السنة ثالثة بيولوجيا و فيزيولوجيا النبات

Physiologie Végétale

محاضرات مقياس فيزيولوجيا النبات

قادري منيرة

Contenu de la matiére : Rappel sur les notion de base

1. Organisation d'un végétal
2. Organisation d'une cellule végétale

1ére partie : Croissance et Développement

1. Phytohormones

- Role des principale hormones végétales dans les processus de croissance et de développement

2. Germination :

- Définition et paramétre de mesure de la germination
- Facteur endogénes et exogéne régissant la germination
- Aspect biochimique de la germination
- Inhibition de la germination : inhibition tégumentaire et dormance

3. Croissance :

- Définition et paramatére de mesure de la croissance
- Effets des facteurs externes sur la croissance
- Régulationhormonale de la croissance

4. Floraison :

- Définition
- Vernalisation
- Induction photopériodique et mécanismes .

2 ére partie : Nutrition carbonée et minérale

1. Nutrition carbonée

1.1- Photosynthése

- Introduction : Notions d'autotrophie et d'hétérotrophie
- Sites de déroulement de la photosynthése(chloroplaste)
- Pigments photosynthése
- Mécanismes de la photosynthése : réaction claire et réaction sombres.
- Facteur externes agissant sur la photosyntése

1.2- Photorespiration : mécanismes et régulation

1.3- Respiration

- Sites de déroulement(mitochondries)
- Mécanismes de la Respiration
- Voies alternatives de la respiration
- Facteurs externes agissant sur la respiration

2- Nutrition minérale

2.1- Introduction :

- Composition minérale du sol, notions d'oligo-élément, de macro-élément , d'éléments essentiels et facultatifs.

- Notion de carence et d'excés.

2.2- Nutrition azotée : Assimilation de l'azote et métabolisme azoté

2.3- Roles des différents éléments minéraux

2.4- absorption et transport des élément minéraux : Role de l'eau dans les échanges

محتويات البرنامج

تذكير بالمكتسبات – التنظيم العام للنبات و للخلية

الجزء الأول: النمو والتطور

1. **الهرمونات النباتية Phytohormone**
   - **دور أهم الهرمونات النباتية في النمو والتطور**
2. **الانبات germination**
   - **معايير قياس الانتاش**
   - **العوامل الخارجية والداخلية المتحكمة في الانتاش**
   - **المظاهر البيوكيميائية للانتاش**
   - **كمون البذور Dormance**
3. **النمو Croissance**
   - **معايير قياس النمو**
   - **تأثير العوامل الخارجية على النمو**
   - **التنظيم الهرموني للنمو**
4. **الازهار Floraison**
   - **مفهوم الازهار**
   - **الارتباع**
   - **ميكانيكية التواقت الضوئي**

الجزء الثاني: التغذية الكربونية والمعدنية

I. **التغذية الكربونية Nutrition minéral**

1.1. **التمثيل الضوئي Photosyntése**

- **مقدمة حول الكائنات ذاتية التغذية و غير ذاتية التغذية**
- **مقر عملية التمثيل الضوئي (الصانعة الخضراء)**
- **أصبغة البناء الضوئي**
- **ميكانيكية التمثيل الضوئي ، المرحلة الكيموضوئية(تفاعلات الضوء) و المرحلة الكيموحيوية(تفاعلات الظلام)**
- **العوامل الخارجية المؤثرة على عملية التمثيل الضوئي**

2.1. **التنفس الضوئي Photorespiration**

- **الألية والتنظيم**

3.1. **التنفس Respiration**

- **مقر عملية التنفس**
- **آلية التنفس**
- **الطرق البديلة للتنفس**
- **العوامل الخارجية المتحكمة في التنفس**

2.1. **التغذية المعدنية**

- **مقدمة (التركيب الكيميائي للتربة، تذكير بالعناصر الكبرى والصغرى والعناصر الاختيارية، مفهوم النقص و الفائض**
- **التغذية الازوتية**
- **أدوار مختلف العناصر المعدنية**
- **امتصاص ونقل العناصر المعدنية ودور الماء في التبادل الايوني**

فهرس الاشكال

العنوان	الصفحة
المدخل	
الشكل(1) : تقسيم المماليك النباتية حسب هويتاكر(Whittaker 1996)	4
الشكل (2): رسم تخطيطي لما فوق البنية لخلية نباتية	5
الشكل (3): التعضي العام للنبات	5
الجزء الاأول النمو و التطور	
الشكل (1): مراحل اكتشاف الاكسين	9
الشكل(2): التركيب الكيميائي لبعض أقسام الاكسين	10
الشكل (3): توزيع الاكسين في بادرات الشوفان النامية الظلام	10
الشكل (4): الانتقال القطبي للاكسين	11
الشكل (5): مقارنة لتأثير الحالة الهوائية و غير هوائية على انتقال الاكسين	12
الشكل (6): آلية الانتقال القطبي للأكسين	12
الشكل (7): دور الأكسين في السيادة القمية	14
الشكل (8): دور الأكسين في تساقط الأوراق	15
الشكل (9): العلاقة بين محتوى الأكسين خلال منطقة السقوط و سقوط الورقة	15
الشكل (10): الهيكل الكربوني لحمض الجيبريليك و الجيبان	16
الشكل (11): (أ): الهيكل الكربوني لبعض السيتوكينينات (ب): الهيكل الكربوني للأدنين	18
الشكل (12): الهيكل الكربوني لحامض الابسيسيك	19
الشكل (13): الهيكل الكربوني لغاز الايثيلين	19
الشكل 14: أجزاء البذرة عند أحادية الفلقة و ثنائية الفلقة	21
الشكل 15: رسم تخطيطي يوضح مورفولوجيا البويضة و عملية الاخصاب	23
الشكل 16: انواع الانتاش	24
الشكل 17: مراحل الانتاش	26
الشكل 18: آلية عمل الجيبريلين لتخليق انزيم ألفا أميلاز	28
الشكل 19: الحوار الهرموني للكمون و الانتاش	32
الشكل 20: نموذج لجهاز هيموسيتومتر	38
الشكل 21: تجربة فنت في الانتحاء الضوئي	40
الشكل22: الانتحاء الأرضي للجذر و الساق	42
الشكل 23: آلية عمل الاكسين في استطالة الخلايا	45
الشكل 24: التواقت الضوئي و علاقته بازهار نباتات النهار الطويلة و القصير	50
الشكل 25: التركيب الكيميائي للفيتوكروم	51
الشكل 26: التنظيم المورثي و الهرموني للازهار	52
الجزء الثاني التغذية الكربونية و المعدنية	
الشكل (1): التركيب الكيميائي للكلوروفيل	55

الشكل (2): أطياف امتصاص كل من الكلوروفيل أ و الكلوروفيل ب	56
الشكل (3): التركيب الكيميائي لاصبغة من الجزرينات	57
الشكل (4): التركيب الكيميائي لليكوبين	57
الشكل (5): التركيب الكيميائي للفيكوارثرين و الفيكوسيانين	58
الشكل (6): مافوق بنية الصانعة الخضراء	59
الشكل (7): الأنظمة الضوئية	60
الشكل (8): تركيب غشاء التيلاكويد	61
الشكل (9): مخطط Z	65
الشكل 10 : نواتج المرحلة الكيموضوئيةة	66
الشكل 11 : تفاعلات المرحلة الكيموضوئية	67
الشكل (12): مرحلة الكربكسلة	69
الشكل(13): مرحلة الاختزال	70
الشكل (14): مرحلة تجديد الريبولوز 1-5 ثنائي الفوسفات	71
الشكل (15): طريقة تثبيت CO2 عند نباتات C4	72
الشكل (16): مقارنة بين تركيب الورقة في C3 و C4	72
الشكل (17): طريقة تثبيت CO2 عند نباتات CAM	74
الشكل(18): آلية التنفس الضوئي	76
الشكل(19): دور انزيم الروبيسكو في كل من حلقة كالفن و التنفس الضوئي	77
الشكل (20): الميتابوليزم الخلوي	77
الشكل(21): بعض المركبات الطاقوية	78
الشكل(22): مافوق بنية الميتوكوندري أ: رسم تخطيطي ب: صورة بالمجهر الالكتروني	79
الشكل (23): مخطط يوضح مراحل التحلل السكري	80
الشكل (24): تفاعلات حلقة كريبس مع المرحلة التحضيرية	82
الشكل(25): الفسفرة التأكسدية	83
الشكل (26): الحصيلة الطاقوية	83
الشكل (27): دورة فوسفات البنتوز	84
الشكل (28): دور النتروجين في الطبيعة	87
الشكل (29): الجذر الفتي الناتج من إنتاش البذرة وعليه العديد من الأوبار الجذرية الماصة	95
الشكل (30): شكل تخطيطي يوضح مساري حركة الماء في الجذر	96
الشكل (31) : في الأعلى– مقطع عرضي يوضح البنية التشريحية لجذر من ثنائيات الفلقة في الأسفل . قطاع من المقطع العرضي للجذر يوضح المسارين خارج الخلوي (الأحمر) وداخل الخلوي (الأخضر) للنسغ الممتص من الوبرة وصولاً إلى الخشب.	97
الشكل (32) : مخطط يوضح امتصاص النسغ وانتقاله في النبات ربطاً بالنظريات المطروحة	100
الشكل (33) دخول الماء إلى النسيج المتوسط في الورقة النباتية من الحزمة الناقلة فيها	101
الشكل (34) تبخر الماء من المسام بعد امتلاء الحجرة السمية به	102
الشكل (35) مخطط فرضية الضغط التدفقي عبر أوعية الغربال في اللِحاء	104
الشكل (36) : استبدال الكاتيونات المدمصة على سطوح الغرويات التربة باخرى مكافئة لها من محلول التربة	105

مقدمة

مفهوم فيزيولوجيا النبات: وهو علم وظائف النبات وأعضائه، يعود أصل كلمة فيزيولوجيا أو علم وظائف الأعضاء إلى اللغة الأغريقية ويتكون من شقين فيزيو ويقصد به الطبيعة أو الأصل والجزء الآخر لوجيا وتعني العلم.

علم فسيولوجيا النبات هو العلم الذي يهتم بوظائف الأعضاء والعضيات فى الخلايا النباتية وهو من أهم العلوم البيولوجية التى تتيح لنا فرصة التأمل فى خلق الله لما فى الكون من مخلوقات تثير الدهشة والإعجاب فى قدرة الله التى تدل على عظمة خلقه، إذ يختص بدراسة وتوضيح وظائف أجزاء النبات المختلفة وأعضائها ومظاهر الحياة فيها، وكيفية حدوثها ودور كل منها منفردة ومجتمعة، وربطها بالشروط البيئية المحيطة بالنبات، وذلك بغية توجيه هذه الوظائف من قبل الإنسان بمختلف الوسائل المتاحة، ولإيجاد الطرائق الفاعلة للتوسع بالرقعة الزراعية.

علم فيزيولوجيا النبات مرتبط ارتباطا وثيقا بمختلف العلوم البيولوجية الأخرى، منها الكيمياء الحيوية النباتية ،البيولوجيا الجزيئية، بيولوجيا النبات، علم البيئة النباتية، وكلها علاقات فسيولوجية بيوكيميائية.

