياسية من درجة الحرارة والضغط. فلماء كغيره من المواد له طاقة وتكون هذه الطاقة اعلى ما يكون في الماء النقي، ويطلق على الطاقة الحرة للماء اسم الجهد الكيميائي.

**الجهد الكيميائي** هو مقدار الطاقة الحرة الكلية لكل وزن جزيئي غرامي من المادة واذا كانت هذه المادة ماء فانه يعرف بالجهد المائي، وأن الطاقة الحرة للماء متغيرة حسب محتوى الماء من الذائبات بثبات العوامل الاخرى درجة الحرارة والضغط.

ولقد اتفق العلماء على ان جهد الماء النقي يساوي صفر (اي اعلى جهد للماء عندما يكون نقي يساوي صفر) ويكون الجهد المائي اقل من الصفر (اي سالب) في المحاليل لوجود مواد ذائبة فيه. والماء في المحاليل مثل محلول التربة ومحلول العصير الخلوي في الخلايا النباتية غير نقي لوجود مواد ذائبة ترتبط مع عدد من جزيئات الماء فتقلل الجهد المائي للمحلول ويصبح الجهد المائي للمحاليل ذو قيمة سالبة وكلما زاد تركيز المادة الذائبة كلما زادت سالبية الجهد المائي.

لاحظ الارتباط بين مفهوم الطاقة الحرة والجهد الكيميائي والجهد المائي، فهم الجهد المائي يعتمد على اساس 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

اذا وضعت الخلية النباتية في ماء نقي يدخل الماء النقي الفجوة ويسبب زيادة حجمها ويحدث تخفيف لمحلول الفجوة وتنتفخ الخلية وينشا ضغط انتفاخي او ضغط امتلاء Turgor pressure ويسمى جهد الضغط (ψ) Pressure Potential، والذي يحدث ضغط على السايتوبلازم والذي بدوره يضغط على الجدار الخلوي مسبباً تمدده بدرجة محدودة فيُحدِث الجدار الخلوي ضغط مساوي في القيمة ومعاكس في الاتجاه لضغط الانتفاخ او الامتلاء يسمى بالضغط الجداري wall pressure وهذا الضغط يوقف انتقال الماء الى الخلية ويحد من امتلائها بالماء لتاخذ الخلية شكلها المنتفخ دون حدوث مزيد من الزيادة في الحجم، وايضا يصبح ضغط الامتلاء المتولد مساوياً لقوة جهد الماء المتدفق الى داخل الخلية.

عندما يزداد ضغط الامتلاء (جهد الضغط) في الخلية يزداد الجهد المائي لها وتقل سالبيته، وعندما تصل الخلية الى حالة الامتلاء الكامل يمنع ضغط الامتلاء اي زيادة في المحتوى المائي للخلية وتصل الخلية الى حالة الاتزان وعندها يتساوى جهد الضغط (ضغط الامتلاء) الموجب مع الجهد الازموزي السالب في القيمة للخلية ويصبح الجهد المائي للخلية (المحصلة) يساوي صفر.

اي عندما $\psi p = \psi S -$ تصبح $\psi w =$ صفر

الخلايا التي تكون فيها قيمة جهد الضغط (ضغط الامتلاء) تساوي قيمة الجهد الازموزي تكون في حالة امتلاء كامل، وكلما قلت قيمة جهد الصغط عن الجهد الازموزي تصبح الخلايا اقل امتلاءً واذا انخفضت قيمته الى الصفر تكون الخلايا وصلت الى حالة البلزمة، مثال:

- الجهد المائي للخلية (صفر) = الجهد الازموزي(−20) + ضغط الامتلاء (20) الخلايا منتفخة
- الجهد المائي للخلية (−10) = الجهد الازموزي (−20)+ ضغط الامتلاء (10) الخلايا اقل انتفاخاً
- الجهد المائي للخلية (−20) = الجهد الازموزي (−20) + ضغط الامتلاء(صفر) الخلايا في حالة بلزمة.

مما سبق يتضح ان: الجهد المائي للخلية عبارة عن محصلة قوتين متعاكستين في الاتجاه هما:

1- الجهد الازموزي $\psi S$ لمحلول الخلية وقيمته سالبة.

2- جهد الضغط (الامتلاء) وقيمته موجبة في الخلايا الممتلئة ويتضح ذلك من المعادلة التالية:

$$\Psi w = \Psi P + \Psi s$$

اذا الجهد المائي هو مقياس القوة المسئولة عن انتقال الماء الى داخل الخلية من المحلول الخارجي. ويستخدم الجهد المائي لمعرفة اتجاه حركة الماء وانتقاله بين خليتين متجاورتين او بين نسيجين متجاورين او بين محلول التربة والنبات حيث ينتقل الماء من منطقة جهدها المائي عالي (اقل سالبية) الى منطقة اخرى جهدها المائي منخفض( اكثر سالبية). ولتوضيح العلاقة المتبادلة بين الجهود الثلاثة السابقة( الجهد المائي، والجهد الازموزي، وجهد الضغط) في الخلايا النباتية.

## انتقال الماء بين الخلايا والانسجة المتجاورة.

**مثال:**

**لو افترضنا خليتين متجاورتين A, B العصير الخلوي لهما له القيم الازموزية التالية:**

**الخلية (A) لها جهد ازموزي يساوي −15 بار وضغط امتلائي يساوي 9 بار.**

باستعمال القانون السابق يحسب الجهد المائي في كل منهما في البداية وعند الاتزان كالتالي:

| في البداية | | عند الاتزان | |
|---|---|---|---|
| $\psi w = -15+9 = -6$ bars | A | $\psi w = -15+7 = -8$ bars | A |
| $\psi w = -12+2 = -10$ bars | B | $\psi w = -12+4 = -8$ bars | B |

يتضح من هذا المثال ان صافي حركة الماء تكون من الخلية (A) ذات الجهد المائي العالي (الاقل سالبية) الى الخلية( B) ذات الجهد المائي المنخفض( الاكثر سالبية)، وبانتقال الماء من الخلية (B) يزداد ضغطها الامتلائي عن الخلية (A) لفقدها الماء وهكذا حتى يصبح الضغط الامتلائي للخلية (A) مساويا 7بار بينما يصبح الضغط الامتلائي للخلية (B) مساوياً 4 بار وعندها يتساوى الجهد المائي لكل من الخليتين اي تصلان الى حالة الاتزان ويتوقف اكتساب احداهما الماء على حساب الاخرى.

وبالتالي فانه بناء على قيم الجهد المائي ينتقل او ينساب الماء بين الخلايا وبعضها والانتقال يعتمد على الجهد المائي وليس الجهد الازموزي، كما ينتقل الماء من محلول التربة الى خلايا الشعيرات الجذرية بناء على الفرق في الجهد المائي لكل منهما. ويكون انتقال الماء من المحلول ذو الجهد المائي العالي(الاقل سالبية) الى المحلول ذو الجهد المائي المنخفض (الاكثر سالبية).

- **تقسيم المحاليل بالنسبة لمحلول الفجوة العصارية للخلية:**

اذا فرضنا ان لدينا خلية نباتية جهدها الازموزي $\psi_s$ يساوي – 10 بار وان هذه الخلية عند بداية الامتلاء اي ان ضغطها الامتلائي $\psi_p$ يساوي صفر فيكون جهدها المائي $\psi_w$ يساوي – 10 بار ثم وضعت الخلية في المحاليل التالية، مع ملاحظة ان المحاليل التي توضع بها الخلية هي نظم ازموزية مفتوحة لذا لايكون لها ضغط امتلائي، لذا يكون جهدها المائي مساويا لجهدها الازموزي دائما اي ان $\psi_w = \psi_s$

**أولاً– في ماء نقي:**

الماء النقي جهده الازموزي يساوي صفر وليس له ضغط امتلاء اي ضغط الامتلاء له يساوي صفر وبالتالي فان جهده المائي يساوي صفر، لذلك فان الماء يبدا في الدخول الى الخلية بقوة إمتصاص أزموزية (الفرق بين الجهد المائي للخلية والجهد المائي للماء النقي) قدرها عند الابتداء – 10 بار وتتناقص تدريجيا بزيادة امتلاء الخلية حتى يصبح ضغطها الامتلائي يساوي 10 بار فيقف دخول الماء الى الخلية حيث يصبح جهدها المائي يساوي صفر.

كذلك الحال فيما لووضعنا الخلية في محلول جهده الازموزي اقل من الجهد الازموزي للخلية، فمثلا اذا وضعنا الخلية في محلول جهده الازموزي – 6 بار فان الخلية تبدا في امتصاص الماء بقوة امتصاص ازموزية قدرها 4 بار وتتناقص تدريجيا الى ان يصبح الضغط الامتلائي للخلية مساويا 4 بار فيصبح جهدها المائي يساوي – 6 بار مساويا للجهد المائي للمحلول فيحدث الاتزان ويتوقف امتصاصها للماء.

وتسمى المحاليل ذات الجهود الازموزية الاقل من الجهد الازموزي للخلية بالمحاليل ناقصة التركيز او ناقصة الازموزية **Hypotonic** وفيها تزيد الخلية في الحجم نتيجة امتصاصها للماء حتى تصبح ممتلئة تماماً.

**ثانياً- عند وضع الخلية السابقة في محلول جهدة الازموزي مساويا للجهد الازموزي للخلية:**

في هذه الحالة تصبح الخلية في حالة اتزان ديناميكي مع المحلول الخارجي بمجرد وضعها فيه فلا تكسب او تفقد شيئاً من مائها وبالتالي لايتغير حجمها وتسمى مثل هذه المحاليل بالمحاليل سوية التركيز او الازموزية **Isotonic**.

**ثالثاً – عند وضع الخلية السابقة في محلول جهده الازموزي يزيد عن الجهد الازموزي للخلية:**

في هذه الحالة يكون الجهد المائي للخلية اعلى (اقل سالبية) من الجهد المائي للمحلول ( اعلى سالبية) فتفقد الخلية جزء من مائها الى المحلول الخارجي ويقل حجمها وتمر بعدة تغيرات يطلق عليها في مجموعها عملية البلزمة وتسمى مثل هذه المحاليل بالمحاليل زائدة التركيز او الازموزية **Hypertonic**.

## البلزمة Plasmolysis

هي عبارة عن خروج الماء من الفجوة الى خارج الخلية و تقلص السايتوبلازم بعيدا عن جدار الخلية ، فاذا ما وضعت الخلية النباتية في محلول ما له جهد مائي اقل من الجهد المائي للعصير الخلوي فسوف ينتشر الماء و يخرج من الخلية الى المحلول الخارجي . و ان معظم الماء الذي يخرج من الخلية يكون عادة من الفجوة فكلما نقصت الفجوة في الحجم كلما تقلص السايتوبلازم و بدأ بالانفصال و الابتعاد عن جدار الخلية (vacuole) .

## انواع البلزمة

### 1- بلزمة دائمية Permanent Plasmolysis

.تحدث للخلية التي مرت ببلزمة شديدة ، و ابتعد المحتوى البروتوبلازمي عن الجدار و اتخذ شكلا كرويا داخل الخلية النباتية.

### 2- بلزمة مؤقتة (بدائية) Incipient Pasmolysis

تحدث للخلايا التي تمر ببلزمة خفيفة حيث انها تستطيع ان تستعيد حالتها الطبيعية اذا ما وضعت في الماء او في محلول اخر ذو جهد مائي اعلى من الجهد المائي للخلية.

## اهمية الازموزية في حياة النبات

1- تقوم بحفظ انسجه النبات فى حاله امتلاء وهذا له اهميه قصوى اذ يمكن للخلايا ان تستمر فى القيام بالعمليات الايضية والنمو على اكمل وجه

2- هي المسئولة عن امتصاص الماء بواسطة الشعيرات الجذرية من محلول التربة وانتقال الماء من خلية الى خلية مجاوره لها ومن نسيج اخر داخل النبات.

3- بعض الاعضاء النباتيه الرخوه كالقمم الناميه فى السوق والجذور لا تحتوى على انسجه دعاميه وبفعل الخاصيه الازموزيه تمتلى هذه الخلايا بالماء وتتوتر وبذا تكتسب هذه الاعضاء صلابه وقوه واذا ما انخفض او انعدم امداد الماء للنبات فان الانسجه تبدا فى الارتخاء وتنهدل الاوراق وتسمى هذه الحاله بحاله الذبول.

4- الازموزية مسئولة عن انتقال الماء وتحركه والتحكم فى توزيعه داخل النبات حيث يعتمد توزيع الماء على الفرق في الجهد المائي للخلايا.

5- مهمة في حركة فتح وغلق الثغور نتيجة لحركة الخلايا الحارسة واعتمادها على الخاصية الازموزية.

6- زيادة الجهد الازموزي للخلايا تساعد في زيادة مقاومة النبات للتجمد والجفاف ( بسبب زيادة تركيز الذائبات).

# المحاضرة الخامسة

# آليات امتصاص الماء

**آليات امتصاص الماء**

**علاقة النبات بالماء**

تشمل علاقة النبات بالماء ثلاثة عمليات هي:

**1- امتصاص النبات للماء**

**2- انتقال الماء في النبات**

**3- فقدان النبات للماء**

اولا: امتصاص النبات للماء

1. يتم امتصاص النبات للماء بواسطة الجذور.
2. قد يتم امتصاص النبات للماء عن طريق المجموع الخضري كما يحدث في حاله الري بالرش ولكن كميته تكون قليله مقارنه بما يتم امتصاصه بواسطة الجذور
3. في النباتات المائيه يحدث الامتصاص بواسطه جميع أعضاء النبات المغموره في الماء

ميكانيكيه امتصاص النبات للماء

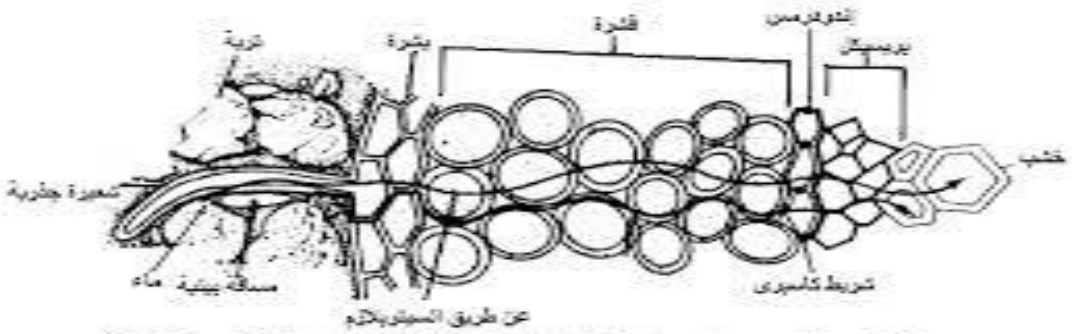
هناك على الاقل نظام القوتان يمكن للنبات بواسطتهما ان يقوم بامتصاص الماء من التربه وهاتان القوتان هما

**1) قوه الجذر الايجابية لامتصاص الماء (القوه الموجبه)**

سميت هذه القوه بهذا لانها تتكون من نظم امتصاص تنشا من خلايا الجذور و لا تتسبب عن عوامل خارجية كما هو الحال في قوة الامتصاص الناشئة عن النتح. وتتالف قوه الامتصاص الايجابية في مجموعها من ثلاث نظم تعمل مستقلة في امتصاص الماء من التربة كما يلي:

**نظام الامتصاص الناتج عن التشرب:**

كما سبق القول فان جدر الخلايا النباتية تتكون من الهلاميات شبهة المتصلبة ذات القدرة العالية على تشرب جزيئات الماء وبالتالي يسير تيار من ماء التشرب من خلية الى اخرى من خلال جدر الخلايا الى ان يصل الى أوعية الخشب، الا انه يجب ملاحظة ان كمية الماء التي يمتصها النبات بهذه الطريقة تعتبر ضئيلة جدا اذا قورنت بمعدلات امتصاص الماء بواسطة الطرق الاخرى.



شكل يوضح مسار حركة الماء من التربة إلى داخل أنسجة الجذر

**نظام الامتصاص الناتج عن الازموزية**

ولتصوير هذا النظام يمكن النظر الى صفوف الخلايا المتتالية المكونة لانسجة الجذر الفاصلة بين المحلول الارضي وبين اوعية الخشب في الجذر ( خلايا البشرة والقشرة والاندوديرمس والبريسيكل) كغشاء واحد شبه منفذ متعدد الطبقات وعلى ذلك يصبح العامل الوحيد المسئول عن دخول الماء من المحلول الارضي الى اوعية الخشب في الجذر هو نقص الجهد المائي او الضغط الانتشاري للماء في اوعية الخشب عنه في المحلول الارضي.

**نظام الامتصاص المعتمد على الطاقة المنفردة في عملية التنفس**

يطلق عليه نظام الامتصاص الحيوي او النشط Active absorption وفيه تقوم خلايا الجذر بامتصاص الماء من التربة عن طريق ضخ هذا الماء الى الداخل على حساب طاقة الاكسدة الناتجة من عملية التنفس، اي ان هذا النوع من الامتصاص يتوقف على حيوية الجذور وعلى توفر الاكسجين اللازم لتنفسها كما ان له علاقة كبيرة بالتحولات الغذائية داخل خلايا الجذر، وحتى الان لم يعرف على وجه التحديد ميكانيكية هذا النظام الا انه قد يفسر جزئياً بان الامتصاص النشط لايونات العناصر المعدنية من التربة يؤدي الخلوي وبالتالي الى زيادة الجهد الازموزي للعصارات الخلوية وزيادة امتصاص الخلايا للماء بالتبعية.

وهذه الانظمة الثلاثة تعرف في مجموعها باسم الضغط الجذري Root pressure والتي يترتب عليها ظاهرتان معروفتان هما ظاهرة الادماء Bleeding والادماع Guttation الا ان التجارب اثبتت ان قوة الضغط الجذري لاتزيد عن 2 ضغط جوي في معظم الانواع النباتية وحجم الماء الممتص نتيجة الضغط الجذري عموما يكون ضئيلا اذا قورن بحجم الماء الممتص نتيجة القوة الثانية لامتصاص الماء وهي القوة السالبة.