وقد شهد علم فيزيولوجيا النبات فى الربع الأخير من هذا القرن طفرة معلوماتية هائلة لا تضاهيه فيها علم اخر. وبعد اهتمام العلماء ورصد الأموال للبحث فى فروع علم فسيولوجيا النبات المختلف، نتيجة أهميته الاقتصادية وخدمته للعلوم التطبيقية الزراعية. ويعد علم فسيولوجيا النبات من أهم دعائم علم الزراعة فإن كل تقدم فى علم فسيولوجيا النبات يتبعه حتما تقدم في ميدان علم الزراعة وانتاج المحاصيل، واذا تمعنا فى العمليات الزراعية المختلفة التي تجرى فى الحقل من خدمة التربة قبل الزراعة وعمليات الخدمة أثناء نمو النبات من حرث وري وتسميد وغيرها لوجدنا أنها عمليات يقصد منها تهيئة واعداد البيئة المحيطة بالنبات إعداداً يسهل للنبات نموه وازدهاره وبالتالي اعطاء أحسن محصول.

لمحة تاريخية:

تعود أول الدراسات في مجال علم وظائف الأعضاء إلى ما قبل عام **420 قبل الميلاد**، ويعود الفضل للعالم أرسطو طاليس ذو التفكير الثاقب والذي أرسى مبادئ علم وظائف الأعضاء في الحضارة الإغريقية من خلال ربطه للعلاقة بين الوظيفة والتركيب حيث قال **ارسطو Aristot** أن النباتات هي عبارة عن حيوانات صغيرة تعيش ملتصقة بالتربة.

- في القرن السادس عشر، وفي عام **(1583م)**، طرحت نفس الفكرة من قبل العالم الايطالي **Andrea Cesalpino** حيث أكد أن النباتات تستمد مادتها من التربة.

- في القرن السابع عشر و في عام **(1627 م)** قام العالم الانجليزي **Francis Bacon** بنشر أول تجربة في فيزيولوجيا النبات تحت عنوان Sylva Sylvarum ، حيث قام بزرع نباتات برية مثل الورد في الماء و أعطى النباتات كميات متساوية من الماء فوجد أن النمو يزداد بازدياد الشوائب في الماء و منه استنتج أن النباتات لا تكون مادتها من الماء بل من مواد خاصة أصلها التربة (الملاحظة و التجريب).

- في عام **(1648 م)** نشر العالم البلجيكي **Van Helmont** تجربته في فيزيولوجيا النبات، حيث انه سقى نبات الصفصاف كل يوم، وبعد خمس سنوات وجد زيادة وزن النبات 30 مرة، في حين وزن التربة انخفض قليلا فقط و منه ناقض أطروحة ارسطو و اعتقد أن مصدر نمو النبات هو الماء.

- عام **1699 م** نشر **John Woodward** تجارب حول نبات النعناع Menthe حيث استزرعه في أنماط مختلفة من المياه، فلاحظ أن النباتات تنمو بشكل أفضل إذا سقيت بالماء العادي مقارنة بالماء المقطر.

- في عام **1727** م نشر العالم ستيفن هيلز **Stephen Hales**(الانجليزي)أبحاثه الأولى حول صعود النسغ وأسس فيزيولوجيا النباتات في كتابه إحصاء النبات.Vegetable Statics ، كما بحث أيضا عن مصدر كربون المادة العضوية .

- **1971 م– 1977 م** قام العالم جوزيف **بريستلي Joseph Priestley** بتجربة بين من خلالها أن النبات الأخضر قادر على تنقية الهواء الذي أفسده احتراق الشمعة أو الحيوان و قال أن النباتات تتنفس لكن تنفسها يختلف عن تنفس الحيوان، حيث وضع نبات في وعاء زجاجي و بجانبه شمعة فوجد أن الشمعة تبقى مشتعلة لمدة طويلة.

- في **1779** وجد العالم الهولندي **Ingenhousz Jan** وجد أن النباتات تستطيع تنقية الهواء بضع ساعات و ان تلك العملية العجيبة تعود إلى تأثير ضوء الشمس على النباتات و تقوى كلما كان الضوء شديدا و أن النباتات تنشر غاز CO_2 أثناء الليل أو عندما توضع في الظل و تفسد الهواء، أما تحت أشعة الشمس فإنها تنشر الهواء الصافي أي الأكسجين و ان الأوراق و أعناقها هي التي تقوم بهذه الوظيفة. بين كذلك أن CO_2 هو المصدر الرئيسي للفحم داخل النبات و أن التركيز العالي له يضر النبات، و هكذا ميز بين عمليتي التمثيل الضوئي و التنفس . و بين أن هاتين العمليتين تجريان في النبات في آن واحد، و قال أن النباتات تستمد الماء من الأرض و CO_2 و O_2 من الهواء و هكذا بين النقاط الرئيسية لعملية التمثيل الضوئي.

- في **القرن التاسع عشر(1800 م)** اشتهر العالم السويسري **نيكولاس تييادور Nicolas Théodore** الذي نشر بحوث عديدة في فسيولوجيا النبات من التغذية المعدنية – انبات القمح – الازهار – نضج الثمار ....الخ

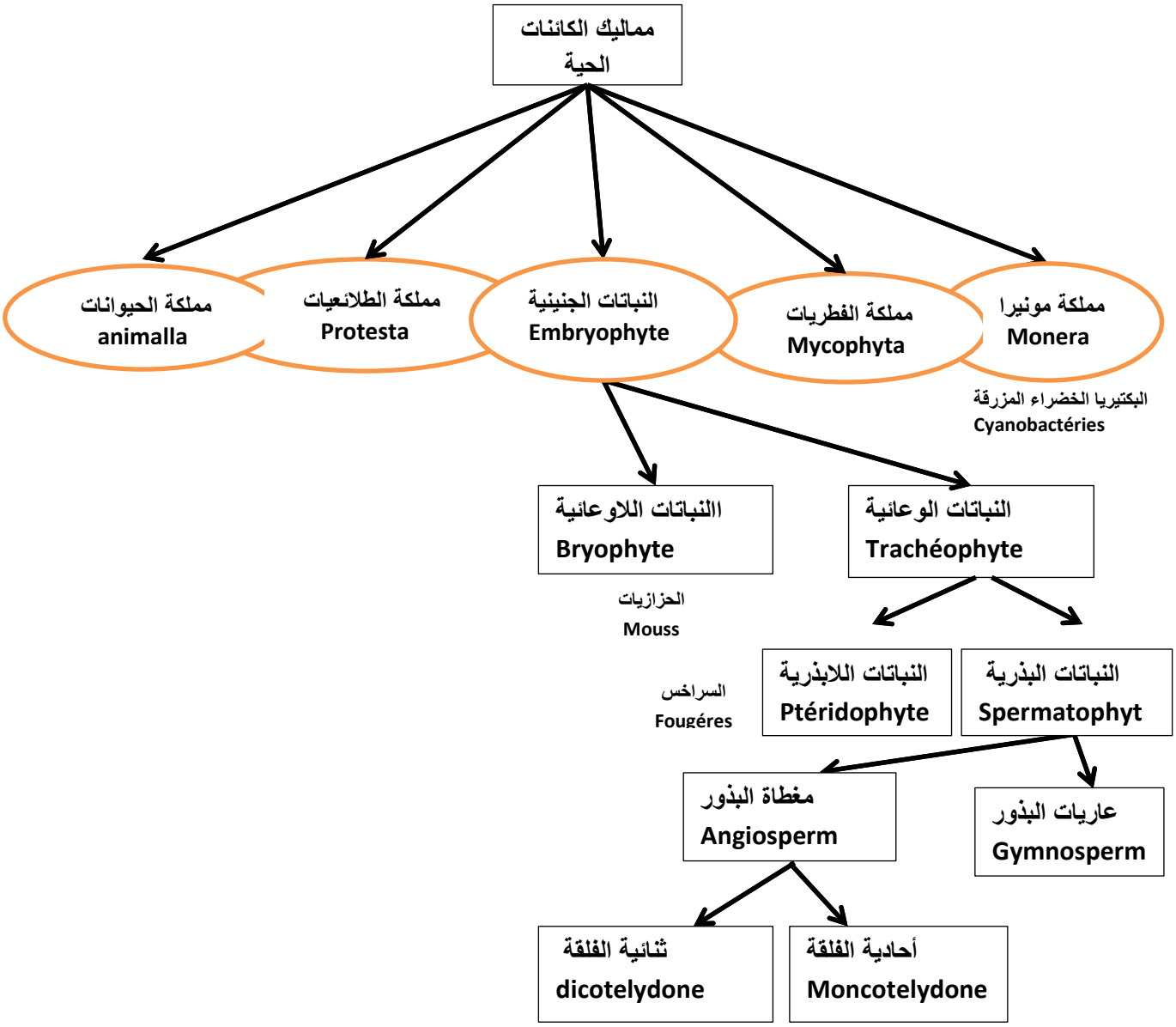
- في **عام (1840 م)** اكد العالم الألماني **فان ليبيج Justus von Liebig** نضرية الدبال

- في عام **1860** م ظهر العالم الالماني ساكس **Julius Von Sachs** و هو مؤسس علم الفيزيولوجية النباتية وفق مفهومها الحديث و مؤلف أول كتاب في فيزيولوجيا النبات ، و كان أول من استعمل المزارع المائية للكشف عن العناصر الضرورية لحياة النبات ،و وضع محلول المنظم لنمو النبات في المزارع المائية و يسمى محلول ساكس.
- في عام **1920م** توصل كل من أوتو واربورغ **Otto Warburg** و واربوس نيجليين **Warbus Negelein** إلى أن التركيب الضوئي يتكون من العديد من المراحل.

منذ ذلك الحين فقد تقدم علم فيزيولوجيا النبات تقدما سريعا حيث ظهرت في العصر الحديث الزراعة النسيجية و الزراعة الخلوية و التي يتحكم فيها عن طريق أجهزة الاعلام الآلي و غيرها و من الوسائل التكنولوجية EXAO

مفاهيم قبلية في الفسيولوجيا النباتية

1. **التنظيم العام للمملكة النباتية** : حسب هويتاكر فقد تم تقسيم الكائنات الحية إلى خمس مماليك هي مملكة البدائيات (Monera)، مملكة الطلائعيات (Protesta) ، مملكة الفطريات (Fungie)، مملكة النباتات الجنينية (Embroyphyta)، و مملكة الحيوانات (**الشكل 1**)

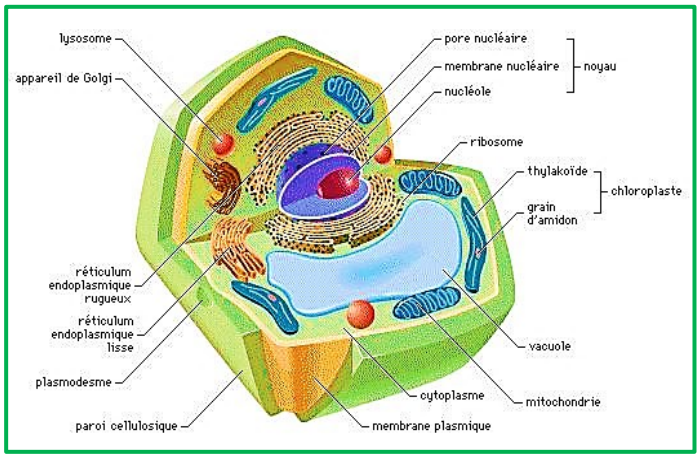


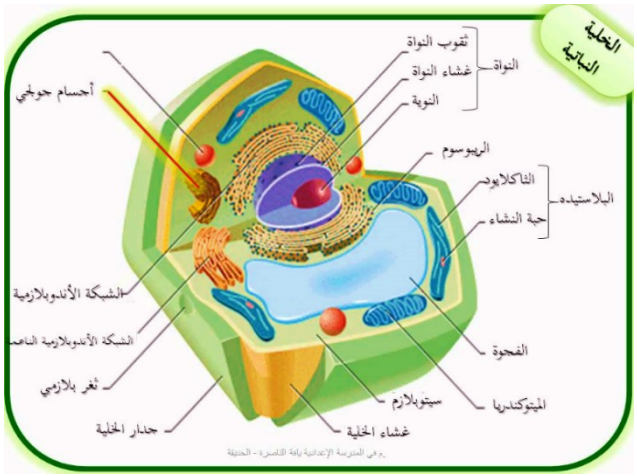
الشكل(1) : تقسيم المماليك النباتية حسب هويتاكر(Whittaker 1996)

2. التنظيم العام للخلية Organisation d'une cellule végétal

يتوقف مفهوم فسيولوجيا النبات على فهم الأساس التركيبى والوظيفى للخلية النباتية الحية. ولقد ساعد الميكروسكوب الإلكترونى فى توضيح المعالم التركيبية للخلية الحيه .

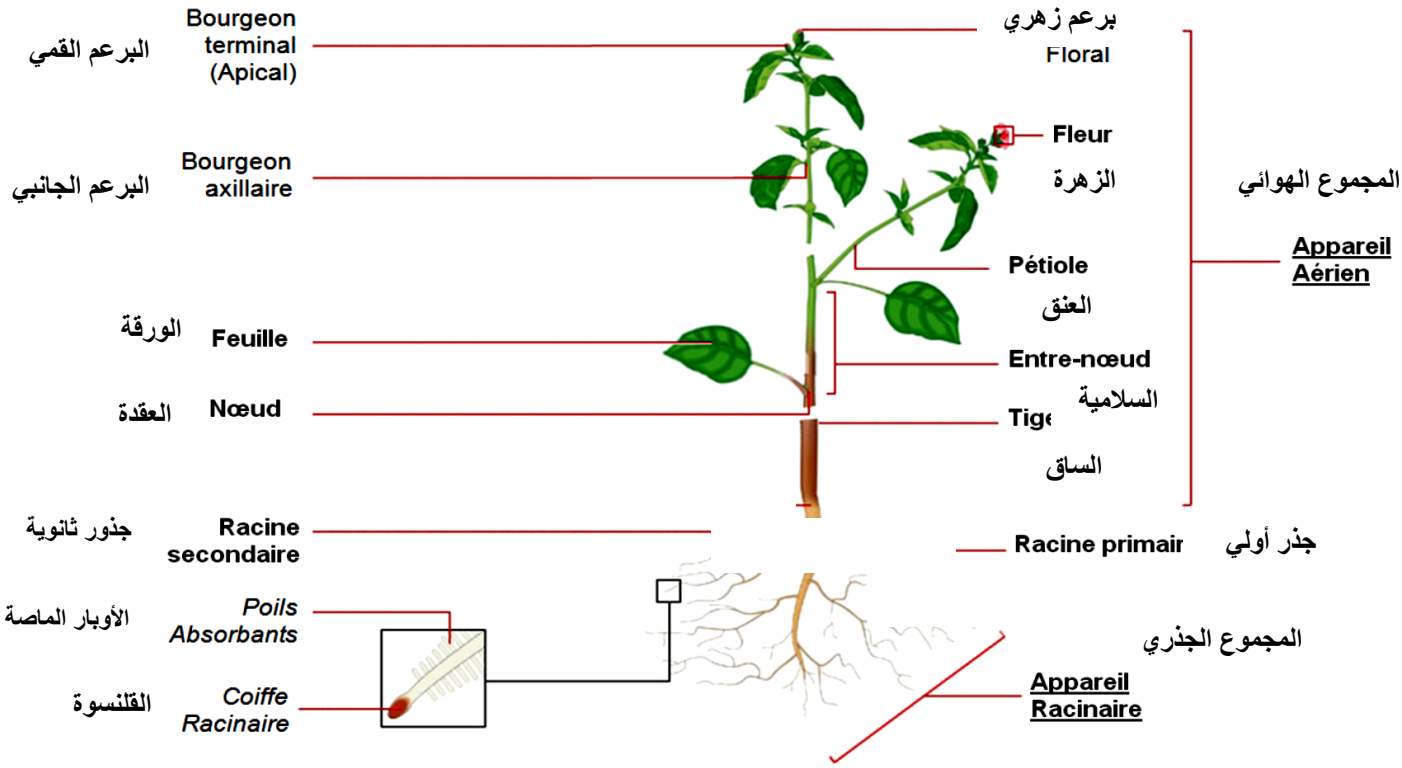
الخلية هي أصغر وحدة بنائية ووظيفيه للكائن الحي حيث تكون محاطة بغشاء يفصل وسطها الداخلي عن الخارجي و قد تم اكتشافها أول مرة من طرف العالم روبرت هوك عند ملاحظته لخلايا الفلين. (للشكل 2)





الشكل (2): رسم تخطيطي لما فوق البنية لخلية

2. التنظيم العام للنبات: Organisation d'un végétal



Titre : Schéma de la structure d'une plante.

الشكل 3: التعضي العام للنبات

الجزء الأول: النمو والتطور Croissance et Dévloppemment

النمو هو أحد الصفات البارزة المميزة للكائنات الحية والتعريف البسيط للنمو في رأي علماء النبات هو الزيادة في الكتلة الخلوية متضمناً في ذلك زيادة حجمها ووزنها الجاف

وإن تمايز النبات من البويضة المخصبة لا يمكن النظر إليه على أنه مجرد زيادة في وزن أو حجم هذه البويضة و لا يمكن اعتبار النبات الكامل على أنه بويضة مكبرة وليس نبات كامل التطور هذا مما أدى إلى اعتقاد بعض العلماء بأنه التمايز والتطور يعتبران أحد مظاهر النمو . وعلى النقيض مما سبق يرى بعض العلماء ضرورة التفريق بين النمو Croissance والتطور développement والتمايز Différenciation ، فالنمو هو الزيادة الغير رجعية فى عدد و وزن و حجم الخلايا والأعضاء وبالتالى النبات الكامل نتيجة انقسام واستطالة الخلايا أما التمايز فاننا نطلق مصطلح التمايز Différenciation عند التحدث عن كل حالة تحدث للخلايا المرستيمية عند تميزها الى أنواع من الخلايا تدخل فى أنسجة مختلفة او أعضاء مختلفة والتى بالتالى سوف تختلف فى الشكل الذى يؤدى الى تغير شكل ووظيفة الخلايا داخل الأنسجة والأعضاء لتكوين تراكيب متميزة فى الوظيفة وهو ليس نموا ولكنة ملازم له، على حين أن تعاقب التغيرات التركيبية والوظيفية التي تحدث أثناء دورة حياة الكائن الحي تعتبر تطور ويتضمن التطور تقدم الكائن الحي وتطوره من كائن صغير إلى آخر كبير ومعقد ، فهو المحصلة النهائية او الكلية للنمو والتمايز فى تسلسل محدد او هو الانتقال من مرحلة من مراحل التطور الى مرحلة أخرى والتطور يتبعه سلسلة متعاقبة من التغيرات داخل كل عضو من أعضاء النبات خلال دورة حياته ومن اكثر صور التطور وضوحا هو انتقال النبات من الحالة الخضرية الى حالة الأزهار او تطور الورقة من الحالة التى تكون فيها الورقة فى صورة أثناء وجودها بالبرعم الى حالة الورقة الكاملة الناضجة .

ويمكن دراسة التطور من خلال وسيلتين اما مورفولوجيا او كيميائيا أي فسيولوجيا فالأول يتم دراسة التغيرات التركيبية والتشريحية التى تتكون ويمكن ملاحظتها ورصدها خلال التطور و هذا يتطلب دراسة وفهم ومعرفة العوامل التى تؤثر وتؤدى الى تلك التغيرات الشكلية و منه يتوجب دراسة العمليات الحيوية الكيميائية الفسيولوجية التى تصاحب ذلك التغير الشكلى

يتطلب النمو المنتظم للأعضاء النباتية وتكشفها تنسيقا وخضوعا لعمليات ضبط على مستوى ثلاث مراحل متميزة وهذه المراحل يمكن تلخيصها كالتالي:

1. **مستوى التحكم الداخل خلوي (Intracellulaire)**: ويتضمن التغيير في التعبير المورثي الذي يؤثر عن نشاط الخلية وذلك عن طريق تغير نوعية البروتين المنتج

2. **مستوى التحكم بين الخلوي (Intercellulaire)**: ويتضمن التحكم بين الخلايا بواسطة منظمات النمو النباتية ودورها في المساهمة في النشاطات الايضية بين مجموعة من الخلايا وكذا تنظيم العلاقة بين المستوى الخارج خلوي والمستوى الداخل خلوي.

3. **مستوى التحكم الخارج خلوي (Extracellulaire)**: المتمثل في ضبط نمو الأعضاء تبعا واستنادا للمعلومات البيئية المتوفرة.

من الملاحظ أن كثيرا من الدارسين يركز في دراسته على على نوع واحد من هذه الظوابط على الرغم من أنه قد يؤدي التغير الوراثي إلى تغير في مستوى منظمات النمو النباتية أو يؤدي إلى تغير في حساسية الخلايا للهرمونات، كما أن هرمونات النمو تستطيع أن تأثر على التعبير المورثي إلى حد ما وربما يشمل هذا التفسير الإشارات البيئية و ذلك على مستوى الضبط الداخلي لنمو الخلايا و هكذا نجد أن جميع هذه المراحل الخاصة بالتحكم و ضبط النمو ستحدد الشكل النهائي لتكشف النبات.

1. الهرمونات النباتية Phytohormone:

يعد التفاعل بين الخلايا عملية في غاية التعقيد ، فلو فرض أن اخذت خلية من نخاع نبات ما بهدف تنميتها في وسط غذائي صناعي ، فإنها سوف تعطي خلايا غير منتظمة الشكل وغير متمايزة ، و لكن عند تنميتها في محلول غذائي مناسب و بجرعات صحيحة من منظمات النمو فإن الجذور و المجموع الخضري سوف تتكون و في النهاية تعطي نبات كامل كما هو الحال داخل النبات، لوحظ أن معظم الاستجابات الفسيولوجية فى النباتات ترجع إلى ما يسمى بمنظمات النمو و هي مركبات عضوية غير مغذية تنتج بكميات صغيرة تشجع Promote أو تحور modifier أو تثبط inhibité .