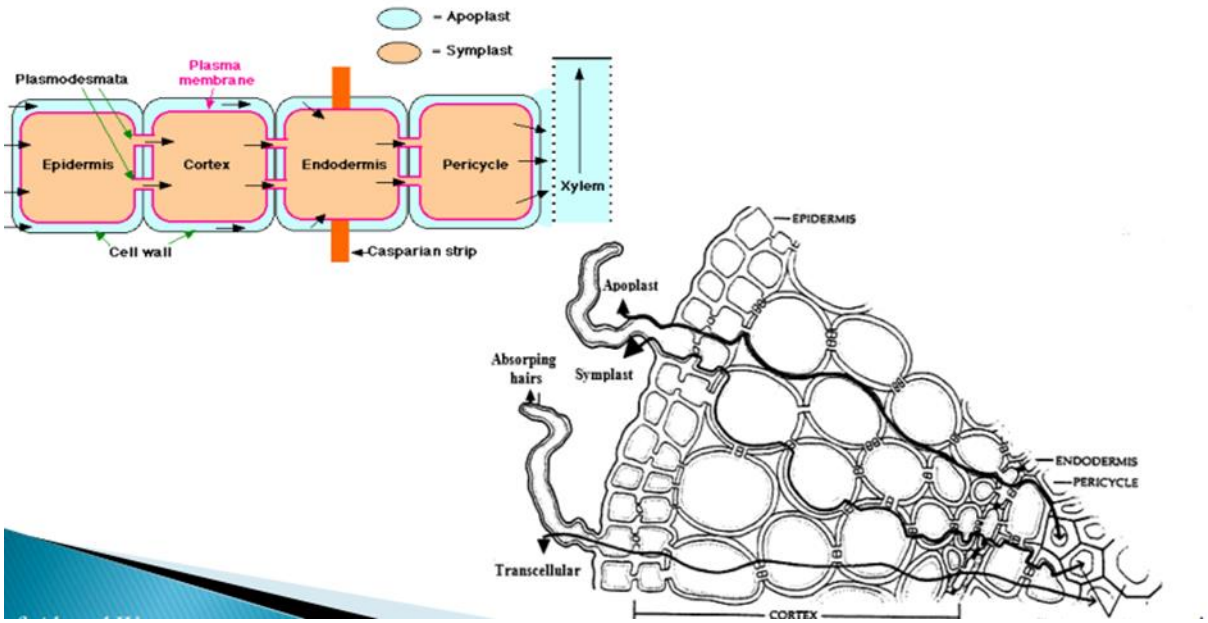
**2) القوة السلبية لامتصاص الماء Passive absorption**

يطلق عليها ذلك نظرا لان امتصاص الجذور للماء يتسبب عن قوة لاتنشا في الجذر نفسه اي ان خلايا الجذر في هذه الحالة ماهي الاطريق يمر الماء من خلاله من المحلول الارضي الى اوعية الخشب بقوة ناتجة من المجموع الخضري للنبات وخاصة في الاوراق (قوة الشد الناشئة عن النتح).

ويتخلص فعل القوة السلبية في انه كنتيجة لعملية النتح من الثغور في الاوراق يتبخر الماء من جدران خلايا الميزوفيل فيقل محتواها المائي وينقص الضغط الانتشاري للماء فيها عنه في الخلايا المجاورة وبدورها تمتص الماء من الخلايا المجاورة لها وهكذا يتتابع نقص الضغط الانتشاري للماء في الخلايا حتى يصل الى اوعية الخشب فيحدث لاعمدة الماء الموجودة بها شد tension نتيجة لامتصاصه منها بواسطة الخلايا المجاورة لهذة الاوعية في الاوراق ويعوض هذا الماء الممتص من اوعية الخشب من خلايا انسجة الجذر المجاورة لها فينقص الضغط الانتشاري للماء في هذه الخلايا عنه في الخلايا المجاورة وهكذا حتى يصل الى خلايا البشرة التي تقوم بامتصاص الماء من المحلول الارضي.

**مسار تحرك الماء خلال الجذر Path of water movement through root**

كما ذكرنا ان الماء يمتص بواسطة الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة " Epidermis" في منطقة الشعيرات الجذرية ثم يتحرك من هذه الخلايا الى انسجة القشرة (Cortex) متجها الى البشرة الداخلية Endodermis ثم الى البريسيكل Pere cycle وفي النهاية الى اوعية الخشب.




**ثانياً: انتقال الماء في النبات**

بعد امتصاص الماء فانه يصعد الى اعلى ليصل الى الاوراق والقمم النامية ضد الجاذبية الارضية، والطريقة الرئيسية او المسار الرئيسي لانتقال الماء يكون في تجويف الاوعية الخشبية من الجذر الى الساق فالاوراق.

**اهم النظريات التي تفسر آلية صعود الماء في النبات**

**نظرية الانتقال بالضغط الجذري:**

سبق ان علمنا ان الضغط الجذري هو احد العوامل التي تعمل على دفع الماء الى اعلى في الساق وتكون هذه القوة اكثر فاعلية عندما ينعدم النتح في بداية الربيع قبل تكون الاوراق الجديدة، ويعتقد البعض ان الضغط الجذري بمفرده كافي لصعود الماء عبر الساق ونحو الاوراق وذلك لان قوة الضغط الجذري غير كافي لبعض النباتات كما اثبتت الدراسات ان مجموعة النباتات المخروطية وهي من الاشجار العملاقة لاتمتلك ضغط جذري ولم يثبت وجودها بها، علاوة على ان عصير الخشب يكون عادة تحت شد وجذب واجهاد وليس تحت ضغط من اسفل. وعلى الرغم من ذلك فان قوة الضغط الجذري تكون هي احد القوة المسببة لرفع الماء وانتقاله الى النباتات الحولية.

❖ **النظرية الحيوية Vital theory**

تعتمد هذه النظرية على ان صعود الماء وانتقاله الى اعلى ما هي الا عملية حيوية ترجع الى خلايا برنكيميا الخشب وخلاياشعة الخشب الحية التي تعمل علا ضخ الماء اوعية الخشب المجاورة لها مما يؤدي الى ارتفاعه الى مسافة اعلى حيث انها تبذل قدر من الطاقة الناتجة عن عملية التنفس الى هذه العملية الا ان هذه النظرية استبعدت بالتجارب التي اجريت على سيقان مقطوعة غمرت في سائل به مادة سامة ادى الى قتل الخلايا الحية وبعد قتل الخلايا الحية لوحظ ارتفاع السائل في الساق مما يدل على ان موت الخلايا لم يؤثر على صعود السائل لاعلى في الساق.

❖ **نظرية ديكسون او الشد المتماسك Dixon or Cohesion– Tension theory**

تعتمد نظرية الشد المتماسك او عمد الماء على الخواص او الصفات المميزا للماء واهمها التماسك و الالتصاق وكذلك على الخواص التشريحية لنسيج الخشب وخواص الماء هاذة تعني ان جزيءات الماء تتماسك مع بعضها البعض وفي نفس الوقت تلتسق مع جدار الانبوبة او الوعاء الذي يوضع به الماء .ولو افترضنا عدم انقطاع عمود الاء الواصل بين ماء التربة و الجذر واعمدة الماء في الساق حتى الاوراق وهاذا اعتماد على خاصية الماء التلاصقية و التماسكية وهذة حقيقة اكيدة، لاادركنا كيفية انتقال الماء من التربة الى الاجزاء العليا في النبات عكس الجاذبة الارضية وعكس قوى الاحتكاك بجذر الاوعية الخشبية وهذ لان الماء لا يصعد الى اعلى الى اذا كان يخضع لقوى شد وجذب من اعلى وقوى دفع من الاسفل وفي مثلنا السابق لا توجد قوى دفع من اسفل اذا فأن صعود الماء يعتمد اساسا على قوى الجذب والشد من اعلى .

**ولكن كيف يتم تكوين قوى الشد والجذب العلوية؟**

عندما يتم تبخر الماء من خلايا النسيج المتوسط الملاصقة تماما للهواء المحيط عن الجهود المائية لخلايا نفس النسيج الملاصقة لها من الداخل. هذا النقص يعمل على انتقال الماء من الخلايا الداخلية الى الخلايا الخارجية ليعوض الماء المتبخر منها وليعادل الجهد المائي، ثم تسحب الخلايا الداخلية الماء من الخلايا الاكثر عمقا منها وهكذا دواليك حتى يصل السحب شد الماء الى اوعية الخشب في الاوراق، هذه الحالة من الشد تستمر خلال العمود المائي الغير مقطوع من الاوراق الى المجموع الجذري

فيصبح الجهد المائي في الخلايا الحية للجذر بداية من البريسيكل حتى البشرة اكثر سالبية من الجهد المائي للتربة وبالتالي يتم تنشيط وتشجيع الامتصاص.

**يمكننا الان التساؤل هل تستطيع قوة الشد Tensile strength للماء رفع عمود الماء الى قمم الاشجار العالية ام ان هناك قوى اخرى؟؟**

الاجابة على هذا السؤال هي نعم، حيث ان قياسات قوى الشد للماء الناتج عن النتح تزيد عن 300 بار ولصعود الماء الى قمة شجرة طولها 400 قدم (120 متر) يلزم اختلاف في الضغط بين القمة والقاعدة حوالي 13 بار وهكذا نلاحظ ان قوى الشد كافية لتحريك ورفع الماء الى اعلى حتى بوجود قوة الاحتكاك بجدران الاوعية.

تعتبرنظرية الشد المتماسك هي اكثر النظريات قبولا لتفسير ارتفاع وصعود الماء في النبات ولكن هذا لايعني ان الضغط الجذري غير قادر على تحريك الماء او انه لايدخل في عملية صعود الماء حيث انه ينشط عندما يقل النتح في النباتات ولكنه غير قادر بمفرده على ايصال الماء الى القمم العالية بالاضافة انه لايوجد في بعض الاشجار كا لصنوبريات.

واخيرا يجب الاشارة الى ان الظواهر الفسيولوجية مثل فقد الماء او تراكم الذائبات وتحركها وامتصاص العناصر تسبب بطريقة مباشرة او غير مباشرة زيادة في سالبية الجهود المائية وزيادة في تدرجها من مكان الى اخر مما يؤثر بشكل اكيد على تحرك الماء وانتقاله من مكان الى اخر.

# المحاضرة السادسة

# صور فقد الماء

## فقد الماء Loss of water

99-95% من الماء المُمتص بواسطة الجذور تفقده النباتات بعدة طرق أهمها النتح Transpiration ويتبقى منه 1-5 % 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 والرطبة تظهر على طول حواف أو قمم الأوراق نقاط مائية تظل عالقة بحواف النصل في مظهر يشبه الدموع ، لذا فان فقد 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 والرئيسة 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 glutamic acid، aspartic acid ... الخ، ومواد كثيرة أخرى مثل الدهون والبروتينات ويتراوح Ph هذا السائل من 5.0- 6.7 في غالبية النباتات.

## 2-النتح: Transpiration

النتح هو صورة من صور فقد الماء في النبات على صورة بخار من سطح اي جزء من اجزاء النبات المعرضة للجو وعلى الاخص الاوراق.

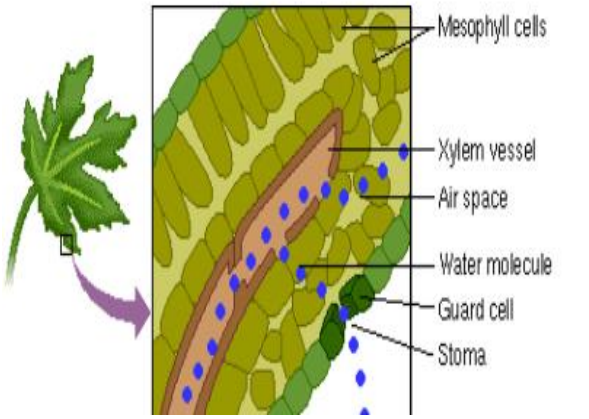
**انواع النتح:**

1) **النتح الادمي Cuticular transpiration**
2) **النتح العديسي Lenticular transpiration**
3) **النتح الثغري Stomatal transpiration**

النتح الادمي: هو فقد الماء من خلال طبقة الادمة التي تغطي الاجزاء الهوائية للنبات ونسبته تحت الظروف القصوى لاتتجاوز 10% من نسبة النتح الكلي، والنتح الادمي له اهمية كبيرة عند غلق الثغور في ظروف وجود الهواء الساخن.

النتح العديسي: هو فقد الماء عن طريق العديسيات التي تتخلل نسيج البريديرم في سيقان المسنة ولا تتعدى نسبته 0.1% من اجمالي الماء المفقود بالنتح.

النتح الثغري: يعتبر النتح الثغرى هو الأساس وهو المسلك الرئيسى والمسئول عن معظم الماء المفقود من النبات وتصل نسبته إلى حوالى 90 % أو أكثر من مجموع ما ينتحه النبات، ويتم فقد الماء بهذه الطريقة عن طريق الثغور Stomata(مفردهاstoma ) التى توجد فى بشرة الأوراق والسيقان الهوائية الحديثة، 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 سطح إلى أخر فى نفس الورقة.




| Plant Number of Stomata/mm² | | |
|---|---|---|
| | Upper Surface | Lower Surface |
| **Monocot** | | |
| Wheat | 50 | 40 |
| Barley | 70 | 85 |
| Onion | 175 | 175 |
| **Dicot** | | |
| Sunflower | 120 | 175 |
| Alfalfa | 169 | 188 |
| Geranium | 29 | 179 |

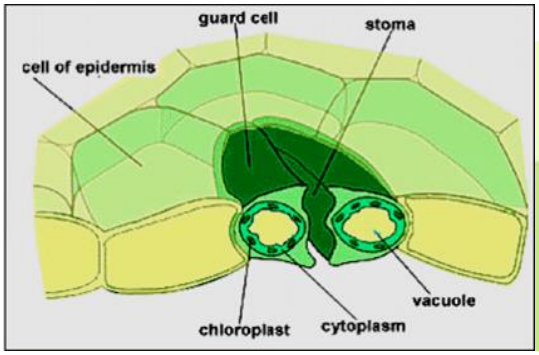
## فوائد النتح

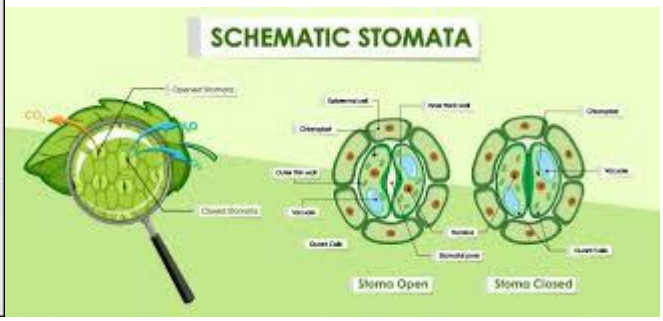
1- تبريد الأوراق وخفض درجة حرارة أسطح النبات المعرض للجو ووقاية النباتات من أخطار الحر الشديد حيث أن تبخر الماء يحتاج إلى حرارة يستمدها من خلايا الورقة فيسبب له برودة .

2- يسبب رفع العصارة وإمتصاص الماء وإنتقال كميات كبيرة من الماء والذائبات من الجذور إلى الأوراق وتوزيعها فى النبات.

## فسيولوجيا الثغور :

الثغور هي فتحات ميكروسكوبية دقيقة توجد فى بشرة الأوراق والسيقان الهوائية الحديثة ويفقد النبات حوالى 95 %من الماء عن طريقها .من أهم الصفات الفسيولوجية للنبات هي تبادل الغازات بين الأوراق والجو المحيط والتى من أهمها الأكسجين وثانى اوكسيد الكاربون وأيضا من هذه الصفات فقد الماء فى صورة بخار عن طريق الثغور إلى خارج النبات فى عملية النتح لكى يحدث الإتزان المائى داخل النبات . يختلف عدد الثغور بإختلاف النبات وبإختلاف العضو النباتي، يبلغ عددها 1000-10000 ثغر لكل سنتيمتر مربع، وتوجد الثغور عادةً على كلا سطحى الورقة، فى النباتات ذات الفلقة الواحدة تتوزع الثغور بشكل منتظم على سطحى الورقة بينما فى النباتات ذات الفلقتين يكون عددها أكبر على السطح السفلى للورقة وهذه الإختلافات تناسب تماما الوسط البيئى وكيفية تعرض الأوراق للشمس أو للحرارة. والثغور إما أن تكون مبعثرة فى نسيج البشرة كما فى ذوات الفلقتين أو تكون مرتبة فى صفوف كما فى ذوات الفلقة الواحدة.




**ميكانيكية الفتح والغلق في الثغور**

**Stomatal Mechanisms of opening and closing**

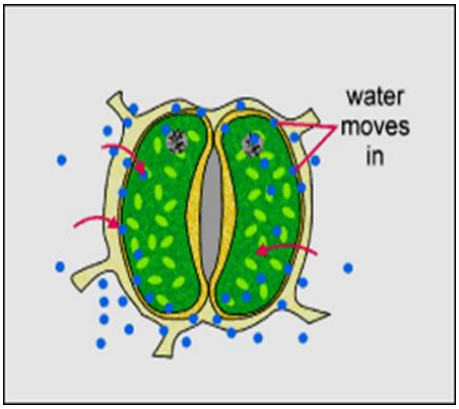
**نظرية سكارث Scarth أو نظرية نشأ- سكر The starch-sugar hypothesis**

أُعتمدت 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 اطلاق كميات كبيرة من $CO_2$ بسبب توقف عملية التمثيل الضوئي وكذلك بسبب اطلاقة 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.