مفهوم الهرمونات النباتية Phytohormones: مواد كيمائية تتواجد بصورة طبيعية فى الأنسجة النباتية تنتج بكميات صغيرة من خلايا متخصصة لتؤثر على خلايا مستهدفة، لتنظم العمليات الفسيولوجية النباتية منها ما هو منشط ومنها ما هو مثبط، و من بين هذه الهرمونات الأكسينات – الجبريلينات – السيتوكينيات – غاز الايثيلين – حامض الأبسيسيك

1.1. الأكسينات les Auxins

الأكسينات هي أول نوع من الهرمونات التي تم اكتشافها و كلمة أكسين كلمة يونانية auxein معناها ينمو ، أطلق هذا اللفظ على هرمون النمو الذى ينتج فى قمم النبات، و يمكن تعريف الأوكسين طبقا للعالم **Thimann سنة 1969** كالأتي :

يستعمل لفظ أوكسين للدلالة على المادة العضوية التى تزيد النمو زيادة غير عكسية على طول المحور الطولى إذا أعطيت تركيزات ضئيلة .

1.1.1. اكتشاف الأكسين:

في منتصف القرن التاسع عشر كان العالم داروين Charles Darwin يدرس الحركة في النبات، حيث كان يدرس تأثير الجاذبية الأرضية والاضاءة من جانب واحد على حركة النبات

❖ **تجربة داروين1880** -:

- وجد أن الغلاف الورقي لنبات الكناري يستجيب للإضاءة من جانب واحد

- وجد أن الغلاف الورقيColeoptile لبادرة أعشاب الكناري *Phalaris canriensis* يفقد قدرته على الانتحاء إذا نزعت قمته (حوالي من 1- 2 مم).

- تغطية القمة النامية بالقصدير يمنع الانتحاء

ومنه استنتج أن الانتحاء يكون تحت تأثير عامل الإضاءة وهذا يتدخل القمة النامية

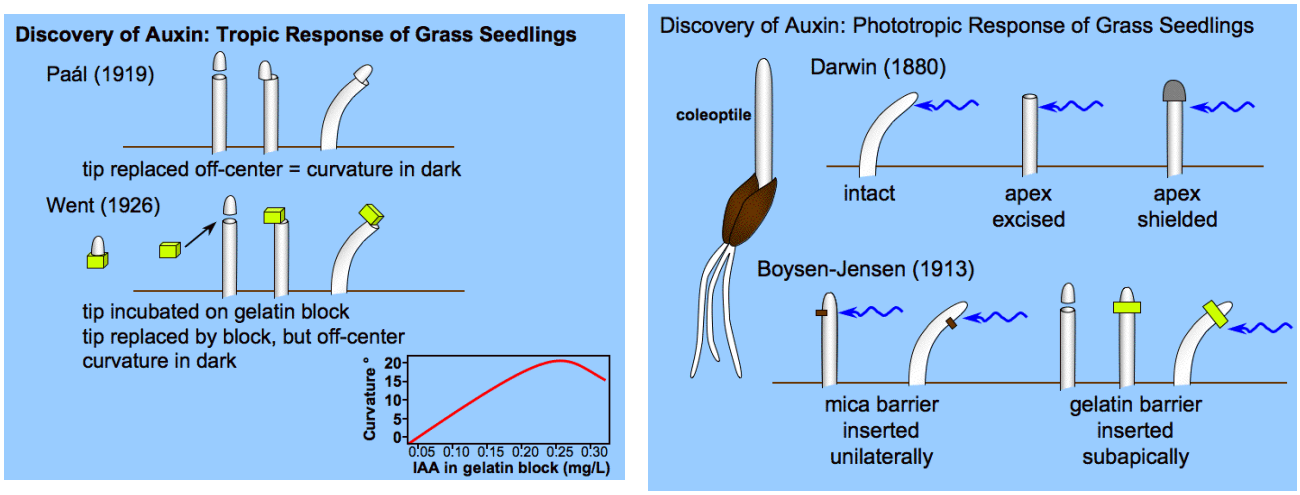
❖ **تجربة بويسن جونسن1913م:** في بداية القرن العشرين 1910-1913 وضح العالم بويسن جنسن Boysen-Jensen طبيعة المواد المنظمة للنمو في النبات و هذا عندما قطع البادرة بضع مليمترات من القمة ثم وضع مكان القمة قطعة من الجيلاتين و وضع فوقها القمة و عرضها للضوء، فلاحظ وجود الانتحاء كما أوضح أن بالامكان التدخل في في الانحناء ناحية الضوء و ذلك بقطع جزأ عرضي تحت القمة في الناحية المظلمة ووضع قطعة من الميكا فلاحظ عدم حدوث الانتحاء عكس ما إذا وضعها في الجانب المضاء و هذا يثبت أن المؤثر ينتقل من القمة النامية إلى أسفل الناحية المظلمة ، و مع أن جونسن أوضح أن هناك مادة تتكون في القمة النامية و هي مسؤولة عن الانتحناء إلى أنه لم يتوصل إلى هويتها.

❖ **تجربة بال 1919م** : أما العالم بال Paal (1919) فوجد أن قطع القمة النامية للبادرة ثم وضعها من جانب واحد فإن ذلك يسبب الانتحاء حتى إذا وضعت في الظلام و منه توصل إلى أن هناك مادة تتسرب من القمة النامية و تسبب زيادة نمو الخلايا.

❖ **تجربة وانت 1926م:** تبقى فصل هذه المادة لتوضيح أثرها على النبات و هذه الخطوة قام بها العالم الهولندي وانت Went 1926- 1928 لقد وضع قمم بادرات مقطوعة حديثة على مربعات صغيرة من الأجار لمدة محدودة من الزمن ثم وضع

قطع الآجار مكان القمة النامية فلاحظ الانتحاء كذا لاحظ أن وضع قطع الأجار على جانب واحد و في الظلام يسبب الانتحاء و منه وضع طريقة للكشف عن الأكسين ، وانت وجد أن زاوية الانتحناء تتناسب مع كمية المادة المنشطة

و التي سميت المادة التي تسبب النمو بـ Auxien ، و أول من توصل إلى استخلاص الاكسين هو العالم كوجل Kogl وهاجن Hagen حيث فصلوا المركب من زيت الذرة أطلق عليه هتراكسين و هو يعرف اليوم بالأندول حمض الخليك IAA



الشكل (1): مراحل اكتشاف الاكسين

2.1.1. مواقع تخليق الاكسين :

من الثابت حالياً أن الأوكسينات توجد فى جميع النباتات الراقية. ويعتبر الطرف القمى المرستيمى المصدر الرئيسى لإنتاج الأوكسين، كما تعتبر الأجنة نوعاً أخر من المرستيمات التى تنتج كميات كبيرة من الأوكسين ولقد أوضح العالم Nitsch أن الأجنة تعتبر الموقع الرئيسى لإنتاج الأوكسين فى ثمار التفاح والشليك .كما أوضح العالم Hemberg أن أجنة البذور تعتبر مصدراً هاماً لإنتاج الهرمونات النباتية، عموما يتم تخليق الاكسين في المناطق الميرستيمية الحديثة النمو .

3.1.1. أقسام الاكسينات

يطلق لفظ أوكسين على مجموعة من المركبات تتشابه كثيراً فى تأثيرها الفسيولوجى رغم تباينها فى تركيبها الكيميائى، و لسهولة تمييزها تم وضعها في خمسة مجموعات (الشكل 2) وهي :

1. Indol acids : و من أمثلتها Indol Acitic Acid (IAA)، Indole-3-butyric acid (IBA) ، Indole-3-propionic acid

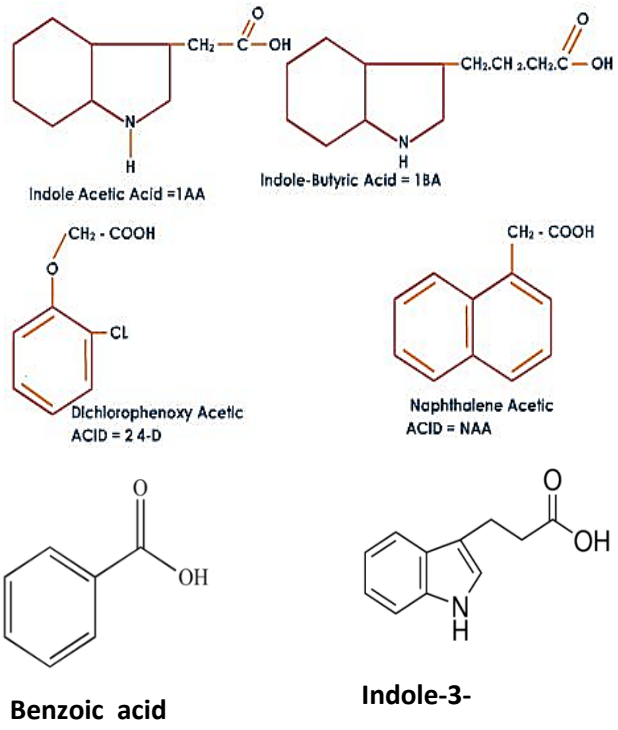
2. **Naphthaléne acids** :ومن أمثلتها– Naphthaléne acetic acid (NAA).

3. **Chlorophenoxy acids**: ومن أمثلتها

2,4,5- Trichlorophenoxy acetic acid

MCPA (2- methyl 4- Chlorophenoxy acetic acid).

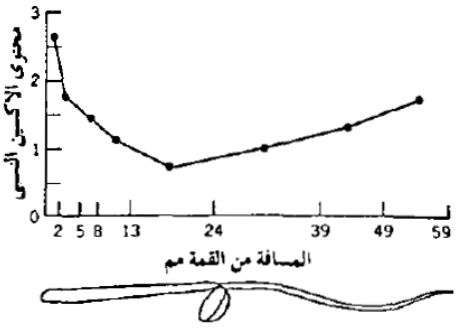
4. **Benzoic acids** .



الشكل(2): التركيب الكيميائي لبعض أقسام الاكسين

4.1.1. توزيع وانتقال الأكسين في النبات:

يتم تخليق الاكسين في القمم النامية، الخلايا الميرستيمية، البراعم، الأوراق الحديثة، الخلايا الانشائية، جنين البذرة , اما عن توزيعه فهو يتركز في القمم النامية ويقل تركيزه كلما انتقلنا

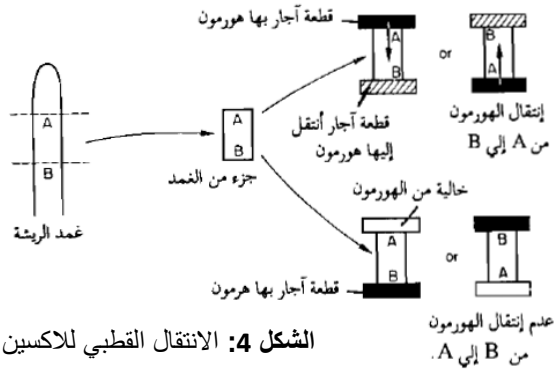


شكل (3) توزيع الاكسين فى بادرات الشوفان النامية فى الظلام
(After K.V. Thimann. 1934. J. Gen. Physiol. 18:23. Redrawn from A.C. Leopold. 1955. Auxin and plant growth Los Angeles: University of California Press.)

من القمة الى القاعدة، و يتم توزيعه في النبات عبر اللحاء Phloéme، وهذا ما وضحه تايمان Thimann عندما عاين كمية الاكسين في بادرة نبات الشوفان حيث وجد أن تركيز الاكسين يتناقص بالبعد عن القمة النامية ناحية قاعدة البادرة **(الشكل 3)**.

1.4.1.1. الانتقال القطبي للأكسين:

يتم انتقال الاكسين وفقا للخاصية القطبية Polarité، حيث كان هناك جدل كبير حول انتقال الاكسين فقد أثبتت التجارب كل من داروين و بويسن جنسن ووانت أن انتقال الاكسين يكون من القمة المورفولوجية للقاعدة المورفولوجية، لكن العالم يعقوب جاكوب Jacobs انتقد انتقال الاكسين إلى الأسفل فقط فوجد ان نسبة انتقال الاكسين من الأعلى إلى الاسفل يمثل 1:3 من انتقاله من الأسفل إلى الأعلى **(الشكل 4)** ، و كذلك انتقال الاكسين من الورقة داخل أنسجة اللحاء إلى أجزاء النبات الأخرى، أي هناك انتقال غير عموديا للاكسين. وقد ظهرت عدة تفسيرات لانتقال القطب للاكسين منها:

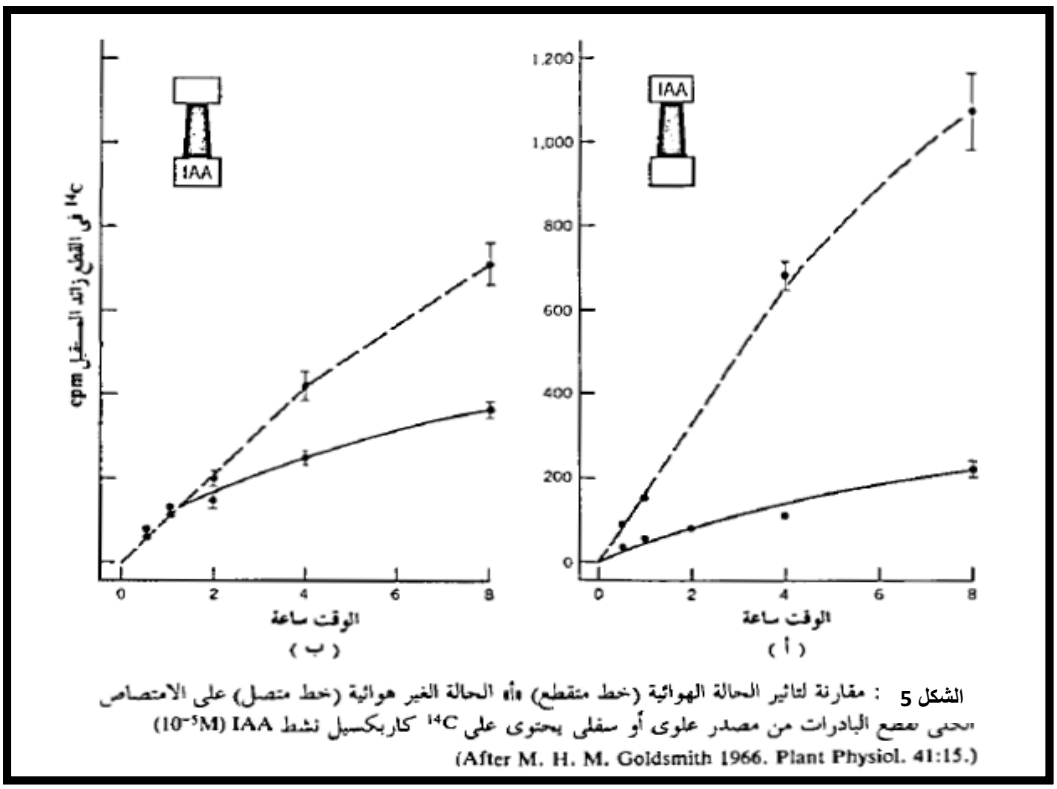


الشكل 4: الانتقال القطبي للاكسين

- **الميز:** اي انتقال الجزيئات من الوسط الأكثر تركيز إلى الوسط الأقل تركيز، لكن فيما بعد وجد أن الاكسين يمكنه أن ينتقل ضد تركيزاته العالية .

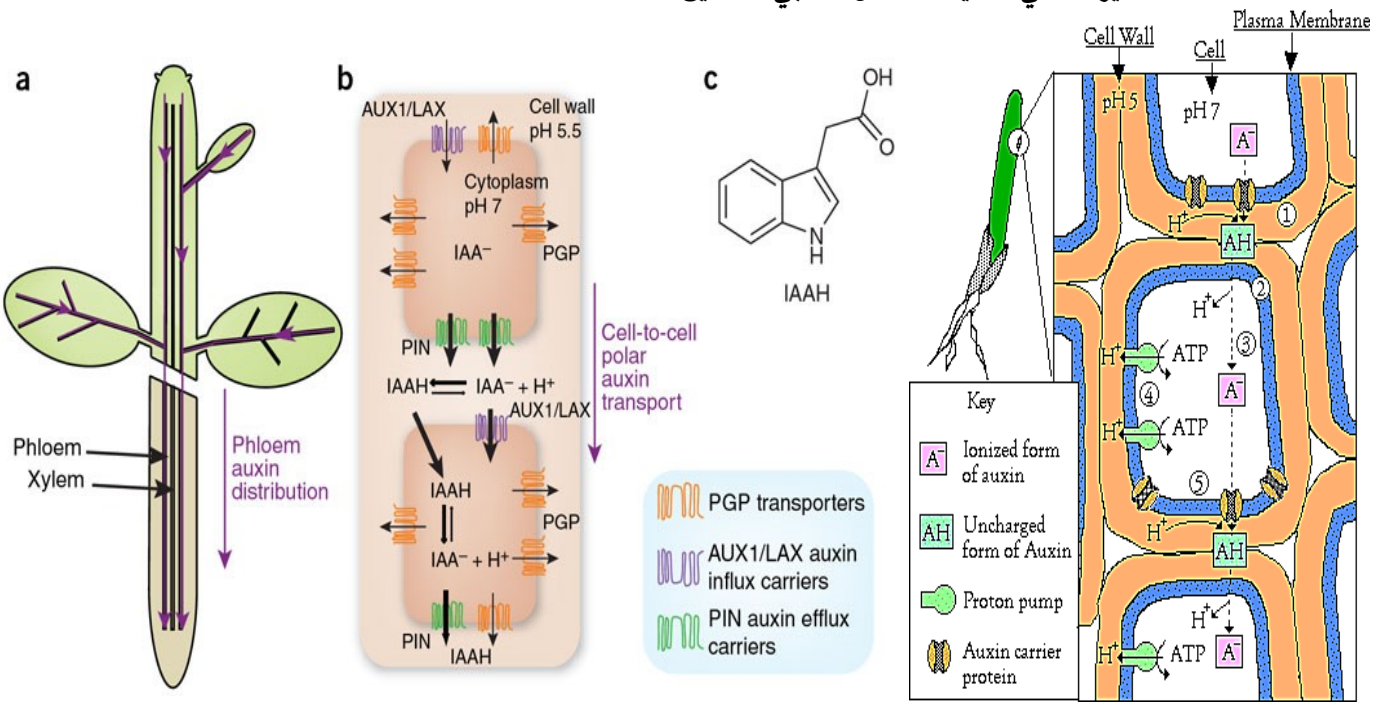
- **الشحنة الكهربائية** : اعتقد أن القاعدة و الجزء المظلم للبادرة و الجزء السفلي من البادرة يكون مشحون بشحنة موجبة و الأكسين ينتقل إلى الشحنة موجبة ، الاعتراض الوحيد هنا أنه إذا تم وضع بادرة تحت مجال كهربائي فإنها تنحني جهة الشحنة الموجبة و هذا عكس ما يحدث في الطبيعة.

- **النشاط الحيوي للخلية** : جولد سميت سنة 1966 اقترح أن انتقال الاكسين يمكن أن تتحكم فيه درجة من النشاطات الحيوية في الخلية و هذا يعني وجود الطاقة فقد وجد أن غياب الاكسجين يثبط انتقال الاكسين و كذلك وجود المثبطات الحيوية ، حيث تم اجراء بحوث على قطاعات باذرات الشوفان حيث وجد أن معظم حركة الاكسين في النبات تحدث بطرقتين مختلفتين واحدة تعتمد على الطاقة و الآخرى بالانتشار البسيط و الشكل (5) أدناه يوضح ذلك



الشكل 5 : مقارنة لتاثير الحالة الهوائية (خط متقطع) و الحالة الغير هوائية (خط متصل) على الامتصاص المحتمل لعصع البادرات من مصدر علوي أو سفلي يحتوي على ^{14}C كاربكسيل نشط IAA ($10^{-5}M$)
(After M. H. M. Goldsmith 1966. Plant Physiol. 41:15.)

❖ **التفسير العلمي الحديث للانتقال القطبي للاكسين**



الشكل 6: آلية الانتقال القطبي للأكسين

الأكسين عبارة عن حمض ضعيف يشكل الثنائية(حمض/أساس) (IAA−/IAAH) لديه القدرة على فقدان و اكتساب بروتون H+ و هذا حسب PH الوسط ، كما أن لديه نواقل نوعية منها من تساهم في ادخال IAAH إلى سيتوبلازم الخلية و تسمى (AUX1/LAX auxin (influx carier و أخرى تعمل على اخراج الاكسين و هي قنوات (efflux cariers) PIN auxin ، كما يتم استهلاك طاقة بغية ضخ بروتونات H+ للمحافظة على درجة حموضة الوسط.

5.1.1. التأثيرات الفسيولوجية للاكسين:

1. استطالة الخلية:

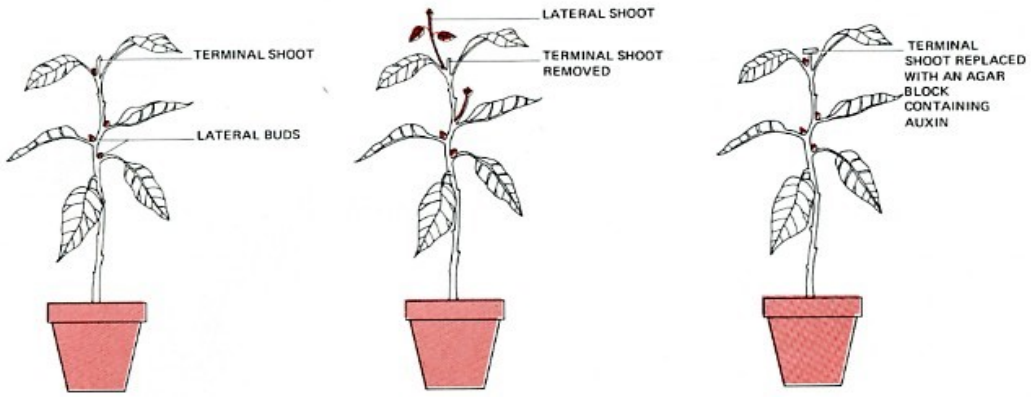
يسمى الاكسين بهرمون النمو فهو يساهم بشكل مباشر في عمليات النمو المختلفة و ذلك من خلال المساهمة في استطالة الخلايا فبعد الانقسام، تتزايد أبعاد الخلايا الناتجة و يكون هذا بتدخل الاكسين .