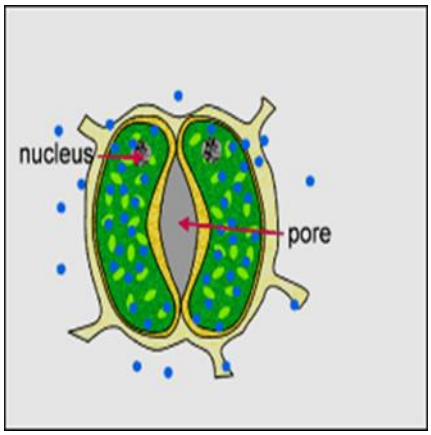
**السؤال هو كيف تتم عملية الفتح؟**

## اثناء النهار:

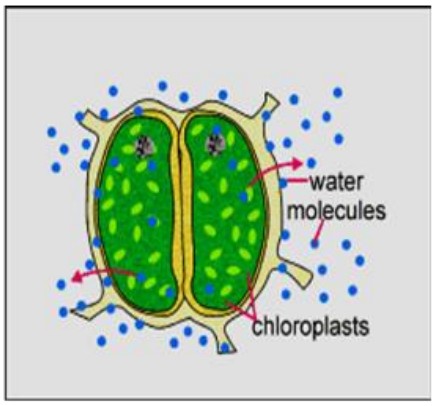



يقوم النبات بعملية التمثيل الضوئي في البلاستيدات الخضراء للخلايا الحارسة، إذ يتكون السكر اثناء النهار، وهذا السكر المتكون يعمل على خفض الجهد المائي في الخلايا الحارسة ونسبة $CO_2$ تنخفض نتيجة لامتصاصه واستعماله في عملية التمثيل الضوئي وهذا الانخفاض يعمل على خفض حموضة الخلايا الحارسة او ارتفاع pH أي يصبح وسط الخلايا الحارسة اكثر قاعدية. هذا الوسط القاعدى يشجع تحول النشاء إلى سكر عن طريق تنشيط إنزيم الPhosphprylase ، هذا الانزيم حساس جدا لعملية التغير التغير فى الـ pH ، اذا زيادة السكر من عملية التمثيل الضوئى مباشرة وكذلك تحول النشاء إلى سكر عن طريق خفض $CO_2$ وزيادة الـ pH يعمل على نقص تركيز الماء الحر داخل الخلية، وهذا النقص في تركيز الماء الحر يعمل على إنخفاض الجهد المائي للخلايا الحارسة. مما يؤدى إلى إندفاع الماء من خاليا البشرة المحيطة إلى الخلايا الحارسة . يؤدي اندفاع الماء الى الخلايا الحارسة إلى إنتفاخها وزيادة ضغط الامتلاء الذي يسبب تقوس الجدار الرقيق البعيد عن الفتحة للخلف جاذبا معه الجدار السميك المواجة لفتحة الثغر حيث ينحني للداخل وهذا يما يسبب **فتح الثغر**.

## اثناء الليل:




**يتوقف** التمثيل الضوئي ويتوقف **تكوين السكر** وبالتالي سحب ثنائي اوكسيد الكاربون يتوقف ويستمر التنفس الخلوي وبالتالي نسبة ثنائي اوكسيد الكربون تزداد في محيط الخلايا الحارسة. وهذة الزيادة تسبب انخفاض pH أي ان الوسط يصبح اكثر حموضة وهذا يسبب **تحول السكر الى نشاء** في الخلايا الحارسة وبما ان النشاء لايذوب 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.




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 5الى7 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 دورا رئيسا في عملية الفتح والغلق.

# المحاضرة السابعة

## 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؟

**أولا/ العوامل المؤثرة في عملية الفتح والغلق:**

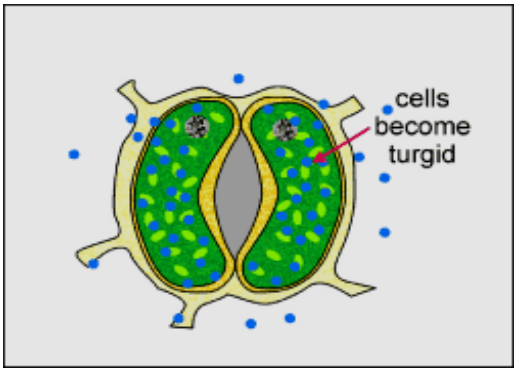
أ- نظام داخلي المنشأ أي ما يمكن تعريفة بالساعة البيولوجية – الثغور عادة تفتح اثناء النهار وتغلق اثناء الليل (بعض النباتات العصارية التي تعيش في المناطق الحارة والجافة لها نظام عكسي وذلك حتى تقتصد في فقد الماء وتحافظ عليه). رغم ذلك فإن الثغور تبقى تفتح وتغلق على مدار 24 ساعة حتى لو عرضت إلى ضوء مستمر. 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 دورا في عملية فتح وغلق الثغور. النباتات الذابلة تغلق ثغورها ويعتقد أن هرمون الأبسسيك (ABA) يلعب دورا وسيطا 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 الأبسسيك.

ت- المستوى المنخفض من $CO_2$ 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 $CO_2$ تسبب غلق الثغور.

ث- الضوء: يسبب الضوء فتح الثغور. الحد الأدنى من الضوء لفتح الثغور عند معظم النباتات يتراوح بين33% إلى0.1% 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.



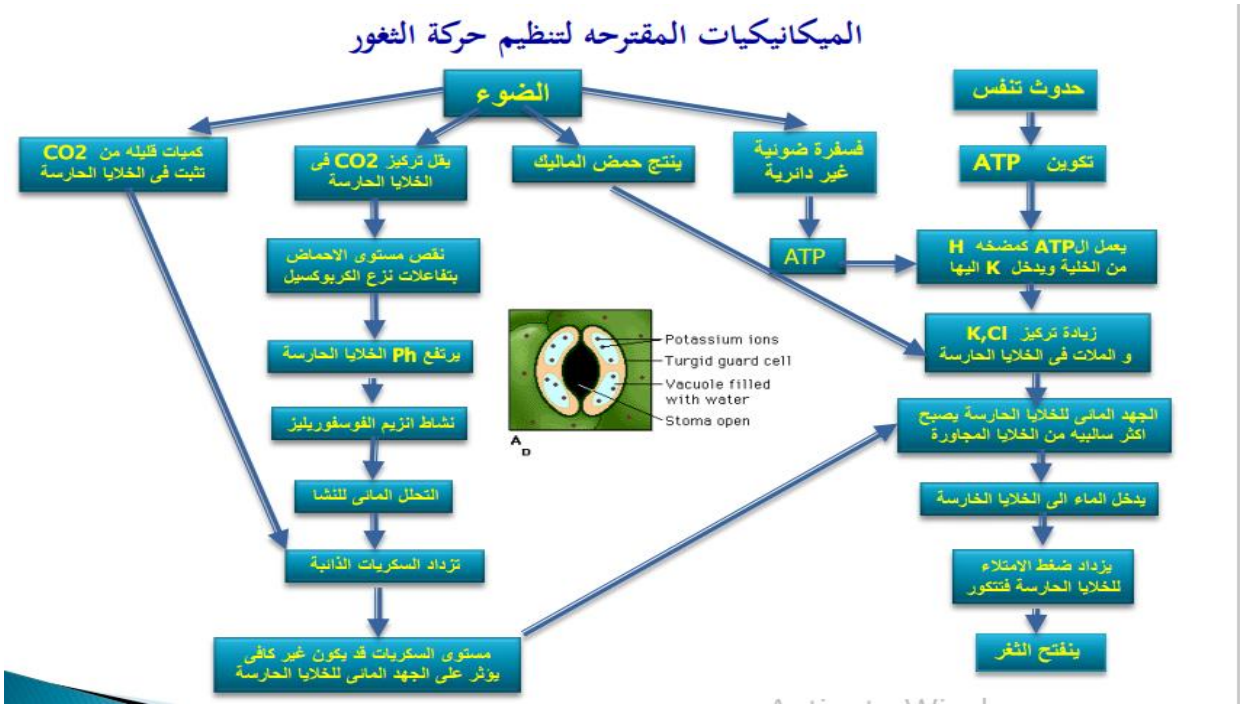

**كيف تتم حركات الفتح والغلق؟**

الموجات الضوئية الزرقاء تمتص بواسطة صبغة (pigment carotenoid – α ) zeaxanthin وهذا يؤدى إلى تنشيط مضخة البروتونات فى أرشية الثيالكويدات للخلايا الحارسة مما يعمل على ضخ البروتونات (أيون أو بروتون الهيدروجين) خارج سيتوبلازم الخلايا الحارسة مولداً حركة نشطة للبروتوناتprotone motive force أي تدرج كهروكيميائى عبر الغشاء مما يحدث تغيرات كبيرة في الـ pH (حيث تتغير من 5-4 الى 7-6) منتجا توتراً عبر الاغشية يصل أحيانا إلى 120 فولت وهذا ما يؤدى إلى فتح القنوات البروتينية التى تسمح بالتدفق السلبى لأيونات البوتاسيوم الموجبة إلى داخل الخلايا الحارسة لكى يعادل خروج البروتونات، ويتم أيضا دخول أيونات الكلوريد السالبة عن طريق تزاوجها ( Coupled ) مع بعض البروتونات العائدة عبر القنوات Cl / H symport حتى يتم معادلة وإتزان الشحنات الكهربائية (انظر مضخة اليونات). هذا التراكم الأيونى يعمل على خفض الجهد المائى داخل الخلايا الحارسة مؤديا إلى إنتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالى فتح الثغور.

عملية تكسير النشا إلى حمض الفسفوإينول بيروفيك(Phosphoenol pyruvate(PEP) تنشط بواسطة الضوء الأزرق وال ( PEP ) المتكون يتحد مع ثانى أكسيد الكربون مكونا ( الاكسالو أستيك أسد ) (Oxaloacetic acid الذى يتحول بدوره إلى حمض الماليك (Malic acid) . أيونات الهيدروجين المتكونة من حمض الماليك هى الايونات التى يتم ضخها للخارج عبر الغشاء البلازمى من مضخة الأيونات التى تم ذكرها سابقا .

وبالتالى يظهر هنا أن إمتصاص أيونات البوتاسيوم داخل الخلايا الحارسة ناتج عن تكون بروتونات الهيدروجين من حمض الماليك فى الخاليا الحارسة، وهذا يسبب زيادة فى المواد التى تسبب إنخفاض الجهد المائى فى الخلايا الحارسة والناتج عن تكسر النشا داخلها. هذا

التراكم الأيونى وإنخفاض الجهد المائى داخل الخلايا الحارسة يزداد مع تقدم النهارعن طريق تكوين السكر الناتج من بدء نشاط عملية التمثيل الضوئى وكذلك فإن الضوء الأزرق يعمل على تحلل النشا إلى سكر.



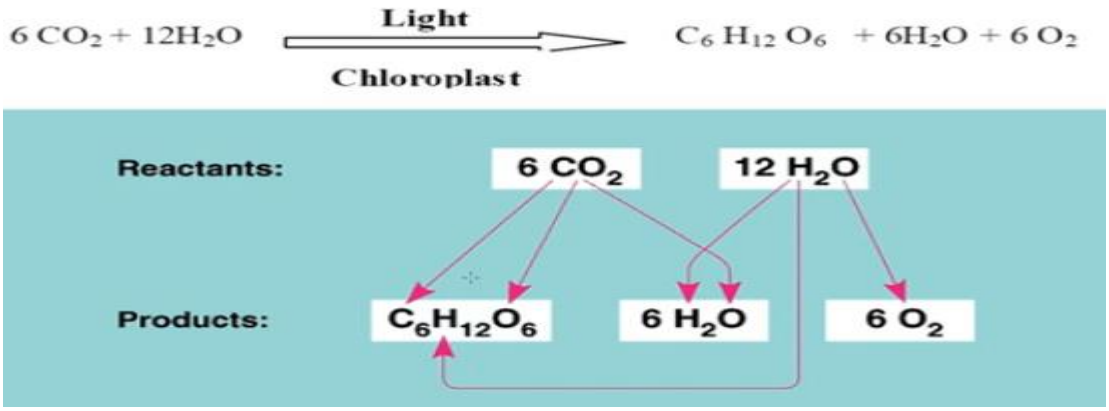
# المحاضرة الثامنة

# عملية البناء الضوئي

## البناء الضوئي Photosynthesis

يعتبر البناء الضوئي اهم عملية كيميائية تحدث على سطح الكرة الأرضية كما تعتبر النباتات الخضراء مختلف أنواع اكبر مصنع حيوي لانتاج المواد العضوية المعقده ( الكربوهيدرات) اللازمة لكل الكائنات الحية. **والبناء الضوئي هو عملية** يتم فيها بناء مواد كربوهيدراتية(سكريات) من مواد غير عضوية بسيطه هي ثاني اوكسيد الكربون والماء باستخدام الطاقه الضوئيه مع تصاعد الاوكسجين كناتج ثانوي.

**يعرف البناء الضوئي على انه عملية تحويل الطاقة الضوئية** الى طاقة كيميائية تستخدم في بناء المواد الكربوهيدراتية من مكونات أولية ثاني اوكسيد الكربون والماء، **تعريفه ايضا على انه عملية تحويل ثاني اكسيد الكربون والماء** الى سكريات غنيه بالطاقه باستخدام الطاقة الشمسية




### صبغات البناء الضوئي

تقوم النباتات الخضراء عن طريق جهاز البناء الضوئي في امتصاص الطاقة الضوئيه (طاقة الشمس) وتحويلها الى طاقه كيميائيه داخل البلاستيدات الخضراء المجهزة بطبقات معقدة من الأغشية التي تحوي الطبقات الأساسية في البناء الضوئي. والصبغات هي مركبات عضوية تمتص الضوء بواسطة الحاملات الصبغات. وليست كل الصبغات النباتيه مهمه في امتصاص الطاقة الضوئية اللازمة لعملية البناء الضوئي ولكن تشترك ثلاث مجموعات فقط منها في عملية البناء الضوئي.

الصبغات المشتركة في البناء الضوئي ثلاثة أقسام هي:

1-الكلوروفيلات Chlorophylls

2-الكاروتينويدات Carotenoid

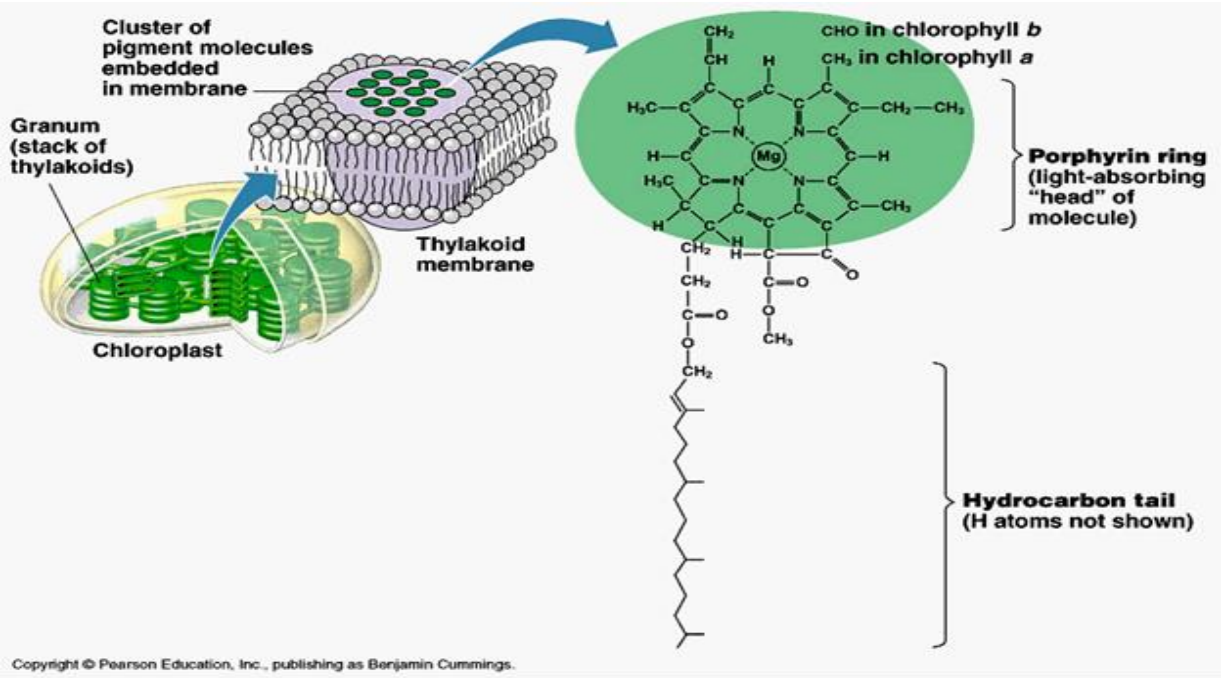
3-الفيكوبلينات Phycobillins

اولا: الصبغة الأساسية ( صبغات الكلوروفيلات)

هي اهم واكثر الصبغات النشطة في عملية البناء الضوئي وهي الصبغات الأساسية المسؤولة عن هذه العمليه خصوصا كلوروفيل a ،b وهي مركبات بورفيرينات المغنيسيوم تنتجها النباتات طبيعيا.

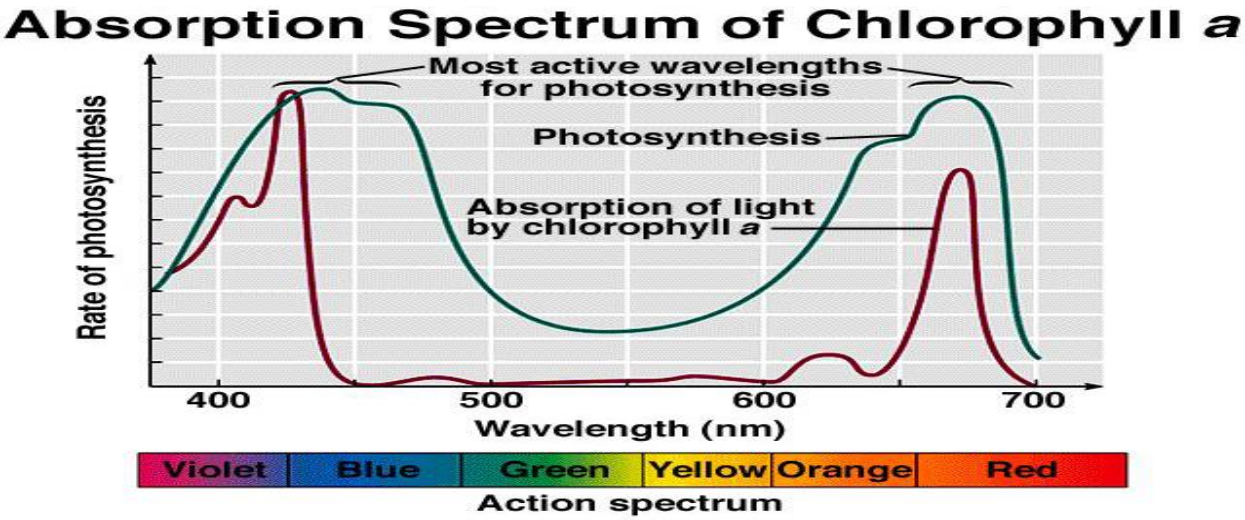
تركيب جزيء الكلوروفيل: يتركب جزيء الكلوروفيل من جزئين رئيسيين الرأس والذيل:

- الراس : عبارة عن حلقة بورفرين التي تتكون من اربع حلقات بيرول تحيط بذرة المغنسيوم وسطها وترتبط معها عن طريق ذرات النتروجين.
- الذيل : يتكون من سلسلة طويلة من كحول الفيتول (20 ذرة كاربون) مرتبطة برابطة استر مع مجموعة الكربوكسيل لذرة الكابون السابع في حلقة البورفرين.