2. الانتحاء Tropisme

و يعرف أنه حركة نمو للنبات يثيرها منبه خارجي وحيد الجانب و هو أنواع انتحاء ضوئي Phototropisme انتحاء ارضي Geotropisme ، مائي Hydrotropisme . ، كيميائي Chimiotropisme ، ميكانيكي Thigmotropism كل هذه الانتحاءات يسببها الاكسين

3. السيادة القمية Dominance Apical

لاحظ العلماء النبات سيادة البرعم الطرفي أو القمي على نمو البراعم الجانبية في أنواع كثيرة من النباتات حيث لوحظ أن البرعم الطرفي سريع النمو بينما البراعم الابطية فتبقى خاملة ، في حين أن قطع البرعم الطرفي يؤدي إلى نمو البراعم الابطية و كان العالمان اسكوج و تيمان Skoog and Thimann 1934 هما أول من توصلا إلى علاقة الاكسين بالسيادة القمية أوضحا بأنّ البرعم النهائي هو مركز لبناء الاوكسين وعندما ينتقل هذا الاوكسين عبر الساق الى البراعم الجانبية يسبب زيادة كبيرة نسبياً في تركيز الأوكسينات داخل أنسجة البراعم الجانبية مُثبطاً بذلك نموها. وقد تم التأكد من ذلك بإبدال البرعم النهائي بقطعة أجار حاوية على الاكسين فقد كان له نفس تأثير البرعم النهائي **(الشكل 7)**. وحسب تفسير هذين العالمين بأنّ البراعم الجانبية تكون أكثر حساسية للأوكسين من السيقان وأنّ تركيز الاوكسين الذي يسبب نمو الساق يكون مثبطاً لنمو البراعم الجانبية. هذا وتختلف درجة السيادة القمية باختلاف النباتات ففي عباد الشمس تكون ظاهرة السيادة القمية كاملة بينما في الطماطم تكون السيادة القمية أقل درجة.



الشكل (7): دور الأكسين في السيادة القمية

4. تكوين بادئات الجذور: Initiation racine

يزيد الاوكسين خصوصاً IAA من عدد الجذور البدئية في الزراعات النسيجية المختلفة.

5. تكوين الثمار العذرية Parthenocarpy

عند سقوط حبوب اللقاح واخصاب البويضات في الزهرة تبدأ عملية انشاء الثمار أي أن عملية الالقاح تؤدي إلى انتفاخ المبيض في أغلب أنواع النباتات. إنّ تأثير الالقاح والاخصاب على نمو الثمار ربما يكون بواسطة تحرر مواد محفزة معينة. وعلى الرغم من ذلك فهناك ثمار تنمو من دون حدوث عملية القاح سابقة. نمو هذا النوع من الثمار شائع ويسمى بالنمو العذري (Parthenocarpy). وتعرف الثمار الناتجة بالثمار العذرية (Parthenocarpic fruits).

تمكن يسودا Yasudaمن انتاج ثمار عذرية باستخدامه خلاصة حبوب اللقاح في ازهار نبات الخيار وعند تحليل المركبات الموجودة في ذلك المستخلص وجد انها تحتوي على الاوكسين.

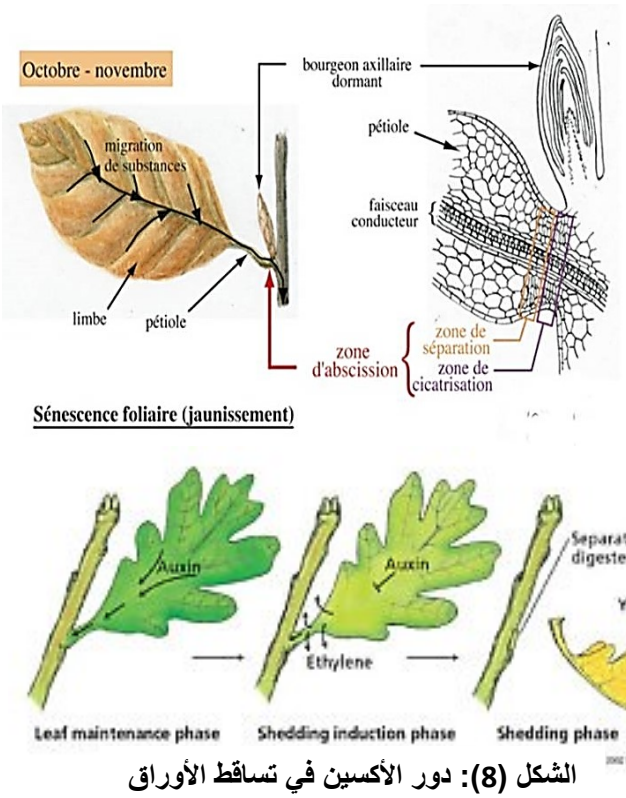
يحصل النمو العذري طبيعياً في بعض النباتات مثل بعض أصناف التفاح والخيار والعنب والاناناس والموز وغيرها دون الحاجة إلى استخدام هرمونات معينة لانتاجها.

6. سقوط الأوراق Abscission des feuilles

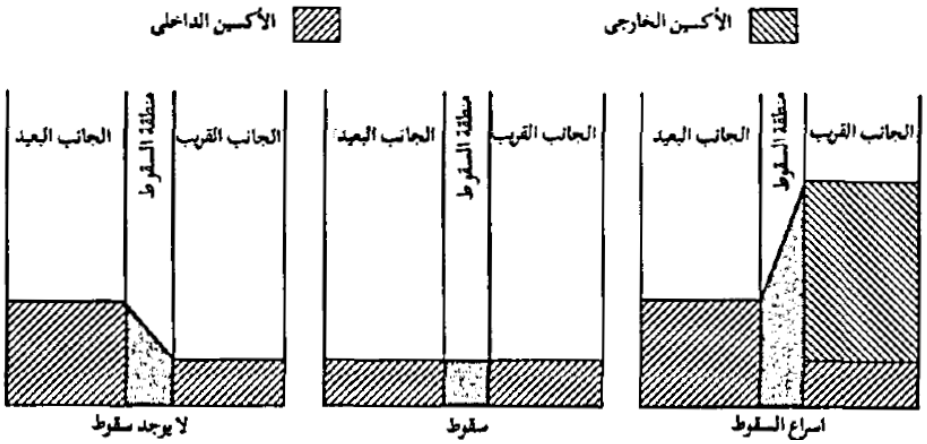
سقوط الأوراق هي ظاهرة فسلجية مميزة ودورية غالباً ما تحصل في نهاية فصل النمو وهو الخريف في جميع النباتات النفضية (متساقطة الأوراق)، سبب السقوط هو تكوين منطقة انفصال تتميز هذه المنطقة بجدران رقيقة وخالية من مادتي السوبرين واللجنين تتكون من صف واحد من الخلايا أو أكثر.

للوصول إلى دور الاكسين في التحكم في سقوط الأوراق نتكلم عن تجربة شوجي Shoji و آخرون حيث وجدو أن في نبات الفاصولياء نصل الأوراق غير ناضجة تحتوي على كمية عالية من الاكسين مقارنة بالعنق و عندما تتقدم الاوراق بالعمر تتناقص

كمية الاكسين فيها فتصبح جاهزة للسقوط ، كما أن نزع نصل ورقة حديثة يسبب سقوط العنق **(الشكل 8)** ، و قد دلت التجارب أن اختلافة توزع الاكسين بين النصل والعنق هو الذي يتحكم في سقوط الاوراق**(الشكل 9)** بالإضافة إلى وجود هرمونات أخرى مثل غاز الايثيلين و حامض الابسيسيك، ويحدث السقوط نتيجة لتحلل الصفيحة الوسطى لتلك الخلايا أو تحلل الجدران الابتدائية مع الصفيحة. إضافة لتساقط الأوراق يتم تساقط النورات الزهرية والأزهار والثمار ولهذا يستخدم الاوكسين وبتراكيز معينة في عملية نزع الثمار بدلاً من الطريقة اليدوية.



الشكل (8): دور الأكسين في تساقط الأوراق



شكل 9 : العلاقة بين المحتوى الأكسيني خلال منطقة السقوط وسقوط الأوراق.
(After F.T. Addicot and R.S. Lynch 1955. An. Rev. Plant Physiol. 6:211.)

7. **تكوين الكالوس: Callus Formation**:الكالس عبارة عن انتفاخ يمثل نسيجاً من خلايا برانشيمية سريعة الانقسام تزداد طولا بفعل الاكسين . قد يتكون نسيج الكالوس هذا في أماكن الجروح على الأجزاء النباتية، حيث لوحظ أن إضافة عجينة اللانولين المحتوية على 1% من الاكسين إلى أعناق أوراق الفاصولياء منزوعة الاتصال يؤدي إلى حدوث انتفاخ المكان الذي وضع عليه الاكسين.

2.1. الجبريلينات Gibberellins

لولا مرض Bakanae الذي أثر كثيرا على إنتاج الأرز في اليابان، لكان وجود الجبريلين في النبات غير معروف إلى يومنا هذا، حيث لاحظ الفلاحون في اليابان أن النباتات المصابة بهذا المرض أطول من غيرها(البادرات الهوجاء Foolish seedling)، كما لاحظ العالم الياباني Kurosawa المتخصص في أمراض النبات بعض التغيرات المورفولوجية لنباتات الارز مثل:

- إستطالة السيقان و تكون رفيعة السمك.
- شحوب الاوراق الشريطية.
- ظهور عملية السبات للنباتات قبل أو بعد طرد سنابلها بعد ذلك تأخذ النموات الخضرية في الذبول والجفاف وتصبح ميتة مصحوبة باللون الأسمر
- لا تحمل النباتات ثمارا

وأوضح العالم الياباني (Kurosawa 1926) العلاقة بين هذا المرض وفطر *Fusarium moniliforme* و هو أحد اطوار فطر Gibberella fujikuroi، حيث وجد بالتجارب المعملية أن المستخلص المعقم من هذا الفطر يعطي نفس اعراض على بادرات الارز السليمة. ثم إستطاع العالمان Yubuta et Sumiki 1938 فصل بللورات الجبريلين.

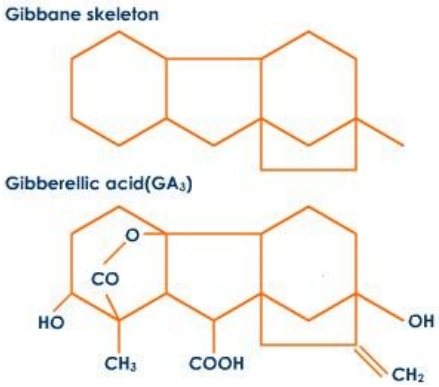
تعتبر الجبريلينات من المواد المنشطة للنمو ويوجد أكثر من 130 نوعاً من الجبريلينات وتختلف الأنواع فيما بينها من حيث عدد ذرات الكربون وكذلك وجود أو عدم وجود مجاميع(OH) ، وتعتبر المادة جبريلينا إذا احتوت على الهيكل الكربونى جيبان Gibbane أو كورين (kaurene) **الشكل(10)**، والجبريلينات عبارة عن أحماض تتبع مجموعة التربينات و لهذا تسمى بحمض الجبريليك (GA) Gebberilic Acid

1.2.1. مكان تخليق الجبريلين في النباتات الراقية

يتم تخليق الجبريلين في الأوراق الصغيرة والحديثة للبرعم الطرفي . قمم الجذور والتى تعتبر مواقع لتخليقGA وكذلك البذور أثناء تكوينها .

2.2.1. بعض التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين

الجبريلين يشابه الاكسين في العديد من التأثيرات الفسيولوجية مثل زيادة طول الخلية، انتاج الثمار اللابذرية



الشكل (10): الهيكل الكربوني لحمض الجيبريليك و الجيبان

- **تنشيط استطالة الساق**

يؤدى GA إلى زيادة استطالة الساق من خلال تنشيطه لاستطالة منطقة الخلايا تحت القمية، وزيادة طول السلاميات من خلال تأثيره على العقد، وتنحصر ميكانيكية تأثير GA في إحداث الاستطالة للخلايا الساق، ومنه هو يساعد في معالجة القصر الموروث أي النباتات التي بها خللا وراثيا في تخليق GA فان إضافته تزيد من الطول لكن هذا لا يحدث في الحالة العادية

- **تحلل الغذاء المدخر فى طبقة الأليرون**

أظهرت الدراسات أن معاملة طبقة ا لأليرون الخلايا الحية في البذرة المفصولة بالجبريلين يسبب تخليق وزيادة فى نشاط إنزيمات نذكرمن بينها :

1- Ribonuclease 2- α-amylase

3- B-gluconase 4- B-amylase

5- Protease

- **كسر كمون البذور والبراعم**

يؤدى GA إلى كسر طور الكمون فى البذور وخاصة التى يرجع سبب سكونها إلى الاحتياج لدرجات الحرارة المنخفضة أو نقص الجبريلين، وكذلك التغلب على السكون الذى يرجع إلى الحساسية الضوئية مثل بذور الرمان والخس وكذلك كسر سكون براعم البطاطس والتى يتركز بها حمض الأبسيسيك .

- **الإزهار والإثمار**

يعمل الجبريلين على اطالة ساق الزهرة وذلك من خلال التحكم في التوازن بين طول السلاميات و تكوين الاوراق و تأثير الجبريلين على الازهار ليس مباشرا و انما يعمل على انتاج مواد أخرى تساهم في ذلك

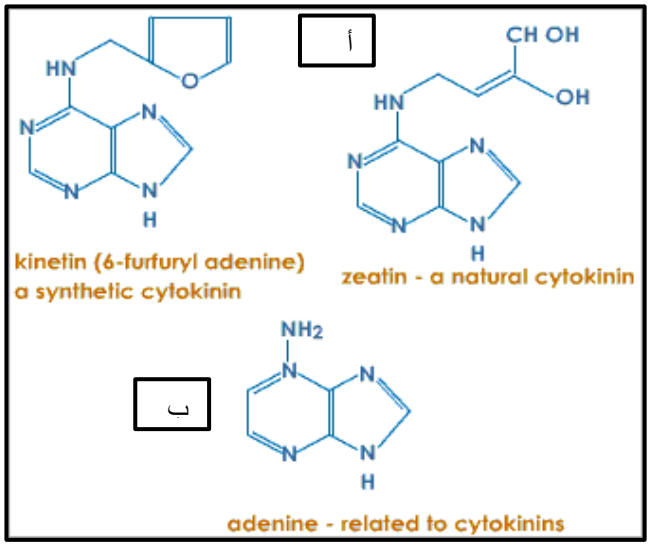
كما لوحظ أن GA يعوض النباتات ذات النهار الطويل والشتوية والتى تحتاج احتياجات ضوئية معينة والتعرض لدرجة حرارة منخفضة لكى تزهر (الارتباع)

- **انتاج الثمار اللابذرية**

فى بعض الحالات التى لا تستجيب للمعاملة بالأوكسينات للحصول على ثمار لا بذرية وخاصة ثمار التفاح و الكومثري و المشمش و الخوخ فإن الجبريلين يعطى نتائج إيجابية جداً فى هذا الشأن.

3.1. السيتوكينينات Cytokinins:

كان أول اكتشاف لهذه المواد المنشطة لانقسام الخلايا فى مستخلص الخميرة حيث تمكن العالم Miller سنة 1956 من عزل مركب بيوريني (ديزوكسي أدينوزين) من ADN و الذي أطلق عليه بـKinetin و استطاع العالم لتهام Letham استخلاص السيتوكينين من بذور الذرة و سمي بالزيتين Zeatin، وجد ان السيتوكينين هو أحد مكونات ARNtللحامض الأمينيTyrosine وعموماً يمكن تخليق السيتوكينين فى الأنسجة المرستيمية أو الأنسجة التى لها القدرة على استعادة النشاط فى النمو فى النباتات الراقية. ولقد أمكن التأكد أن السيتوكينين يتم تخليقه جزئياً (أى بعض السيتوكينين وليس كله) فى قمم الجذور وينتقل لأعلى النبات عن طريق أوعية الخشب. **(الشكل 11)**



الشكل (11): (أ): الهيكل الكربوني لبعض السيتوكينينات

(ب): الهيكل الكربونى للأدنين

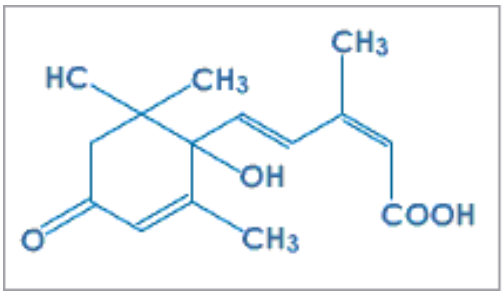
1.3.1. التأثيرات الفسيولوجية للسيتوكينين :

- يساهم في انقسام الخلايا خاصة إذا وضع مع الاكسين وتشكيل الكتلة الخلوية في التكاثر الخضري
- اتساع الخلايا أي زيادة طول الخلية حيث أثبت ان رش أوراق نبات الفاصولياء بالكينيتين يزيد من تطاول الخلايا .
- تكوين الجذور
- كسر كمون بعض البذور مثل بذور السلطة التي تنبت في الضوء الاحمر ولا تنبت في الاشعة فوق الحمراء وجد أن تأثير الكينيتن يشبه المعاملة بالضوء الأحمر
- كسر كمون البراعم فالسيادة القمية التي ارجعناها للاكسين وحده هي في الحقيقة نتاج توازن بين الهرمونات الاخرى والتي من بينها السيتوكينين فاضافته مع تركيز ضعيف من الاكسين يحفز نمو البراعم
- تأخير الشيخوخة أي ان السيتوكينين يؤخر شيخوخة الأوراق حيث يساهم في انتقال الذائبات ونتائج التحول الغذائي وزيادة تركيب الكلوروفيل

4.1. حامض الأبسيسيك Abscisic Acid

من المعروف أن أهم مثبطات النمو الرئيسية التى تم إكتشافها هو هرمون حمض الأبسيسيك والذي تم عزله وتعريفة فى عام 1965 بواسطة العلماء Cornforth and Ohkuma

وقد سبقهم العلماء (Bennet and Kefford 1953) في إكتشاف مثبط نباتى يؤثر فى نمو النباتات وتم تعريفة فى صيغة ، Inhibitor B والذى تم تعريفة فيما بعد أنه على أنه ABA. وهذا الهرمون منتشر فى النباتات ويظهر تأثيره عند وجوده بتركيزات منخفضة جداً .**(الشكل 12)**



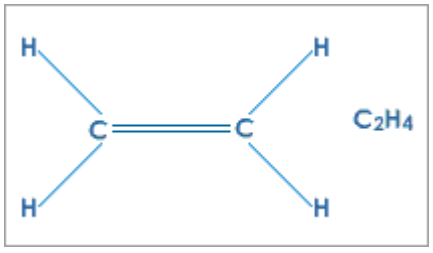
الشكل (12): الهيكل الكربوني لحامض الابسيسيك

1.4.1. التأثيرات الفسيولوجية حامض الأبسيسيك

- كمون البذور
- كمون البراعم
- الحث على الشيخوخة
- التكيف مع الاجهادات
- غلق الثغور عند الجفاف
- سقوط الثمار والاوراق

5.1. غاز الايثيلين: Ethyléne

لم ينظر أحد إلى هذا المركب العضوى البسيط على أنه هرمون إلا حديثاً. ولقد وجد أن الإثيلين يخلق فى جميع الأنسجة النباتية ويؤثر فسيولوجيا وبتركيزات ضئيلة جداً. وأثبتت الأبحاث أن الإثيلين له دور منظم لكثير من العمليات الفسيولوجية فى جميع مراحل نمو النبات منذ إنبات البذرة إلى أن يدخل النبات فى دور الشيخوخة ويموت. والعديد من التغيرات التي فسرت للاكسين لوحده سببها في الحقيقة الايثيلين أي أن هناك تداخل بينهما



الشكل (13): الهيكل الكربوني لغاز الايثيلين

1.5.1. التأثيرات الفسيولوجية للايثيلين

- **نضج الثمار**

لوحظ أن الثمار الناضجة تسرع من نضج الثمار الاخرى المخزونة معها وهذا نتيجة تصاعد مواد طيارة منها و عرفت فيما بعد أنها الايثيلين حيث يعمل على تكوين انزيمات تؤدي إلى تغيرات كيموحيوية مسببة النضج

- **الايثيلين والتنحية الارضية**

يتداخل الإثيلين مع الأوكسين في تأثيره وبالتالى فهو يؤثر على الإنتحاء الأرضى، حيث توصل العلماء أن التركيزات العالية من الاكسين تؤدي إلى انتاج الايثيلين وبالتالي تثبيط النمو على مستوى الجذر

- **الايثيلين والسيادة القمية**

الايثيلين مثبط قوي لنمو البراعم وبهذا يكون له دور في السيادة القمية فزيادة تركيز الاكسين في البراعم الابطية يؤدي إلى زيادة الايثيلين ومنه تثبيط نموها.

- كما وجد أن الإثيلين يؤثر على إنبات البذور ونمو البادرات ويؤثر على طور السكون فى بعض البذور والبراعم. أيضاً له القدرة على تشجيع تكوين ونمو الجذور والشعيرات الجذرية إلا أنه يثبط إستطالة الجذور. وللإثيلين دور كذلك فى تساقط الأوراق.

2. الإنبات Germination

تتكاثر النباتات الزهرية بطريقتين رئيسيتين هما: التكاثر الجنسي والتكاثر اللاجنسي. ففي التكاثر اللاجنسي فتتكاثر النباتات عن طريق الجذور أو الجذوع أو الأوراق ويعرف هذا النوع من التكاثر بالتكاثر الخضري، أما في التكاثر الجنسي تتكاثر النباتات عن طريق الأزهار فيحدث الاخصاب، و تنتج البذور التي تنبت في الأرض وتعطي نباتات تنمو وتزهر وتثمر.

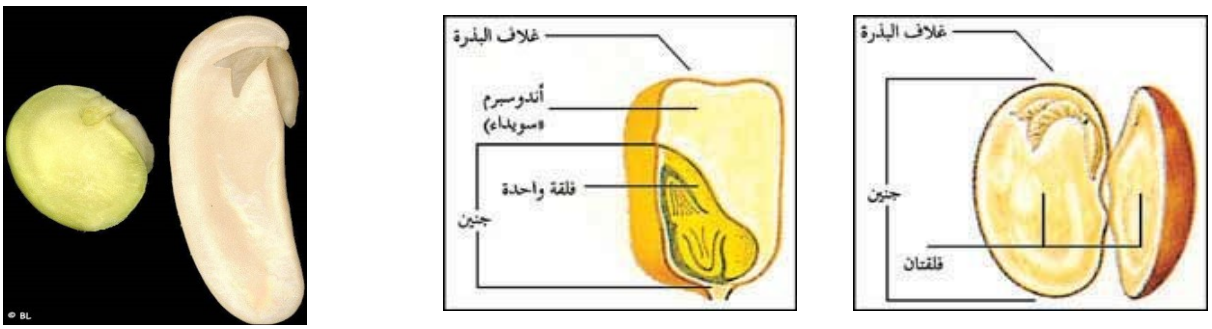
1.2. عموميات حول البذرة

البذرة ذلك الجزء من النبات المسؤول عن إنتاج نبات جديد، تتكون البذور من تراكيب تسمى بويضات موجودة في الأزهار أو على مخاريط النبات. وقد صنّف علماء النبات البذور إلى مجموعتين رئيسيتين هما: بذور مُغلفة أو مغطاة، وبذور عارية.