انواع الكلوروفيلات المعروفة هي:

- كلوروفيلات a,b,c,d,e
- كلوروفيلات البكتريا a ,b
- كلوروفيلات الكلوروبيوم 650, 660




الكلوروفيلات a ,b هي اهم الانواع في النباتات الراقية ، وعادة تكون نسبة كلوروفيل a الى كلوروفيل b في النباتات الراقية عادة 1: 2 ونسبة الكلوروفيلات الى الصبغات الاخرى حوالي 70% ويختلف كلوروفيل a عن كلوروفيل b في :

1- لون كلوروفيل a اخضر مزرق ولون كلوروفيل ب اخضر مصفر.

2- ترتبط ذرة الكاربون رقم 3 في حلقة البيرول الثانية لجزيء كلوروفيل a بمجموعة ميثيل ($CH_3$) بينما ترتبط بمجموعة الديهايد (CHO) لجزيء كلوروفيل b.

3- اطياف الامتصاص لكلوروفيل a: هي 410 نانومتر إلى 660 نانومتر. اما كلوروفيل b فهي 452 نانومتر إلى 642 نانومتر. ولهما ذرة امتصاص في المنطقة الزرقاء (440 نانومتر) والمنطقة الحمراء (660 نانومتر)، لاتمتص الموجات الضوئية في المنطقة الخضراء والصفراء (500-600 نانومتر) بل تنفذ خلالها لذا تظهر الاوراق باللون الاخضر.

4- الرمز الكيميائي لكلوروفيل a هو . $C\ 55\ H\ 72\ MgN\ 4\ O\ 5$

والرمز الكيميائي لكلوروفيل b هو . $C\ 55\ H\ 70\ MgN\ 4\ O\ 6$

**الصبغات المساعده:**

صبغات تمتص الطاقة الضوئية عند أطوال الموجات التي لا يمتصها الكلوروفيل ثم تنقلها الى الكلوروفيل لاتمام عملية الضوئي وهذه الصبغات المساعدة الكاروتينويدات الفايكوبلينات.

**صبغات الكاروتينويدات**

تتواجد في جميع الخلايا الممثلة للضوء جنبا إلى جنب مع الكلوروفيل بنسبه 1 : 2-3. الكاروتينويدات مركبات هيدروكربونية غير مشبعة ذو سلسله مستقيمة من مركبات التربينويد التي تتكون من ثماني وحدات من الايزوبرين واغلبها تحتوي على 40 ذره كربون، وتختلف انواعها باضافة هيدروجين او نزعه بالاكسده وتكوين حلقه. تمتص الموجات الضوئية في المنطقة الزرقاء و البنفسجيه والتي لا يمتصها الكلوروفيل(380- اغاني520)نانومتر.

تقسم الكاروتينويدات حسب وجود الاكسجين او غيابه الى مجموعتين هما:

**1- الكاروتينات:** وهي خاليه من الاوكسجين في تركيبها الكيميائي و رمزها الكيميائي هو ( $C_{40}H_{56}$ اشهر مركباتها هي بيتا كاروتين وكذلك صبغة الليكوبين التي توجد في ثمار الطماطم خارج البلاستيدات.

2- **الزانثوفيلات:** وهي تحتوي الاوكسجين في تركيبها الكيميائي واهما صبغة الليوتين ورمزها( $C_{40}H_{56}O_4$ ). رغم أن وظائفها لم تدرس بشكل واضح ألا أنها تقوم بامتصاص الضوء الأزرق وامرار الطاقة للكلوروفيل وحمايته من الأكسدة الضوئية بامتصاص الفائض من الضوء الأزرق.

## ميكانيكية البناء الضوئي

البناء الضوئي هو عملية حيوية يتم من خلالها تحويل ثاني اكسيد الكربون والماء الى سكريات غنيه بالطاقه باستغلال الطاقة الشمسية مع تصاعد الاكسجين. تنقسم عملية البناء الضوئي الى قسمين أو نوعين من التفاعلات هما: تفاعلات الضوء وتفاعلات الظلام.

أولا: تفاعلات الضوء Light reaction

1- تحدث هذه التفاعلات في أغشية الثايلاكويدات.

2- يلزمها وجود الضوء ولا يلزمها وجود $CO_2$

3- تفاعلات سريعة و لا تتاثر بدرجة الحرارة لانها تفاعلات غير انزيمية.

4- الطاقة الضوئية هي المسئولة عن اثارة جزيئات الكلوروفيل و حدوث التفاعلات الاتية :

أ- أكسدة الماء ضوئيا (انحلال الماء ضوئيا) وتصاعد الاكسجين.

$$H_2O \longrightarrow 2H + 2e^- + 1/2O_2$$

$$2H_2O \longrightarrow 4H + 4e^- + O_2$$

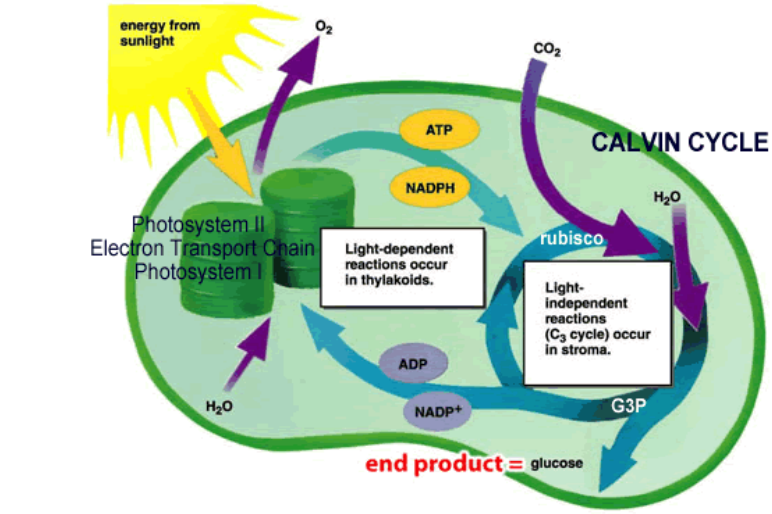
ب- تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية وانتاج القوة التمثيلية Assimilatory power من خلال:

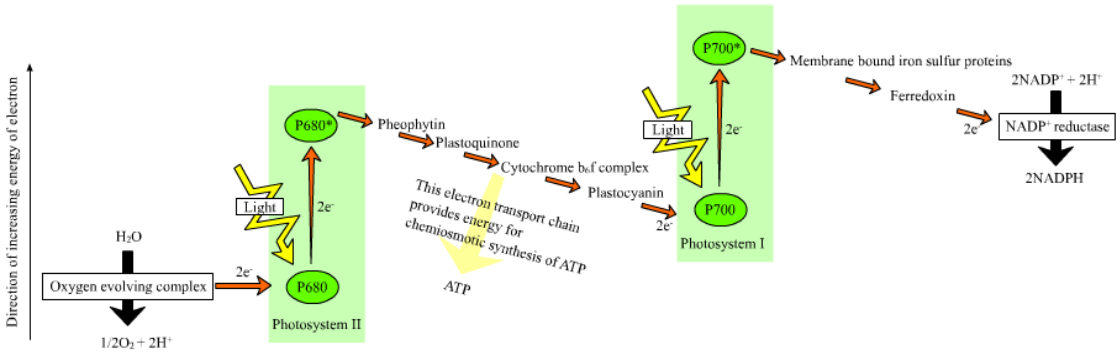
1- الفسفرة الضوئية Photophosphorylation

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP$$

2- الاختزال الضوئي Photo reduction

$$NADP^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH_2$$




**ثانياً: تفاعلات الظلام Dark reactions أو التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.**

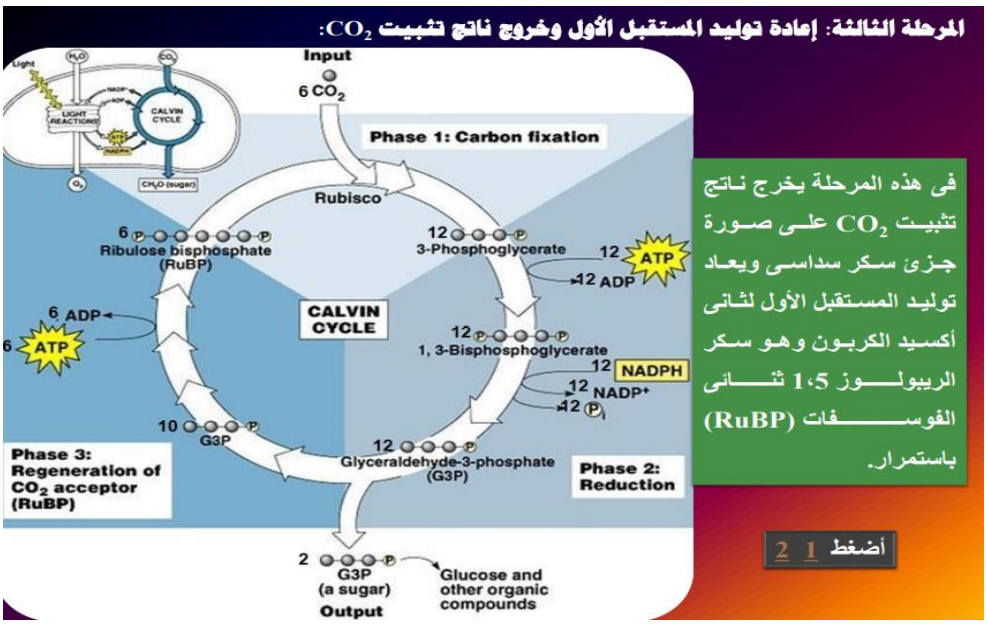
هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي التي تجرى بمعزل عن تأثير الضوء اذ ان NADPH وِATP الناتجة من تفاعلات الضوء تستغل لغرض تثبيت واختزال CO2 ليكون [CH2O] بشكل جزيء كاربوهيدرات وهي عملية بناء لانها تتطلب تكوين روابط جديدة. ان المركبات الناتجة من اكسدة جزيئتين من الماء ضوئيا وهي 3 جزيئات ATP + 2 جزيء NADPH2 تكفي لتثبيت واختزال جزيء واحد من CO2 كما موضح بالمعادلة التالية:

$$CO_2 + 2H_2O + 3ATP + 2NADPH_2 \xrightarrow[\text{Chloroplasts}]{\text{Light}} CH_2O + H_2O + O_2 + 3ADP + 2NADP$$

يتضح من المعادلة السابقة ان تثبيت جزيء واحد من CO2 ينتج عنه جزيء CH2O وهي اصغر وحدة بنائية للسكريات، وبالتالي لكي يتكون جزيء واحد من سكر سداسي مفسفر C6H12O6 (الناتج الرئيسي لتفاعلات الظلام) فانه يلزم تثبيت 6 جزيئات CO2 وهذه يلزم لتثبيتها واختزالها طاقة تمثيلية تتالف من 18 جزيء من ATP و 12 جزيء من NADPH وهذه الطاقة التمثيلية التي يتم تكوينها من عملية الفسفرة الضوئية .

**هناك مسارين لاختزال CO2** احدهما مايسمى بدورة كالفن Calvin cycle وفيها وجد ان المركب الاول الذي يتكون في عملية تثبيت CO2 هو مركب ثلاثي ذرات الكاربون(3–فوسفو حامض الكليسريك Phosphoglyceric acid) ( 3–PGA ). والنباتات التي تحدث فيها هذه المسارات **تسمى نباتات C3، 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 $C_4$ في عدد من الخصائص التشريحية والفسيولوجية 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 Shcath. وتعود الكفاءة العالية لنباتات $C_4$ بنسبة كبيرة الى قلة أوغياب التنفس الضوئي (وهو التنفس بوجود الضوء وحرق 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.** لاتوجد عائلة نباتية تستعمل دورة $C_4$ فقط، إذ لابد من وجود دورة $C_3$ معها.




**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 60ْ 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 في عملية البناء الضوئي أهمها:**

**أ – الأوكسجين ضروري لعملية التنفس وهذه تتنافس مع عملية البناء الضوئي على بعض المركبات الوسطية المهمة المشتركة للعمليتين.**

**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 الرئيسة 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.

# المحاضرة التاسعة

## تغذية النبات

تحتاج النباتات إلي العناصر الغذائية كأي كائن حي لكي تقوم بجميع العمليات الحيوية التي تكون محصلتها النهائية النمو الطبيعي والإزهار والإثمار حيث تدخل العناصر الغذائية في بناء أنسجة النبات التي تتكون من الكربوهيدرات والدهون والبروتينات وتقوم العناصر المعدنية بتنشيط الإنزيمات اللازمة لتكوين هذه المركبات العضوية. ولكي تقوم النباتات الخضراء ببناء المركبات العضوية العقدة (الكربوهيدرات والدهون والبروتينات) خلال عملية الميتابوليزم يلزمها توفر مواد غير عضوية وهي ثاني أكسيد الكربون والماء والعناصر الغذائية الغير عضوية (العناصر المعدنية) ويمتصها النبات من البيئة المحيطة به ويطلق عليها التغذية المعدنية Mineral Nutrition وتسمي العناصر الغذائية التي يمتها النبات من التربة اسم العناصر المعدنية Mineral elements ومن ضمنها النيتروجين وهو عنصر غير معدني ويحصل عليه النبات من التربة بينما يحصل علي الأكسجين والهيدروجين والكربون من الهواء والماء. لكي يعطي النبات أعلي محصول ويكمل دورة حياته طبيعيا يجب إمداده بالعناصر المغذية المختلفة بالكميات اللازمة وفي الوقت المناسب خلال مراحل نموه الفسيولوجية المختلفة.

### مكونات النبات

تحتوي الأنسجة الخضراء للنبات على حوالي 80 – 90% ماء، و20 –10% ماده جافه ويبنى التحليل الكيميائي للنباتات على اساس الماده الجافه لانها الاكثر ثباتا ، تتكون المادة الجافة للنبات من شقين رئيسيين هما:

1- الماده العضوية: وتمثل حوالي 90 الى 95% من الماده الجافه وتتكون بصفه اساسيه من الكربون 45% والاوكسجين 45% والهيدروجين 6% وهذا الجزء قابل للاحتراق.

2- الرماد(الشق المعدني) : ويمثل حوالي 5-10% من الماده الجافه وهو غير قابل للاحتراق يمكن الحصول عليه بحرق الماده النباتيه الجافه على درجه حراره عاليه او هضمها بواسطه مخلوط من الاحماض وفي النهايه نحصل على الرماد الذي تصبح مركباته على صوره اكاسيد او كربونات او املاح حسب عمليه الحرق او الهضم واهم عناصرها الغذائيه هي الفسفور الكالسيوم المغنيسيوم –البوتاسيوم– الكبريت –الصوديوم –حديد –الزنك– النحاس –البورون– المولبيدنيم – كلور.

**شروط تحدد كون العنصر الموجود داخل النبات عنصر ضروري غذائي او عنصر غير ضروري عنصر كيميائي هي:**

1- حساسيه للنمو الطبيعي والتكاثر في النبات ويدخل العنصر مباشرة في عمليات داخل النبات يدخل كمكون أساسي في تركيب النبات في اي كميه ولو بسيطه جدا

2- عند غياب او نقص هذا العنصر من وسط النمو لايستطيع النبات ان يكمل دورة حياته ( النمو الخضري والثمري).

3- لا يمكن لاي عنصر اخر ان يحل محله في القيام بوظيفته الحيويه في النبات اي لا يمكن استبداله بعنصر اخر يحل محله او يقوم بدوره الخاص في النبات ونقصه يكون مصحوبه بأعراض معينة لا تزول الا باضافه هذا العنصر دون غيره وفي الوقت المناسب خلال مراحل نمو النبات .

على ذلك تم تقسيم العناصر حسب اهميتها للنبات الى قسمين:

**العناصر الضرورية** : وهى التى توجد فى النبات بكمية كبيرة وكمية وجودها فى التربة كافية لسد حاجة النبات منها وفى حالة عدم كفايتها لابد من اضافتها للتربة ( التسميد) لتعويض النقص وحتى لا تعانى النباتات من الحرمان عند عدم اخذ كفايتها منها ، ولو اخذ النبات منها كمية اكبر من حاجته اليها فأنها تسبب له التسمم . وقد قسمت العناصر الضرورية الى مجموعتين هما

**:العناصر الكبرى** : وهى ستة عناصر **هى النيتروجين, N الفسفور, Pالبوتاسيوم , K الكالسيوم , Ca المغنسيوم , Mg الكبريت S بالاضافة الى الكربون C و الاوكسجين $O_2$ والهيدروجين+ H** الذى يحصل عليهم النبات من امتصاص غاز ثانى اكسيد الكربون $CO_2$ اثناء عملية التمثيل الضوئى والماء المستخدم فى نفس العملية.

**العناصر الصغرى** : وهى عناصر ضرورية ولكن لا يحتاجها النبات بكميات كبيرة وهى جميعها تعمل كعناصر منظمة للنمو حيث انها تعمل كمساعدات انزيمية Cofactor ولا تدخل فى تركيب المركبات الاساسية للنبات (كربوهيدرات , بروتينات , دهون) والعناصر الصغرى ست عناصر هى **الحديد , والمنغنيز, البورون , الزنك , النحاس , الموليبدنيم** . ويعتبر البعض أن الحديد عنصرا من العناصر الكبرى والبعض الأخر لا يعتقد هذا ويبدو ان الامر يتعلق بالنبات ففى حالة احتياج النبات لهذا العنصر بكميات كبيرة يعتبر عنصرا من العناصر الكبرى , وفى حالة احتياجه بكميات قليلة يعتبر عنصرا من العناصر الصغرى . وهناك معيار اخر يمكن ان يحدد لنا مدى احتياج النبات وكونه من العناصر الكبرى ام الصغرى وهى نفس المعيار التى نحكم بها على كون المحلول المغذى محلول جيد يفى باحتياجات النبات. وهذا المعيار هو نسبة تركيز العنصر فى صورته الايونية والتى تتفاوت مع نسبة الايونات فى المحلول الارضى للاراضى الخصبة التى تمد النبات بأحتياجاته فلا يعانى من نقص اى من العناصر الضرورية

**العناصر الغير ضرورية** : وهى التى لا ينطبق عليها شروط العناصر الضرورية بمعنى عدم تأثير نمو النبات بها ولا تدخل فى تركيبه ولا تؤثر فى محصول النبات النهائى ولكنها ضرورية للانسان ويظل لها دور فى النبات وهو حفظ التوازن الايونى داخل النبات ، والعناصر الغير ضرورية هى الكلورين , الصوديوم , اليود , السيلكون , الامونيوم.

**مصدر العناصر الغذائية اللازمة للنبات**

تحصل النباتات على احتياجاتها من العناصر الغذائيه من ثلاثة مصادر

1- الهواء الجوي و تحصل منه على عنصري الكربون في صورة ثاني اوكسيد الكربون والاوكسجين في صوره ثاني اوكسيد الكاربون او اوكسجين.

2- الماء و تحصل منه على عنصري الهيدروجين والاوكسجين في صورة .H2O

3- التربة و تحصل منها على احتياجاتها من باقي العناصر المغذية

تعتبر التربة هي المهد الطبيعي لنمو النبات وفيها تمتد جذوره وتتعمق باحث عن الماء والغذاء وبالتالي يتأثر نمو النبات في خواص هذا المهد وقدرته على إمداد النبات احتياجاته من العناصر الغذائيه المختلفه بالكميات المناسبة وفي الوقت المناسب و تتكون التربة الزراعية من ثلاث مكونات رئيسية هي الجزء الصلب والجزء السائل و الجزء الغازي و تتواجد العناصر الغذائية في **الجزء الصلب** داخل مركبات كيميائية قد تكون غير عضوية( معادن اوليه وثانويه) او داخل المركبات العضوية أو ذائبة في **الجزء السائل** (المحلول الأرضي).

المعادن الأولية تنتج من تفتت الصخور بفعل عوامل التجوية الطبيعية ولا يتغير تركيبها الكيميائي عما كانت عليه في الصخر الأصلي. وترجع أهمية هذه المعادن الى انها تعتبر دعامة للنباتات و مخزن للعناصر الغذائية التي يحتاجها النبات.

تعتبر المادة العضوية من أهم مكونات الأرض ذات النشاط الكيميائي و تتكون المادة العضوية من مخلفات النباتات والاحياء و اهمها الجذور والاوراق المتساقطه مخلفات المحاصيل عند الحصاد. كذلك من الكائنات الحية الدقيقة الارضيه البكتيريا والطحالب والفطريات والديدان الأرضية وتوجد مختلطة مع معادن التربة وتساهم في إمداد الأرض كميات مختلفة من العناصر وخاصة من النيتروجين والفوسفور والكبريت . كما ان الجزء العضوي في التربة له سعة تبادلية كاتيون عالية نظرا لتأين مجموعات الكربوكسيل المواد العضوية.

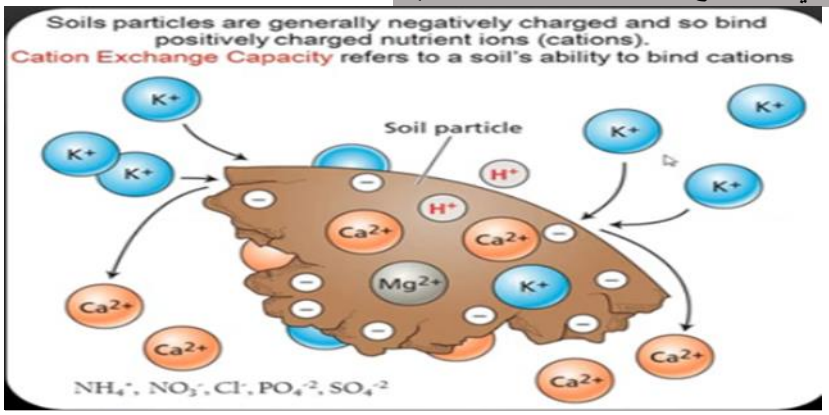
يقصد **بالمحلول الارضي** ذلك السائل الذي يوجد في الأرض تحت الظروف الحقلية العاديه ممسوك ضد قوى الجاذبية الأرضية ويحتوي على كميه من الأيونات ومواد غروية كما قد يحتوي على ملوثات عضوية او غير عضوية كنتيجة للنشاط الإنساني. وكل هذه المكونات السابقه تكون في حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات الأرض

**الجزء الغازي** يوجد في المسافات البينية في صورة حرة كما يوجد ذائبا في ماء التربة و يختلف عن الهواء الجوي في احتوائه على نسبة اعلى من غازثاني اوكسيد كاربون ونسبه اقل من الاوكسجين ويكون مشبع ببخار الماء ماعدا في الاراضي الجافة.

صلاحية عناصر التربة للنبات

ليست كل العناصر الموجودة في التربة صالحة للامتصاص بواسطة النبات فالعناصر الموجودة في تركيب المعادن الأولية وكذلك الموجوده في صوره أملاح غير ذائبه في المحلول الارضي وكذلك العناصر المثبته في معادن الطين كلها عناصر غير صالحة للامتصاص بواسطه النبات رغم وجودها في التربه بتركيزات عاليه. و العناصر الصالحه للامتصاص بواسطة النبات هي العناصر التي توجد في الصوره الايونيه وتمثل التربه الزراعيه جميع الكاتيونات المدمصه على اسطح معادن والطين الماده العضويه والانيونات الموجوده في محلول التربه وتعتبر كمية هذه العناصر مقياساً لخصوبة التربة.

س: ماهي العناصر التي لايستطيع النبات امتصاصها من التربة؟



**أهم الوظائف أو الأدوار الفسيولوجية للعناصر الضرورية**

**1** –عناصر تركيبية تدخل في تركيب مركبات عضوية خاصة مثل البروتينات والبروتوبلازم والجدار الخلوي– الكلورفيل – ومركبات الطاقة – السيتوكرومات– والفردوكسين مثل عناصر (النيتروجين ، الفوسفور ، والمغنسيوم ، الكالسيوم، الكبريت والحديد) .

2 –عناصر تنشيطية تعمل بعض العناصر علي تنشيط العديد من الإنزيمات والمرافقات الإنزيمية التي تؤثر في تفاعلات الأكسدة والاختزال مثل عناصر الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنسيوم والزنك والمنغنيز والنحاس والموليبدنيم .

3 –عناصر تعمل كعوامل مساعدة للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلايا مثل تفاعلات الهدم والتمثيل مثال عناصر الحديد والنحاس والمنغنيز والزنك والمغنسيوم والكبريت والكالسيوم .

4 –عناصر تنظيم الاتزان الأيوني في الخلايا والتأثير علي العلاقات الأسموزية مثل عنصر البوتاسيوم ، الكالسيوم ، الصوديوم ، الكلور والفوسفات والنترات والكربونات .

5 –عناصر تلعب دور هام في نقل الطاقة في الخلايا مثل الفوسفور ، الأكسجين والهيدروجين.

6 –عناصر تلعب دور في نقل بعض المركبات العضوية مثل البوتاسيوم يلعب دور في نقل الأحماض العضوية والأمينية .

7 –عناصر تلعب دور في التخزين مثل النيتروجين والفوسفور والكبريت.

8 –عناصر لها تأثير مضاد علي العناصر الأخري مثل النحاس والبوتاسيوم.

**امتصاص العناصر الغذائية بواسطه النبات**

تمتص النباتات العناصر الغذائيه عادة من خلال جذورها كما تستطيع امتصاصها من خلال الاوراق عند رشها بمحلول مغذي(التغذية الورقية). وتمتص النباتات الغذائيه من التربه في صورتها الايونية ، والايونات هي دقائق صغيره الحجم تحمل شحنات كهربائية موجبه كاتيونات مثل البوتاسيوم $K^+$ والكالسيوم$Ca^{++}$ والمغنيسيوم$Mg^{++}$ او سالبة (انيونات) مثلا النترات$NO_3^2$ والكلور Cl والكبريتات $SO_4$والفوسفات .$PO_4$ وتوجد ايونات العناصر اما في صورة ذائبة في المحلول الارضي او مدمصة على اسطح الغرويات الارضية (معادن الطين والماده العضويه) او داخله في تركيب المادة العضوية.

**كيفيه امتصاص الجذور للعناصر المغذية**

**اولا: انتقال العناصر الغذائية خلال محلول التربه الى سطح الامتصاص بالجذور(السالب).**

لكي يمتص العنصر داخل النبات يلزم ان ينتقل اولا من مكانه على سطح معدن الطين او الماده الدباليه او من المحلول الارضي الى اسطح الشعيرات الجذريه على جذور النبات. ويحدث هذا الانتقال بواسطه الانتشار او التدفق الكتلي للايونات مع الماء الممتص او بواسطة التبادل الأيوني التبادل بالتلامس

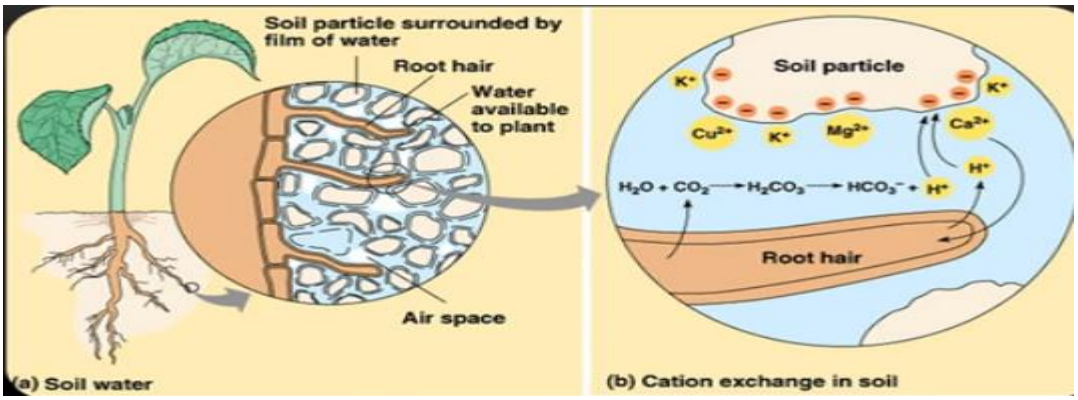
**1- الانتشار Diffusion**

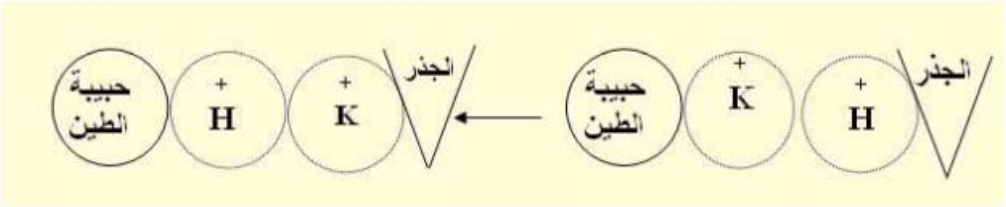
ينتقل العنصر خلال المحلول الارضي في اتجاه تدرج التركيز اي يكون اتجاه الحركه من المنطقة ذات التركيز المرتفع للايون الى المنطقه ذات التركيز المنخفض لنفس الايون محكوما بطاقته الحركيه وليست حركه الماء.

**2- التبادل الأيوني Ion exchange**

يمكن للالكترونات المدمصة على أسطح معادن الطين الغروية او المادة الدبالية ان تبادل مع ايونات الهيدروجين الموجودة في محلول التربة ثم تتبادل تلك الكاتيونات بعد ذلك مع ايونات الهيدروجين المدمصه على اسطح الشعيرات الجذريه وبذلك تصل

الايونات الى اسطح الامتصاص بالجذور حيث تجد طريقها للامتصاص. ويتم التبادل على اساس التكافؤ فيتبادل ايون البوتاسيوم مع ايون هيدروجين واحد ويتبادل ايون الكالسيوم مع ايونين هيدروجين وهكذا.




**3- نظرية التبادل بالتلامس**

وفي هذه الحالة يصل العنصر الى جذر عن طريق التلامس المباشر مع المحلول الارضي او عن طريق تلامس الجذور الايونات المتبادله على اسطح الغرويات الأرضية. هذه العمليه الأخيرة تعرف اسم نظريه التبادل بالتلامس. وتفترض هذه النظرية انتقال العناصر الغذائيه من على اسطح التبادل(غرويات الارض) الى سطح جذور النبات مباشرة بدون المرور بالمحلول الارضي حيث تعتمد هذه النظريه على ان الايونات المدمصة على اسطح الغرويات على جذر النبات يكون لها حجم معين وحيز يحدث فيه تذبذب هذه الايونات، عند تداخل مناطق التذبذب هذه بعضها مع البعض يحدث تبادل في مواقع الايونات المدمصة على سطح الغروي والجذر.

**4- التدفق الكتليFlow Mass**

عند امتصاص النبات للماء في منطقه الجذور تقل كمية الرطوبه في هذه المنطقه وعلى هذا ينتقل الماء من الاماكن ذات الرطوبة المرتفعة ببطء الى سطح الجذور وبالتالي تنتقل المغذيات النباتيه الذائبه والمحمولة بهذا الماء الى الجذور عن طريق التدفق الكتلي. على ذلك تتوقف كميه المغذيات النباتيه التي يحصل عليها النبات بهذه الطريقه على الاستهلاك المائي للنبات فتؤدي زياده النتائج الى حدوث سحب لاعمدة الماء يبدا من الثغور وينتهي الى الجذر ثم محلول التربه المحيط بالجذور وهذا يتسبب في تدفق الماء من الاماكن ذات المحتوى الرطوبي تعالي بما فيها عناصر ذائبه الى سطح الجذر.

**تقسم العناصر الى قسمين حسب الحركة**

عناصر متحركة : وهي العناصر الكبري عدا الكالسيوم مثال أيونات النتروجين والكبريت والبوتاسيوم والفسفور والماغنسيوم. وهذه العناصر تنتقل من الأوراق البالغة إلي الأوراق الحديثة والقمم النامية ولذا تظهر أعراض نقصها علي الأوراق السفلي البالغة .

2 –عناصر غير متحركة: وهي معظم العناصر الصغري والكالسيوم مثال الحديد الزنك النحاس والمنجنيز والبورون وهي غير متحركة من الأوراق المسنة أو من الأوراق التي كانت متراكمة بها إلي الأوراق الحديثة ومناطق النمو خلال اللحاء لذا تظهر أعراض نقصها علي الأوراق الحديثة والقمم النامية.

العوامل المؤثرة علي امتصاص العناصر الغذائية بواسطة الجذور

1 –العوامل الخارجية:– رقم الأيون الهيدروجيني – (pH) درجة الحرارة – الضوء – التهوية – المواد السامة – التداخل بين العناصر

تضاد الأملاح Salt antagonism

تأزر الأملاح Salt synergism

2 –العوامل الداخلية :

التنفس – التمثيل الضوئي – نوع الأيون – عمر الخلية – النمو – النتح.

# المحاضرة العاشرة
# التنفس

## التنفس Respiration

التنفس عبارة عن سلسلة من عمليات الأكسدة والإختزال المتتابعة تتم في جميع الخلايا الحية وعن طريقها تحصل خلايا الكائن الحي على الطاقة اللازمة للإستفادة منها في جميع العمليات الحيوية المختلفة وكذلك في بناء مركبات جديدة لتستفيد منها الخلايا والنبات، بمعنى أخر هو عملية أكسدة أو هدم للمواد العضوية المعقدة "الكربوهيدرات" إلى مواد بسيطة مع إنطلاق الطاقة المخزنة بها للإستفادة منها في جميع العمليات البنائية في الخلايا والنبات، ويرمز له بالمعادلة الإجمالية التالية:

$$C_6H_{12}0_6 + 60 + 38\ ADP + 38\ Pi \xrightarrow[Resp.]{} 6CO2 + 6H_20 + 38\ ATP.$$

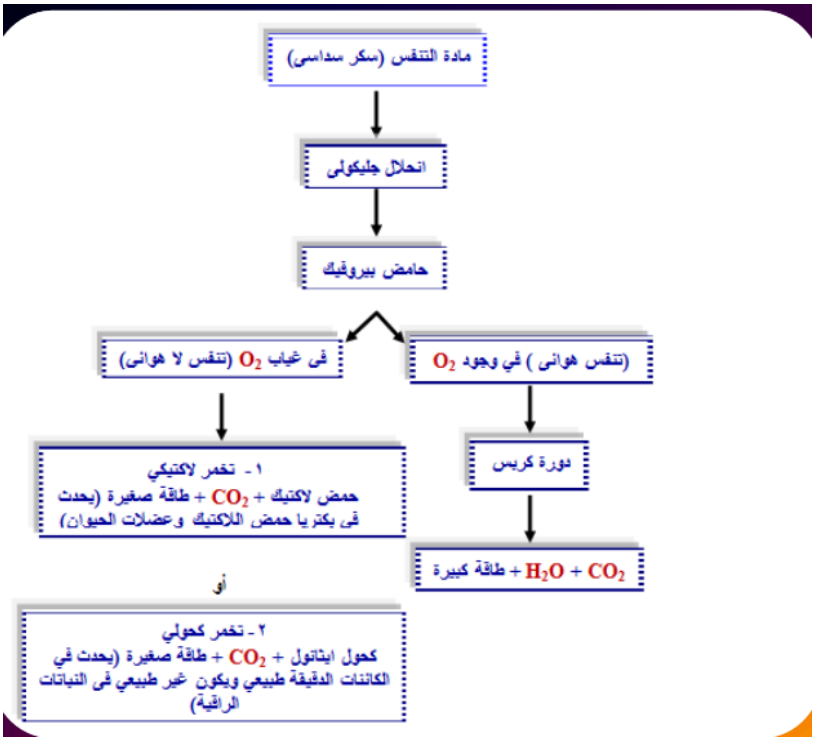
**وينقسم التنفس إلى نوعين هما:**

1- **التنفس الهوائي Aerobic respiration:** يحدث في وجود أكسجين الهواء الجوي (O2) وفيه يتم أكسدة جزئ السكر السداسي أو الهكسوزات مثل الجلوكوز أكسدة كاملة إلى CO2 وماء H2O مع إنطلاق جميع الطاقة المخزنة فيه والمعادلة السابقة توضح ذلك.

2- **التنفس اللاهوائي Anaerobic respiration أو التخمر** Fermentation: وفيه يتم هدم السكريات السداسية (الهكسوزات مثل الجلوكوز) في غياب أكسجين الهواء الجوي، وهو نادر الحدوث في النباتات الراقية وإن حدث يكون لفترة وجيزة (غير طبيعي ولكنه يحدث في كثير من الكائنات الدقيقة وفي خلايا بعض عضلات الحيوان وتكون نواتجه هي $CO_2$ + كحول أو حمض لاكتيك + كمية ضئيلة من الطاقة.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + energy\ (21\ kcal).$$

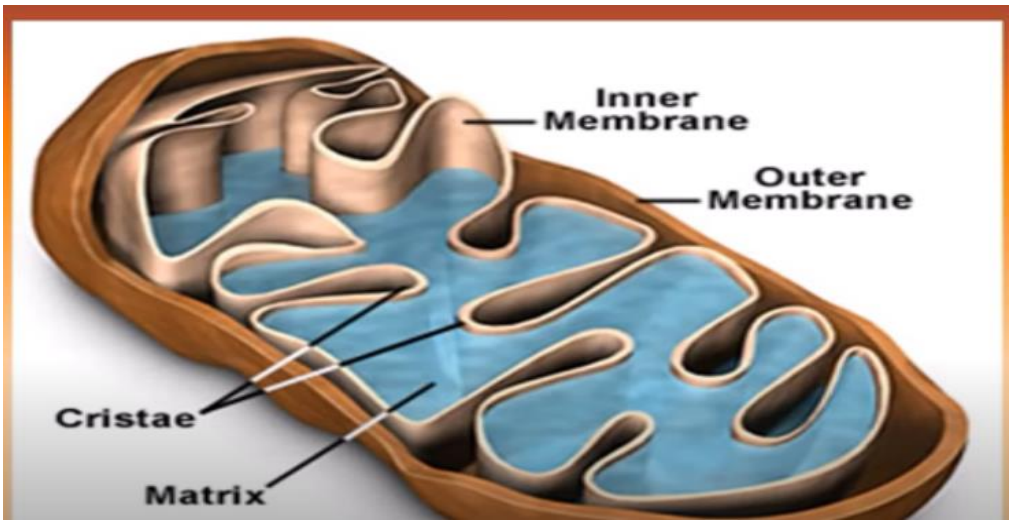
في حالة التخمر لا تتكون المادة العضوية المستعملة في التخمر في خلايا الكائنات الدقيقة نفسها، ولذا فإن هذه العملية تتم خارج الخلايا وهذا عكس التنفس الذي يحدث في خلايا النباتات الراقية، ورغم ذلك توجد علاقة مشتركة بين هذين النوعين من التنفس كما في المخطط التالى:




ميكانيكية التنفس

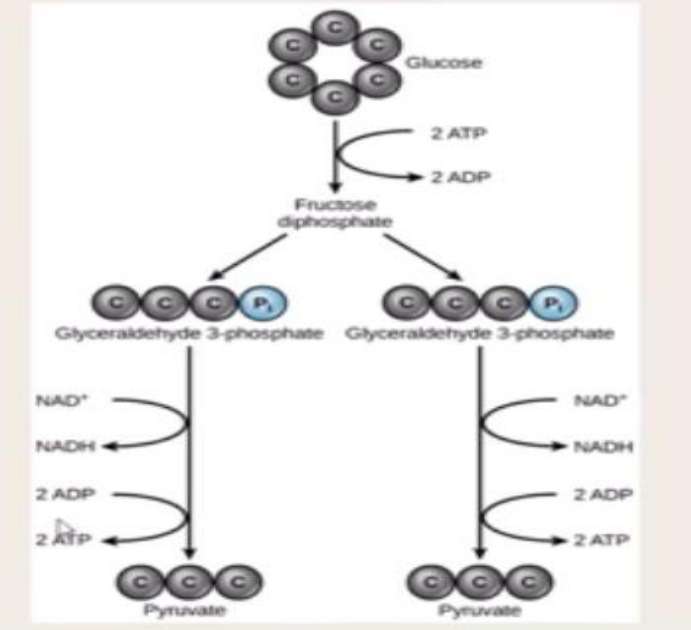
Mechanism of respiration

تتم عملية هدم أو أكسدة المركبات العضوية المعقدة (الكربوهيدرات – الدهون – البروتينات) في النباتات الراقية داخل الخلايا الحية في المايتوكوندريا وتعرف بالأكسدة البيولوجية. وتتضمن عملية التنفس سلسلة من التفاعلات المتتابعة يتم خلالها أكسدة جزئ الجلوكوز وإنطلاق الطاقة على دفعات صغيرة حتى يمكن إستغلالها أول بأول في الخلية. عملية أكسدة جزئ الجلوكوز أكسدة تامة إلى ماء و$CO_2$ وكمية كبيرة من الطاقة تحدث خلال مسالك الإنحلال الكليكولي ودورة كربس ونظام نقل الإلكترون.



1- المرحلة الأولى: الإنحلال الكليكولى( Glycolysis)

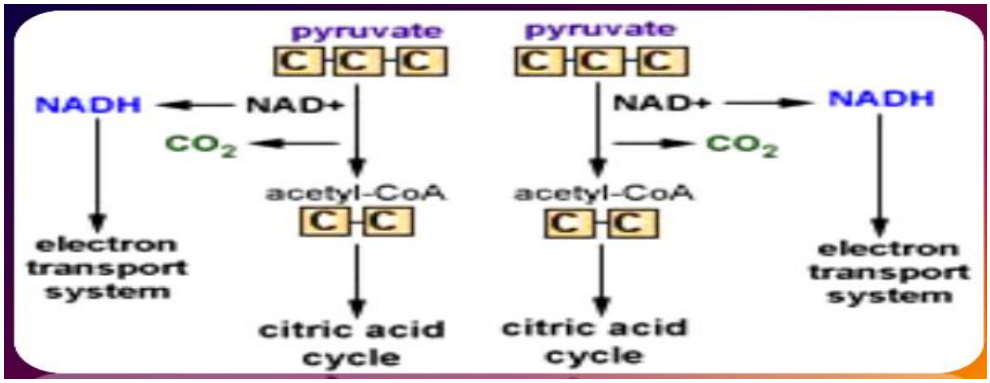
تتضمن سلسلة تفاعلات متتابعة يتم خلالها تحويل جزيء الجلوكوز إلى 2 جزئ حمض البيروفيك وهو الناتج النهائي للإنحلال الجليكولي، وتتم هذه التفاعلات في سيتوبلازم الخلايا ولا تحتاج إلى توفر أكسجين الهواء الجوي أي تحدث في وجود أو عدم وجود (O2)، لذا تحدث تفاعلات الإنحلال الجليكولي في كلا حالتي التنفس الهوائى واللاهوائي) وهي تفاعلات غير دائرية.



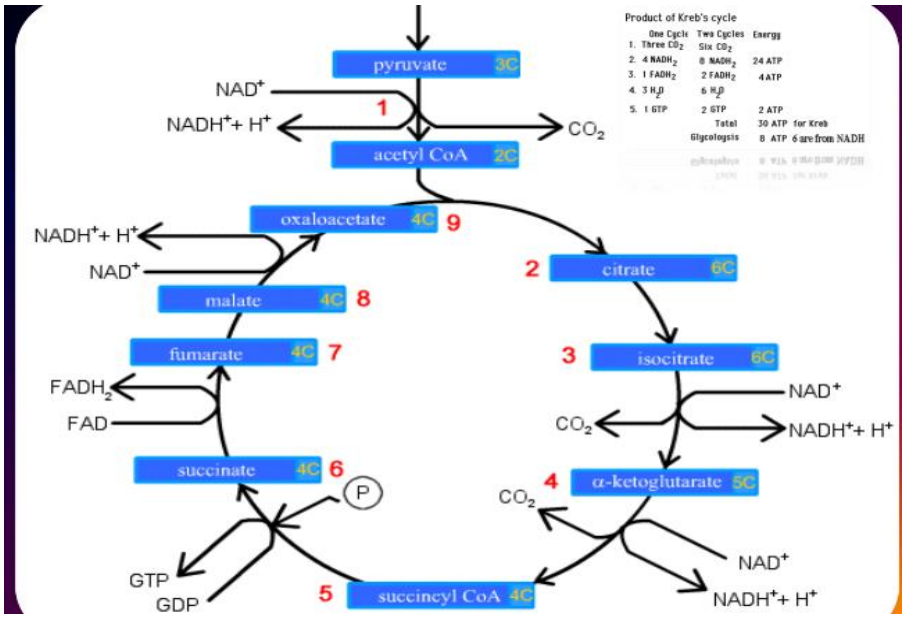

2- أكسدة حمض البيروفيك هوائية:

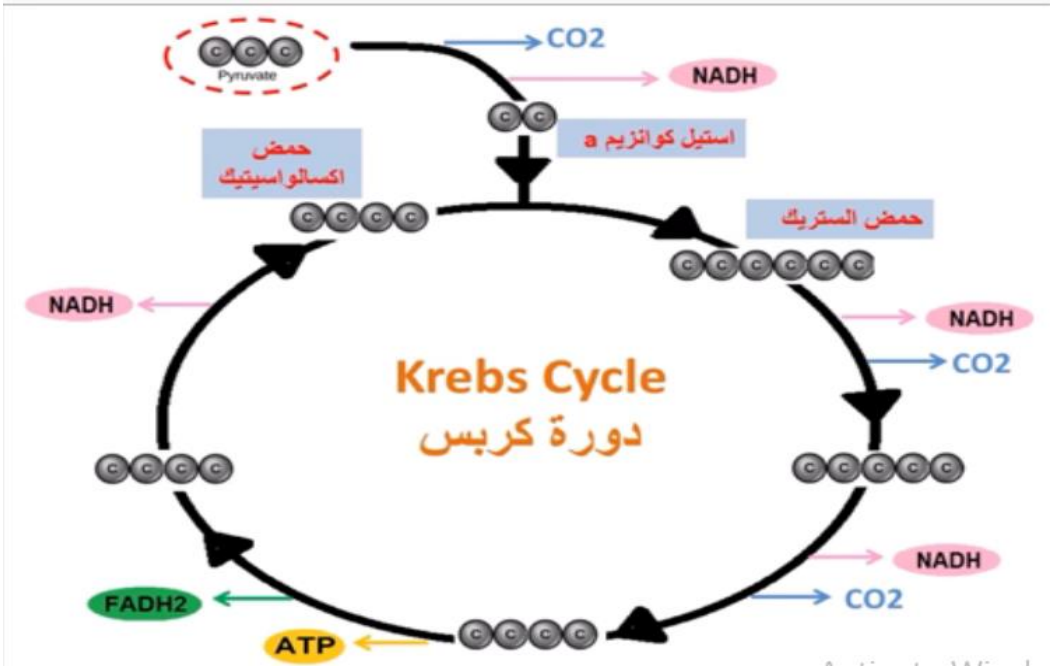
بعد تكوين حمض البيروفيك من أكسدة جزئ الجلوكوز يتم أكسدة جزئ حمض البيروفيك خلال عدة خطوات متتالية عن طريق دورة كربس التي تتم في الميتوكوندريا وتوجد خطوة وسطية أو تنشيطية لحمض البيروفيك قبل دخوله دورة كربس وهي تكوين الخلات النشطة.

1- تكوين الخلات النشطةAcetyl CoA



2- دورة كربس او دورة حامض الستريك او دورة الاحماض ثلاثية الكاربوكسيل

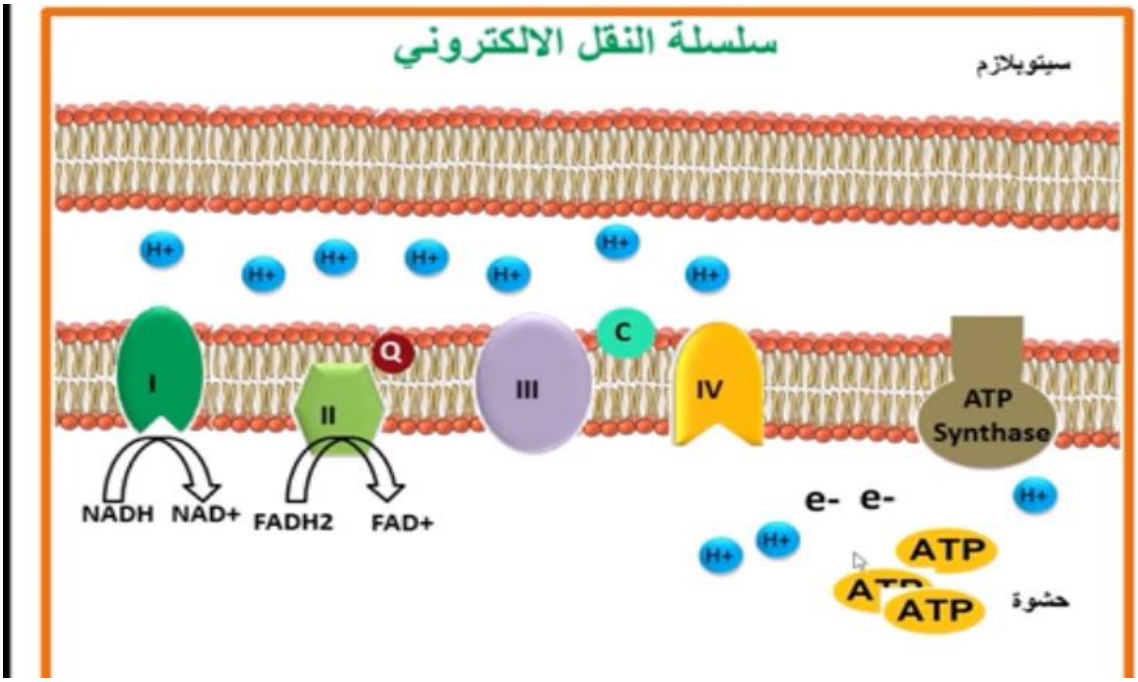



3- إلى الفسفرة التأكسدية:Oxidative phosphorylation

وهذا النوع يتم في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا حيث يتم سريان الإلكترونات خلال مجموعة من الحوامل أو المستقبلات وتستغل الطاقة المتحررة من الإلكترونات أثناء سريانها في إنتاج ال ATP من ADP+pi وهذه الفسفرة تحتاج لوجود أكسجين الهواء الجوي حيث أنه المستقبل النهائي للإلكترونات. ففي دورة كربس كل المرافقات الإنزيمية المختزلة FADH2,NADH2 تدخل

نظام نقل الإلكترون داخل الميتوكوندريا كمانحة للإلكترونات حيث يحدث سريان لهذه الإلكترونات ذات الطاقة العالية من مستقبل لأخر وتنتقل طاقة الإلكترونات العالية على دفعات تدريجيا وليس دفعة واحدة لتستخدم في ربط جزئ ADP+pi وتكوينATP ، وكل زوج من الإلكترونات الناتجة من المرافق الإنزيميNADH2 ينتج 3 جزيئات ATP عند سريانها في نظام نقل الإلكترون، أما في حالة FADH2 فإنها تعطي 2 جزيءATP .



# المحاضرة الحادية عشر

# الانزيمات

## الإنزيمات Enzymes

ان التفاعلات الكيميائية التي تجري داخل الخلايا الحية والتي تشمل عمليات البناء(مثل بناء السكريات والنشأ والسليلوز 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.

وظيفة الانزيم:

- تعمل الانزيمات على خفض طاقة التنشيط لمادة التفاعل.
- تعمل الانزيمات كمواد عضوية محفزة اي مسرعة لتفاعلات كيميائية معينة، محولة مجموعة محددة من المواد المتفاعلة الى نواتج محددة عند درجة حرارة الجسم.
- تزيد الانزيمات من معدل سرعة التفاعل الكيميائي الذي تحفزه الى حوالي $10^{14}$

## الطبيعة الكيميائية للانزيمات

الانزيمات هي محفزات بيوكيميائية تفرزها الخلايا الحية النباتية او الحيوانية، وهي مركبات مساعدة والتي تسرع التفاعل الكيميائي بدون ان تتغير. يتالف الانزيم من عدد كبير من الاحماض الامينية يوجد بينها روابط ببتيدية وتكون هذه الاحماض الامينية سلسلة او اكثر من سلاسل عديدة الببتيد. ويمكن تقسيمها الى نوعين:

1- البروتينات البسيطة مثل انزيم الاميليزالذي يحلل النشا وهذه تتالف 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 تحتوي بعض الانزيمات على مواد كيميائية اضافية مرتبطة فيها يحتاجها الانزيم لفعاليته وتسمى هذه المواد بالعوامل المساعدة (Co– Factors).

العوامل المساعد للانزيمات Co– Factors تقسم الى:

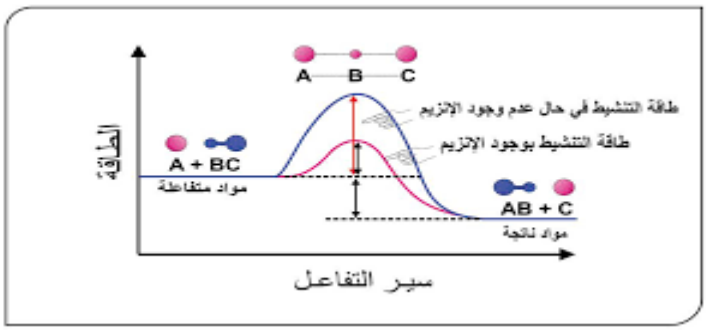
1–معادن معقدة في صورة مغنيسيومMg ، ومنغنيز Mn، وحديد Fe.

2– جزيئات عضوية (مشتقات من الفيتامينات) وتسمى مساعدات الانزيم العضوية(Co– Enzymes).

**طاقة التنشيط**

المعلوم أن الجزيئات غالباً لاتتفاعل 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 فأن 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- تستعمل بتركيزات بسيطة لاتمام التفاعل

2- لاتتغير خواصها اثناء التفاعل.

3- الانزيمات ذات طبيعة بروتينية يمكن ان يحدث لها تخثر بفعل الحرارة، لذلك هي تتطلب درجة حرارة مثالية ورقم هيدروجيني مثالي للقيام بوظيفتها المعتادة داخل الخلية.

4- (التسخين الشديد، معاملة الانزيم باحماض او قواعد قوية) هي عوامل تستطيع تحطيم تركيب البروتين الطبيعي للانزيم، ممايؤدي الى:

1- يفقد الانزيم تركيبه الثانوي والثلاثي والرباعي (ان وجد)

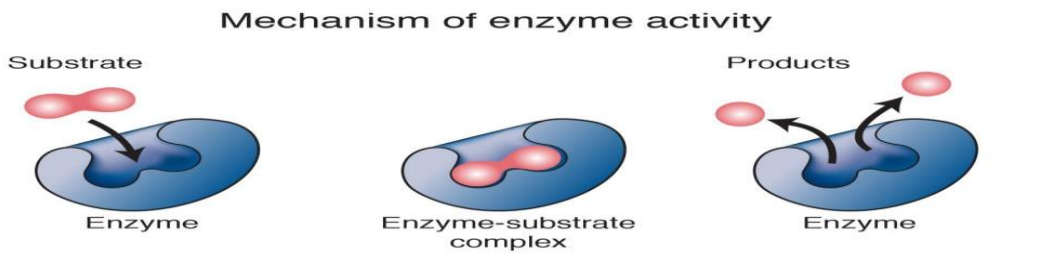
2- تحطيم تركيبه وتعطيل صفاته الطبيعية وبذلك يفقد الانزيم فعاليته المحفزة. .

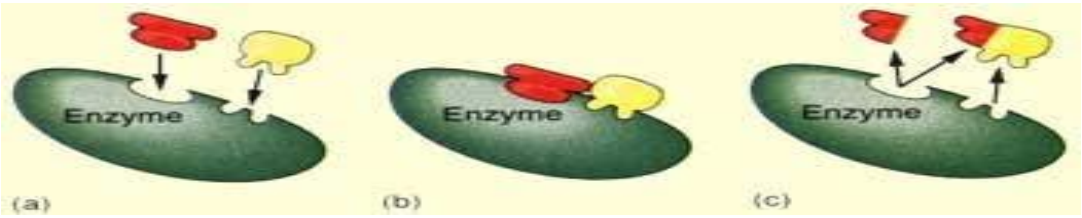
## الية عمل الانزيم

تحتاج جميع التفاعلات العادية الى طاقة تنشيط لمادة التفاعل قبل التحول الى نواتج ويكون معدل التفاعل محددا بتكوين المركب الوسطي 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 الوسطي الذي يتحول تلقائيا الى نواتج.

اما في التفاعلات الانزيمية تعمل الانزيمات على تنشيط مادة التفاعل بالاتحاد معها اولا مكونة مركب وسطي غير ثابت يسمى الكتلة النشطة التي تتحلل بعد ذلك الى نواتج التفاعل والانزيم. ويكون هذا الاتحاد بين مادة لتفاعل والانزيم عن طريق مناطق نشطة.

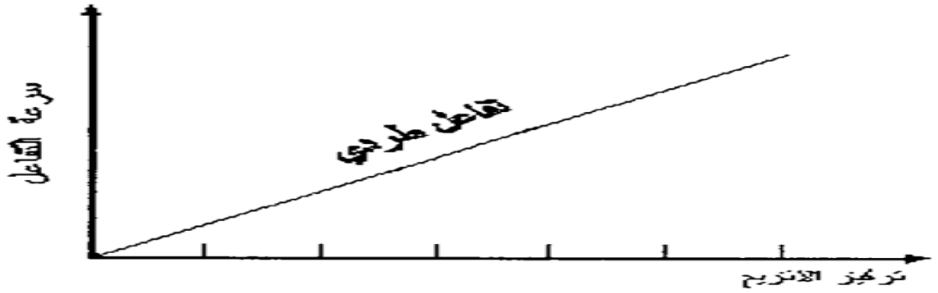
$$\text{Enzyem + substrate} \rightleftharpoons \text{Enzyme-substrate} \longrightarrow \text{Enzyme + product}$$



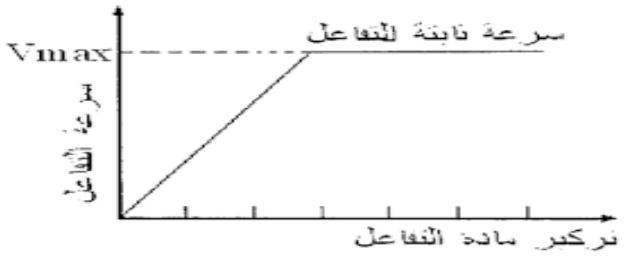




## العوامل المؤثرة في النشاط الانزيمي

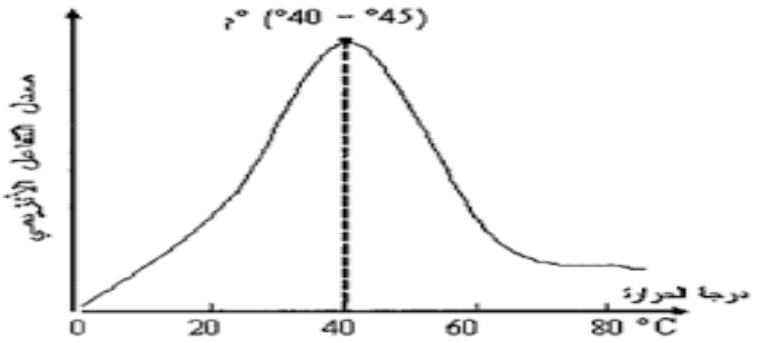
1- تركيز الانزيم :- يزداد معدل التفاعل الانزيمي زيادة طردية بزيادة تركيز الانزيم الا في حالات شاذة .



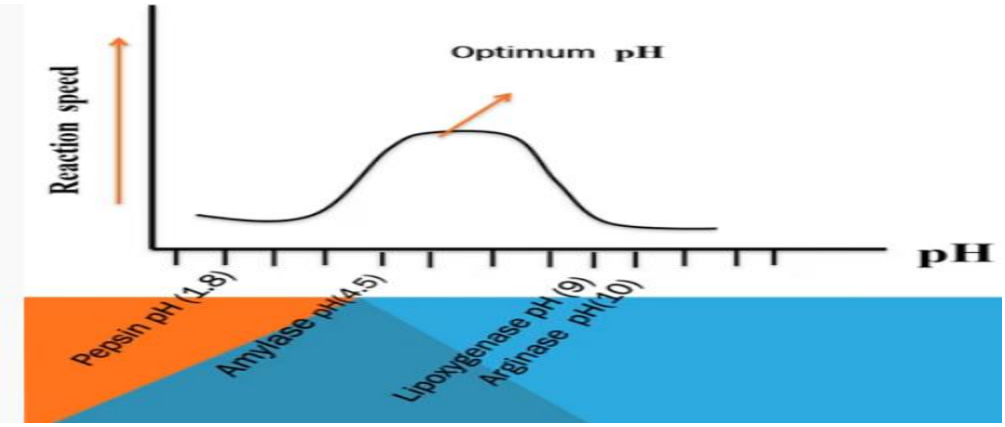

2- تركيز مادة التفاعل:- تزداد سرعة التفاعل الانزيمي الى درجة كبيرة بزيادة تركيز مادة التفاعل وتقل بعدها الكمية النسبية للمادة المتفاعلة مع الزمن الا ان زيادة تركيز مادة التفاعل الى درجة كبيرة يمكن ان يحدث تاثيرا مثبطا للنشاط الانزيمي وقد يكون ذلك بسبب تراكم النواتج النهائية للتفاعل وكذلك فان زيادة تركيز 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 تغير في التركيب الاساسي لجزيئ الانزيم وفي الحقيقة فان تغير خصائص الانزيم يبدأ من درجة 35 الى 60 ° س .

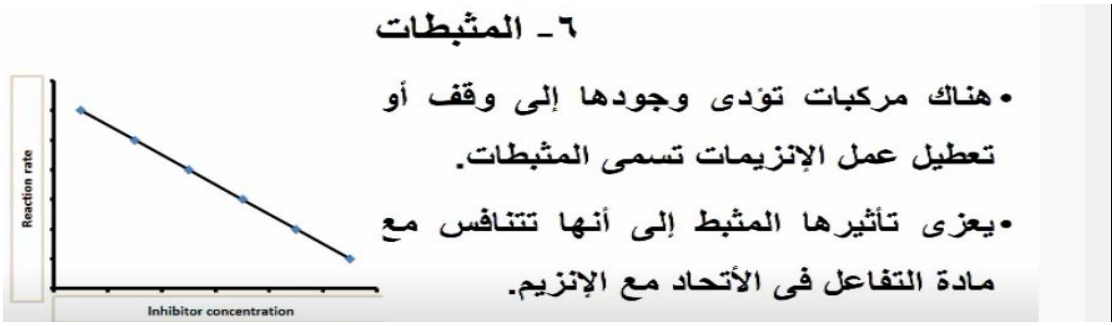


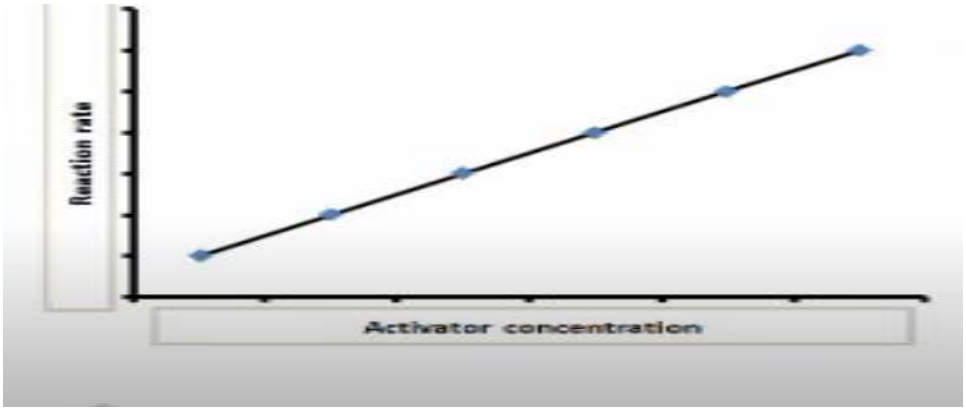

3- تركيز ايون الهيدرجينpH:- تتأثر سرعة النشاط والتفاعل الانزيمي بتركيز ايون الهيدروجين لوسط التفاعل ويتراوح الرقم الهيدروجيني للحصول على اقصى نشاط انزيمي بين 4.5 الى 7.5 ويسمى الرقم الذي يعطي اقصى نشاط انزيمي بالرقم الهيدروجيني المثالي علما ان هناك انزيمات يكون نشاطها الاقصى عند ارقام هيدروجينة اعلى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



4- المنشطات والمثبطات :-

المنشطات هي مواد ثابته لاتتأثر بالحرارة ويمكن فصلها بطريقة الفصل الغشائي وبذلك يقل اويتوقف عمل الانزيم ومن امثلتها الايونات المعدنية .



# المحاضرة الثانية عشر

# منظمات النمو النباتية Plant growth regulators

**مدخل لدراسة منظمات النمو النباتية**

**السيطرة على النمو**

يعرف النمو في النبات بأنه زيادة غير عكسية في عدد وحجم الخلايا، أو زيادة المادة الجافة. وهذه العملية تتطلب وجود مواد اولية مثل الماء والعناصر المغذية وثنائي اوكسيد الكاربون، فضلاً عن مركبات عضوية يقوم النبات بتصنيعها وبمساعدة الانزيمات والمرافقات الانزيمية ووجود عوامل بيئية مناسبة للنمو فأن النمو يحدث في النبات كما سبق بيانه بزيادة عدد وحجم الخلايا. والسؤال المطروح هو أين يجب أن يحدث هذا النمو وأين يوقف وكيف يتحدد شكله. يمكن أن أن نضع السيطرة على نمو الخلايا في مستويات ثلاثة:

1-**السيطرة داخل الخلية**

وهي تختص بعمليات التعبير الجيني للمورثات Gene expression التي تؤثر في الخلية عن طريق تغير انواع البروتينات التي يمكن أن تبنى أعتماداً على اوامر الشفرة الوراثية فالنمو والتطور المنظم للنبات يحتاج الى تعاقب مبرمج من التنشيط الخاص بالمورثات لغرض تكوين بروتينات معينه في الوقت المناسب. ومن المعروف ان المورثات ليست نشطة كلها طوال الوقت لكن يمكن ان تعمل او تتوقف عن العمل اعتمادا على متطلبات حالة النمو للنبات او الاستجابة للظروف البيئية ويمكن القول ان التعبير التفاضلي للمورثات هو بمثابة وسائل اساسية لغرض تعديل العمل الانزيمي في الخلية وبالتالي تعديل المسار الايضي والتميز الخلوي وعملية التعبير الجيني تتم بخمس مراحل اساسية هي تنشيط الموثات والنسخ او الاستنساخ وتعديل RNA والترجمة وتعديل البروتين.

2- **السيطرة بين الخلايا**

تتم السيطرة بين الخلايا عن طريق التنظيم الهورموني للنمو والتطور طيلة حياة النبات ان منظمات النمو تؤدي دورا مهما في عملية التواصل بين خلايا النبات وذلك عن طريق ارتباطها مع مستقبلات بروتينة خاصة في الاغشية البلازمية او الخيوط البلازمية Plasmodesmata عبر النظام الحي او نظام السايتوبلازم Symplast وكذلك عبر نظام الجدر الخلوية والمساحات البينية Apoplast والهورمونات النباتية تنشط او تثبط او تحور النمو ولها دور كبير في استجابة النبات للظروف البيئية المحيطة.

3- **السيطرة خارج الخلايا**

يمكن ان تؤثر البيئة في تنظيم نمو النبات فدرجات الحرارة والضوء والجاذبية الارضية والمجالات المغناطيسية والرياح والصوت ومؤثرات التربة مثل رطوبتها ومحتواها من المغذيات والملوحة ومؤثرات تلوث

الهواء والماء التي تمثل تحديا بيئيا للنبات بما تسببه من تحورات في نمط النمو والتطور تمثل كلها عوامل محددة او مسيطرة على نمو النبات فالنبات يمتلك وسائل تحسس الاشارات البيئية وتحويلها وايصالها بشكل تغيرات دائمية للايض والكيمياء الحيوية وللهورمونات النباتية دور كبير في تحسس هذه الاشارات البيئية .

## منظمات النمو النباتية

هي مركبات عضوية غير مغذية بتراكيز قليلة جدا تنشط او تثبط او تحور النمو (اقل من 1ملي مول ) تبنى في مواقع معينة من النبات وتنتقل الى مناطق اخرى لاظهار تاثيرها الفسيولوجي والكيموحيوي الذي ينتج عنه تنظيم عمليات النمو المختلفة وهي ذات اهمية قصوى لاستكمال انشطة النمو وكذلك فهي معنية باستجابة النبات للظروف البيئية وغالبا ماتحدث العوامل البيئية تاثيراتها عن طريق استحثاث ايض الهورمونات النباتية وتوزيعها في جسم النبات .

يمكن ان نضع منظمات النمو في مجاميع وكل مجموعة تظم عدد من المركبات ذات الفعل التنظيمي للنمو وهذه المجاميع هي

**1- الاوكسينات Auxins**

**2- الجبرلينات Gibberellins**

**3- السايتوكاينينات Cytokinins**

**4- حامض الابسيسك Abscisic acid(ABA)**

**5- الاثيلين Ethylene**

يعد كل من ABA والاثيلين مثبطات للنمو Growth inhibitors في حين الاوكسينات والجبرلينات والسايتوكاينينات محفزات أو منشطات للنمو Growth promoters فضلا عن عدد من المواد المشخصة حديثا ذات الفعل التنظيمي للنمو ومنها :-

**1- عديدة الامين (بولي امينات ) Polyamines مثل بيوترسين Putrescine والسبيرميدين Spermidine والسبيرمين Spermine .**

**2- البراسينات Brassins او ستيرويدات براسين Brassinosteroids .**

**3- فلوريجين Florigen .**

**4- كومارين Coumarin .**

**5-جاسمونات Jasmonates.**

**6- حامض الساليسيلك Salicylic acid.**

**7- سيستيمين الببتيد Peptide systemin.**

**الفرق بين منظمات النمو والهرمونات النباتية**

**منظمات النمو Growth regulators**

وهى مركبات عضوية طبيعية أو صناعية غير مغذية، لها القدرة على التأثير في نمو النبات، بتركيزات ضئيلة. وتتضمن هذه المجموعة المواد التي تشجع Promote أو تثبيط inhibit أو تحور modify النمو، أو أي عملية فسيولوجية أخرى فى النبات.

**الهرمونات النباتية Plant hormones أو phytohormones :**

وهي منظمات النمو التي تنتج طبيعيا وبكميات ضئيلة، في جزء ما من النبات، ويظهر تأثيرها الفسيولوجى، في غير المكان الذي تكونت فيه، أي تتحرك الهرمونات عادة خلال النبات من أماكن إنتاجها إلي أماكن تأثيرها. وبناء على هذا التعريف، لا يطلق لفظ هرمون على الكيماويات الشبيهة التي تخلق في المعمل والتي هي ذات تأثيرات هرمونية في النبات، أو المركبات المغذية، التي تخلق داخل النبات، وتعد أساسا للنمو ومصدرا للطاقة مثل السكريات والأحماض الأمينية.

**أهم وظائف منظمات النمو (عن Nickell ، 1978)**

1- تساعد فى تكوين الجذور أوعملية التجذير بصفة عامة.

2- تشجيع تكوين الأزهار أوتأخيرها وكذلك عملية تخليقها.

3- تحوير أوتعديل أوتغير جنس النبات.

4- إحداث خف طبيعى للأزهار والثمار.

5- التحكم فى حجم النبات والعضو النباتى.

6- التحكم فى عقد الثمار وتلونها وإنضاجها وتساقطها.

7- تنظيم التركيب الكيماوى للنبات وتقليل الفقد فى المحتوى المائى.

8- استطالة الخلايا وزيادة مرونة الجدرالخلوية.

9- حدوث عملية السيادة القمية او كسرها.

10- التحكم فى الانتحاءات المختلفة للنبات.

11- انقسام الخلايا وزيادة النمو.

12- زيادة مقاومة النبات وتحملة للعوامل البيئية المختلفة.

13- زيادة مقاومة النبات للآفات الضارة .

## التداخل بين الهرمونات النباتية Interaction between plant hormones

هناك أربعة أنواع من التداخلات التى تحدث بشكل عام بين الهرمونات النباتية وهذه التداخلات الأربع محصلتها عملية تنظيم النمو داخل النبات وهى:

**1- التأثير للهرمون الأعلى تركيزاً**

فمثلا إنخفاض نسبة السايتوكينينات إلى الأوكسينات تؤدى إلى زيادة في نمو الجذر وزيادة هذة النسبة يؤدى لاطلاق نمو البراعم.

**2- التأثيرات المتعارضة**

قد يكون فعل هرمون يتعارض مع فعل هرمون أخر والسيادة هنا للتركيز ومدى تهيئة النباتات للإستجابة فمثلاً الأوكسين يثبط عملية سقوط الأوراق وظهور الشيخوخة وهذا على العكس من فعل الإثيلين.

**3- تأثير هرمون في تركيز هرمون أخر**

يمكن لهرمون أن يغير من تركيز هرمون أخر وذلك إما عن طريق تغير البناء الحيوى لهذا لهرمون مثلما يحدث عند المستويات العالية من الأوكسين التى تسبب النشاط الحيوى لإنتاج الإثيلين،أوعن طريق تثبيط هرمون لنقل هرمون أخر حيث نجد الإثيلين يثبط من نقل الأوكسين، فى حين أن الجبرلينات تشجع من حركتة أو قد يحدث هذا التأثير فى التركيز عن طريق تحطيم هرمون لهرمون أخر وهذا ما يحدثة الإثيلين في الأوكسينات.

**4- عملية التعاقب أو التتابع التنظيمي**

وفية نجد إن العملية الفسيولوجية الواحدة يدخل فيها عدد من الهرمونات بصورة تنظيمية متتابعة مثل نمو غمد بادرة الشوفان إذ إن أنسجة الغمد تدخل فى عدة أطوار تنشيطية هرمونية تبدأ بالجبرلين ثم السايتوكاينين وأخيراً الأوكسين.

**تبين الصورة تأثير منظمات النمو في حجم النبات.**

**المصادر:**


ياسين. بسام طه.2001. اساسيات فسيولوجيا النبات. كلية العلوم – جامعة قطر.

دلفن. م روبرت. فسيولوجية النبات . ترجمة . عبد الحميد بن حميدة ، محمد الجيلاني و حازم الالوسي. مكتبة النرجس.

عطية، حاتم جبار وخضير عباس جدوع . 1999 . منظمات النمو النباتية النظرية والتطبيق . وزارة التعليم العالي والبحث العلمي مديرية دار الكتب للطباعة والنشر . بغداد .

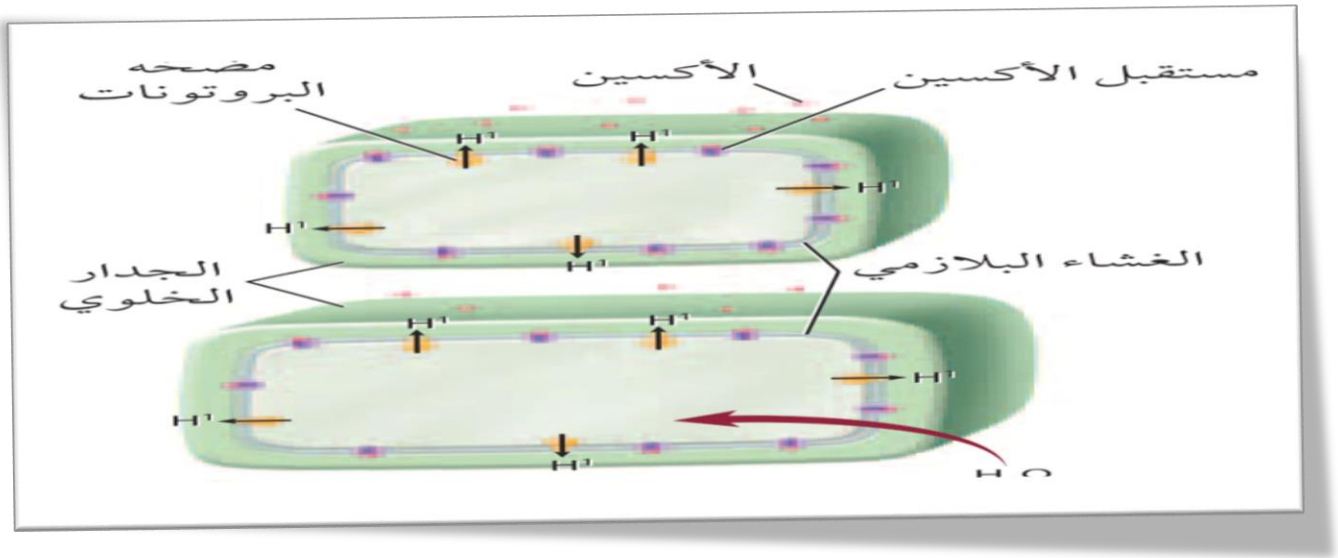
# المحاضرة الثالثة عشر

# الاحساس والحركة في النبات

## الأكسين Auxin

أول هرمون نباتي تم اكتشافه. وهناك أنواع عديدة منه، غير أن إندول حمض الخليك (الأكسين) من أكثرها دراسة، حيث يُنتَجُ في القمة النامية و البراعم والأوراق الصغيرة والأنسجة الأخرى السريعة النمو. وهو ينتقل عبرالنبات من خلية برنشيمية إلى أخرى بوساطة نوع من النقل النشط. وقد قيست سرعة انتقال الأكسين auxin فوجد أنها cm/h1، وتنتقل بعض الأكسينات في اللحاء. وينتقل الأكسين في اتجاه واحد فقط، بعيدًا عن مكان إنتاجه.

ينبه الأكسين استطالة الخلايا. وتشير البحوث إلى أن هذه العملية غير مباشرة في الخلايا الصغيرة، ويشجع كذلك على تدفق أيونات الهيدروجين بوساطة مضخة الهيدروجين من السيتوبلازم إلى جدار الخلية. وهذايكوّن وسط أكثر حموضة، ممّا يضعف الوصلات بين ألياف السيليلوز في الجدار.كما انه يحفّز إنزيمات معينة تساعد على تحليل الجدار الخلوي. ونتيجة لفقدان أيونات الهيدروجين في السيتوبلازم فإن الماء يدخل إلى الخلايا، الشكل 8–2.وينجم عن ضعف جدران الخلايا وزيادة ضغطها الداخلي استطالة الخلية.يختلف تأثير الأكسين في النبات بصورة كبيرة بناءً على تركيزه وموقع عمله.



فمثلاً نجد أن التركيز الذي يشجع نمو الساق يمكن أن يثبط نمو الجذر في بعض النباتات. وتنبه التراكيز المنخفضة من الأكسين عادة استطالة الخلية، في حين قد تسبب التراكيز الأعلى أثرًا معاكسًا. ووجود هرمونات أخرى يمكن أن يعدّل أثر الأكسين. يسبب وجود الأكسين ظاهرة تسمى سيادة القمة النامية، ويكون فيها نمو النبات غالبًا نحو الأعلى، ولا يوجد إلا القليل منه في الفروع الجانبية. فالأكسين الذي تُنتجه القمة النامية يثبّط نحو الأغصان الجانبية. إن إزالة القمة النامية للنبات يقلّل من كمية الأكسين الموجودة، وهذا يشجع نمو الفروع الجانبية، ويبين الشكل9–2، الفرق الذي تحدثه هذه الإزالة. تؤثر الأكسينات في تكوين الثمار، وتؤخر سقوطها. وتشير البحوث إلى أن إنتاج الأكسين يتباطأ بزيادة نضج الخلية. فعند نهايةفصل النمو تؤدي قلة كميات الأكسين في الأشجار والشجيرات إلى سقوط الثمار الناضجة إلى الأرض، وسقوط الأوراق قبل الشتاء.

الجبريلينات Gibberellins

تسبب هذه المجموعة من هرمونات النبات والتي تسمى الجبريلينات Gibberellinsاستطالة الخلايا، وتحفز انقسامها، كما تؤثر في نمو البذور. وتنتقل الجبريلينات في الأنسجة الوعائية. وتفتقر النباتات القصيرة إلى الجينات المنتجة للجبريلينات فإن تلك التي تفتقر إلى جينات الجبريلينات ولكن لديها مستقبلاتها تزداد طولاً. إن معاملة النبات بالجبريلينات يمكن أن يسبب زيادة فيطوله، الشكل 10–2.

الإيثلين Ethylene

الهرمون الغازيّ الوحيد المعروف هو الإيثلين ethylene، وهو مركب بسيط مكوّن من ذرتي كربون وأربع ذرات هيدروجين. ويوجد الإيثلين في الثمار الناضجة والأوراق والأزهار المتساقطة. ولأن الإيثلين غاز فإنه يمكن أن ينتشر بين الخلايا، كما أنه ينتقل عبر اللحاء. وعلى الرغم من أن الإثيلين يمكن أن يؤثر في أجزاء أخرى من النبات إلا أن تأثيره الأساسي هو في الثمار في مرحلة النضج. يجعل الإثيلين جدران خلايا الثمار غير الناضجة ضعيفة، ويؤدي إلى تحليل الكربوهيدرات فيها إلى سكريات بسيطة. ونتيجة لتعرض الثمار للإثيلين فإنها تصبح طرية أكثر، كما تصبح أكثر حلاوة من الثمار غير الناضجة.ولأن الثمار الناضجة معرضة للإصابة بالكدمات بسهولة في أثناء الشحن فإنالمزارعين غالبًا يشحنون ثمارهم غير ناضجة، وما أن تصل إلى وجهتها فإنهم يعالجونها بالإثيلين، مما يسرّع نضجها.

## السايتوكاينينات Cytokinins

هرمونات تحفز النمو، يتم إنتاجها في الخلايا السريعة الانقسام. وهي تنتقل إلى الأجزاء الأخرى من النبات عبر الخشب.تشجع السايتوكاينينات cytokinins انقسام الخلايا بتحفيزها على بناء البروتينات الضرورية للانقسام المتساوي وانقسام السيتوبلازم. وحيث إن السايتوكاينينات تزيد معدل النمو فإنها تضاف غالبًا إلى الوسط الغذائي المستعمل في زراعة الأنسجة النباتية، وهي تقنية تتم في المختبر لتنمية نباتات من قطع أنسجة نباتية.يؤثر وجود الهرمونات الأخرى، وبخاصة الأكسين، في عمل السايتوكاينينات .فمثلاً ينبه إندول حمض الخليك (الأكسين) وحده على استطالة الخلايا، ولكن عند إضافته إلى السايتوكاينين فإنه يشجع الانقسام السريع للخلايا، ويؤدي إلى نموّ سريع.

## استجابات النبات Plant Reponses

هل تساءلت يومًا عن سبب نمو نباتات المنزل متجهةً نحو الشبابيك أو عن سبب تسلق أغصان شجرة العنب أحد الأعمدة؟ إن هذه الظواهر وأحداثًا كثيرة غيرها– منها نمو الجذور نحو الأسفل، ونمو الساق نحو الأعلى، وإسقاط النباتات لأوراقها، واصطياد أورق بعض النباتات للحشرات– كلها استجابات من النباتات لبيئاتها.

## استجابة الحركة Nastric responses

إن استجابة النبات التي تسبب الحركة بغض النظر عن اتجاه المنبه تسمى استجابة الحركة Nastic response.وهذه ليست استجابة نموه، بل هي استجابة مؤقتة، ويمكن تكرارها مرات عديدة.

يشكّل انطباق أوراق النبتة آكلة الحشرات (فينوس) مثالاً على استجابات الحركة.وتبين البحوث الحديثة أن هذا ينتج عن حركة الماء في نصف من الورقة الصائدة.وتسبب الحركة تمددًا غير متساوٍ إلى أن يتغير الشكل المقوس للورقة فجأة ويطبق المصيدة.

## استجابات النمو Tropic responses

فالانتحاء Tropism: هو نموّ النبات استجابةً لمنبهٍ خارجي. فإذا كان نمو النبات الناتج عن ذلك نحو المنبه سُمي انتحاءً موجبًا، وإذا كان النمو بعيدًا عن المنبه سُمي انتحاءً سالبًا. وهناك أنواع عديدة من الانتحاء **تشمل الانتحاء الضوئي والانتحاء الأرضي والانتحاء اللمسي**. فالانتحاء الضوئي هو استجابة نمو النبات للضوء،و سببه التوزيع غير المتساوي للأكسين. ويوجد القليل من الأكسين في جانب النبات المعرض للضوء، والكثير

منه في الجانب البعيد عن مصدر الضوء تستطيل، مما يجعل ذلك الجانب من الساق أطول، فتكون النتيجة أن ينحني الساق في اتجاه مصدر الضوء.

أما الانتحاء الأرضي

فهو استجابة نمو النبات نحو مركز الجاذبية الأرضية. وتُظهر الجذور عادة انتحاءً أرضيًّا موجبًا. إن نمو الجذور إلى أسفل التربة يساعد على تثبيت النبات، ويجعل الجذور ملامسة للماء والأملاح المعدنية. لكن الساق تظهر انتحاءً أرضيًّا سالبًا عندما تنمو إلى أعلى بعيدًا عن مركز الجاذبية الأرضية. وهذا النمو يوزع الأوراق بحيث تتعرض لأكبر كمية من الضوء. وهناك نوع ثالث من الانتحاء في بعض النباتات، ألا وهو الانتحاء اللمسي. وهذا النوع هو استجابة نمو للمؤثرات الآلية (الميكانيكية)،ومنها ملامسة جسم ما أو مخلوق ما أو حتى الريح. إن الانتحاء اللمسي واضح في النباتات المتسلقة التي تلتف حول أي تركيب قريب منها كشجرة أو سياج.

**المصادر:**


وصفي، عماد الدين. 1995. منظمات النمو والازهار. كلية الزراعة – جامعة الاسكندرية . المكتبة الاكاديمية.1995.

باصلاح، محمد بن عمر بن عبد الله ، فسيولوجيا النمو والتميز العملي. كلية العلوم – جامعة الملك سعود.

الخفاجي، مكي علوان. 2014. منظمات النمو النباتية تطبيقاتها واستعمالاتها. كلية الزراعة – جامعة بغداد

# المحاضرة الرابعة عشر

# مفاهيم فسيولوجية

- النمو Growth:- هو الزيادة غير العكسيه 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 واخرى ثمرية وهذا يعني انسجة 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.

- التواقت 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 قصر 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 $H_2O$ وتثبيت $CO_2$ في مركب سكر الكلوكوز.
- ❖ تنفس النبات:-عملية اكسدة نواتج التمثيل الضوئي لأنتاج الطاقة التي يمكن أن تستخدم في نمو النبات وصيانته.
- ❖ 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.
- ❖ البزوغ:- خروج الرويشة أوالأوراق الفلقية من سطح التربة.
- ❖ النضج الفسيولوجي:- هو نضج الثمار بشكل كامل لكن هناك كمية كبيرة من الماء فيها.
- ❖ المساحة الورقيه 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 المظللة يمكن معرفة المساحة الورقية.

دليل المساحة الورقية=المساحة الورقية للنبات($م^2$)\المساحة التي يشغلها النبات من الأرض($م^2$).

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 فأنه يحدث هدر في الطاقة المصنعة في الأوراق العليا بأستهلاكها في الأوراق السفلى المظللة 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.
- ❖ الإرتباع 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 أوغيرها) أو غير حيوي مثل اجهاد الماء أو إجهاد الملوحة أو غيرها.
- ❖ مكونات الحاصل:- هي الوحدات الأساسية التي يتألف منها الحاصل الأقتصادي. مثلاً

مكونات الحاصل للشعير=عدد السنابل\نبات أوام$^2$ × عدد الحبوب\سنبلة× متوسط وزن الحبة المفردة.

مكونات الحاصل للبطاطا=عدد النباتات\م$^2$ × عدد الدرنات\نبات× متوسط وزن الدرنة.

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

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

$\ln W_1$= 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.

**المصادر:**


عيسى , طالب احمد .1990 . فسيولوجيا نباتات المحاصيل .( مترجم ) 151. مديرية دار الكتب للطباعة والنشر , جامعة بغداد .

محمد ، عبد العظيم كاظم .1985 . علم فسلجة النبات (الجزء الثاني) مديرية مطبعة الجامعة – جامعة الموصل – العراق.

Wareing, P.F.and I.D.J.Philips. 1978.The control of growth inhibitors and differentiation in plants . Pergamon press. Oxford.