تتكون البذور المغلَّفة في النباتات كاسيات البذور. تكون بويضاتُها محصورة في تكوين داخل الزهرة يُسمى المبيض. وبزيادة نضج البذرة يتضخم المبيض مكونًا بذلك الثمرة التي تقوم بتوفير بعض الحماية للبذرة المتكوّنة. وفي بعض النباتات تتطور المبايض إلى ثمار لحمية كما هو الحال في التفاح والخوخ. وتكون الثمار جافة في بعض النباتات الأخرى، كما في البازلاء والخشخاش مكونة قرنًا أو علبة. أما نباتات الحبوب مثل الشعير والذرة البيضاء والأرز والقمح فتلتحم فيها البويضة مع المبيض مكوّنة الحبة الصُلبة. وتتكون البذور العارية في النباتات عاريات البذور. وفي هذا النوع من الأشجار والشجيرات، تتكون البييضات على السطح العلوي للحراشيف التي تكوّن المخاريط. وعاريات البذور لا تحتوي على مبايض، لذا لا تكون البذور فيها محاطة بأنسجة المبيض خلال فترة تكوينها. وعندما تنضج البذور تنغلق حراشيف المخاريط بعضها على بعض، موفرة بذلك بعض الحماية للبذرة.

❖ **<u>أجزاء البذرة</u>**

يبين الشكل 14 اجزاء البذرة عند النباتات احادية الفلقة و النباتات ثنائية الفلقة



الشكل 14: أجزاء البذرة عند أحادية الفلقة و ثنائية الفلقة

تتكون البذرة من ثلاث أجزاء أساسية و هي: الجنين _ المدخرات الغذائية – الغلاف

- **أغلفة البذره**

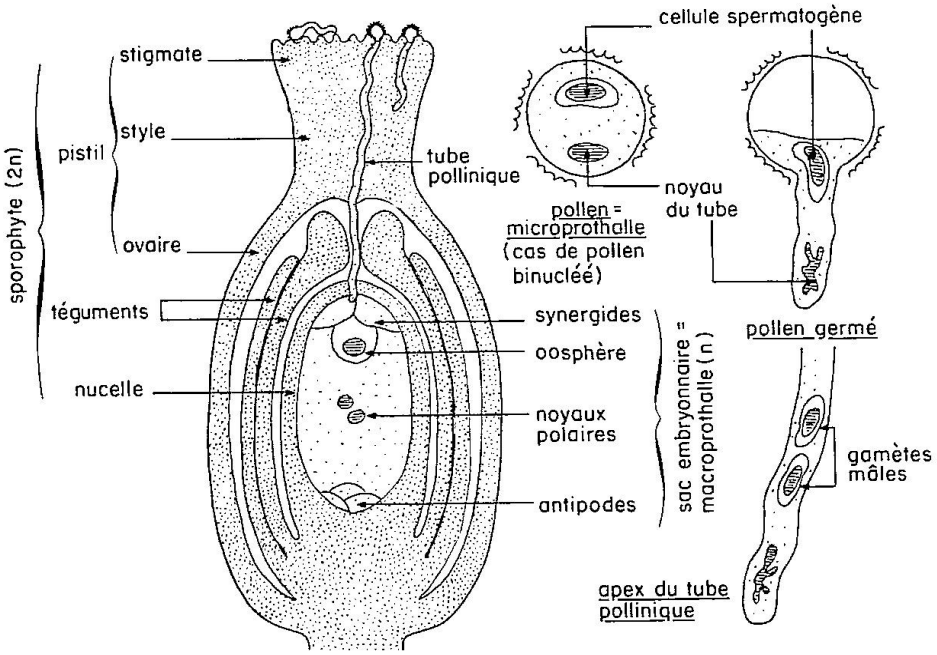
تنشأ اغلفة البذرة من أغلفة البويضة **(الشكل 15)**، بعد عملية الاخصاب ، وغالبا ما يوجد غلافان يمثلان غلافى البويضه ، وفى البويضات التى يوجد لها غلاف واحد فتكون البذره ذات غلاف واحد، وفى هذه الحاله يكون الغلاف عادة صلبا وخشنا ، اما اذا وجد غلافان بذريان فان الداخلى منها يكون رقيقا ويطلق على الغلاف الخارجى للبذره اسم القصره **testa** وكثيرا ما يوجد على غلاف البذره ادله تركيبيه واضحه تدل على اصله ، فتوجد عليها ندبه واضحه تمثل موضع اتصال البذره بالحبل السرى تسمى بالسره **hile** كما يوجد ثقب صغير يعرف بالنقير **microphyle** وهو يمثل الموضع الذى تمر خلاله انبوبة اللقاح مخترقه اغلفة البويضه لتصل الى الكيس الجنينى وكثيرا ما يستمر وجود النقير فى البذره الناضجه كثقب دقيق يساعد على دخول الماء الى داخل البذره اثناء عملية الانبات. ووظيفة اغلفة البذرة هى حماية الجنين من المؤثرات الخارجيه ، كما تساهم في إعطاء اللون للبذرة، وفى الحبوب تتحد قصرة البذره الوحيده بغلاف الثمره لتكون ما يعرف بغلاف الحبه **Péricarpe**، كما فى القمح والذره ، وقد تكون القصره جلديه كما فى الفول والفاصوليا والبسله او غشائيه كما فى الفول السودانى (الغشاء البنى اللون) او صلبه كما فى الخردل

- **الجنين**

تختلف الأجنة في بذور النباتات المختلفة في الحجم والشكل ولكنها عموما تتشابه في التركيب ، ويتركب الجنين من محور صغير يحمل فلقه **cotylédon** أو أكثر، تمثل الأوراق الجنينية أو البذرية. ويعرف الطرف السفلى للمحور بالجذير **radicule** أو الجذر الجنيني ، أما الطرف العلوي للمحور فهو عبارة عن منطقة نمو انشائيه تغلفها أوراق خضريه برعميه وتعرف باسم الريشة **plumule** وتسمى المنطقة ما بين الجذير وموضع اتصال الفلقات بالمحور باسم السويقة تحت الفلقية **hypocotyle** أما المنطقة التي تقع بين الريشة وموضع اتصال الفلقات بالمحور فتسمى بالسويقة فوق الفلقية **epicotyle** ، ويختلف عدد الفلقات في بذور النباتات وتستخدم هذه الصفه في تقسيم النباتات مغطاة البذور . فالبذور التى تحتوى أجنتها على فلقه واحده تتبع نباتات ذوات الفلقه الواحدة **monocotylédones** أما البذور التي تحتوى أجنتها على فلقتين فتتبع نباتات ذوات الفلقتين **dicotylédones** وأما النباتات معراة البذور فتحتوى أجنتها على عدد من الفلقات يصل الى اكثر من عشرة.

- **الغذاء المدخر**

قد يختزن الغذاء فى بذور بعض النباتات فى الجنين وخاصة فى انسجة الفلقات ولهذا فتكون الفلقات متضخمه ومتشحمه وتعرف البذره فى هذه الحاله بانها غير اندوسبريميه **Exendospermic** كما فى بذور البقوليات ، أو قد يختزن الغذاء خارج الجنين فى نسيج خاص يعرف بالاندوسبيرم **Endosperm** وتعرف البذره فى هذه الحاله بانها اندوسبريميه **Endospermic** ، وفى هذه الحاله تظل الفلقات رقيقه وغشائيه كما فى الخروع والذره. والغذاء المختزن فى البذور يتكون اساسا من مواد كربوهيدراتيه ودهنيه وبروتينيه ، وتوجد المواد الكربوهيدراتيه على شكل نشا او سكريات اخرى ، ويمثل النشا الصوره الغالبه للمواد الكربوهيدراتيه المختزنه كما فى الحبوب ، وتوجد اشباه السيليلوز فى جدر خلايا الاندوسبيرم فى بذور البلح والبن والبصل ولهذا تظهر بذور هذه الانواع النباتيه صلبه.



الشكل 15: رسم تخطيطي يوضح مورفولوجيا البويضة و عملية

2.2. عملية الإنتاش Germination

عملية الانبات هي استعادة الجنين الساكن لنشاطه ونموه ، ويبدأ ذلك بتمزق أغلفة البذرة وخروج النبات الصغير منها . كما يمكن تعريف الإنبات بأنها الخطوات المتتابعة التي تبدأ بامتصاص البذرة للماء و التي يتبعها تمزق غلاف البذرة و ظهور الجذير أو المجموع الخضري و يصاحب تلك المظاهر المورفولوجية انقسام الخلايا و استطالتها مع زيادة النشاط الحيوي من هضم للغذاء و تمثيله.

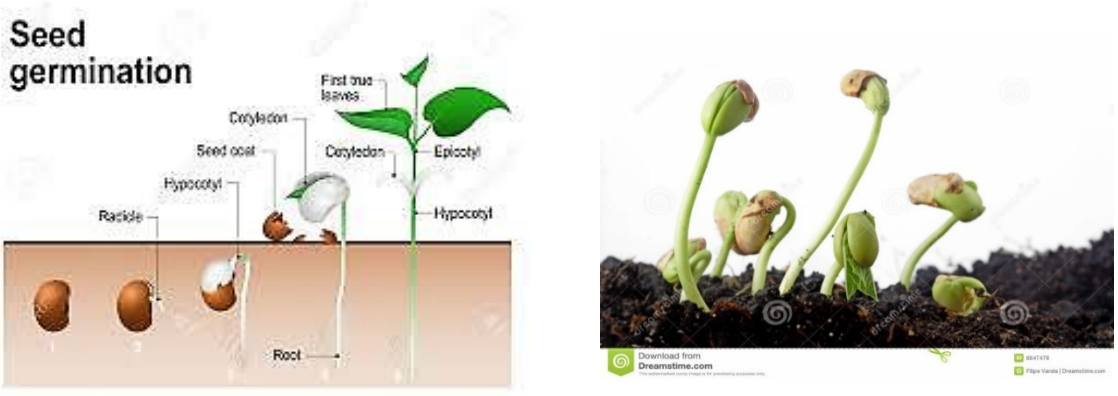
1.2.2. انواع الإنتاش

- **الإنبات هوائي la germination épigée**

هو نوع من أنواع إنبات البذور بحيث تستطيل السويقة تحت الفلقية **Hypocotyle** وتحمل معها الفلقتين والريشة فوق سطح التربة ، وعندما تتعرض الفلقات إلى الوسط الهوائي تصبح خضراء اللون تقوم بعملية التركيب الضوئي**(الشكل 16– أ)**

- **الإنبات الأرضي la germintion hypogée**

هو نوع من أنواع إنبات البذور بحيث تبقى السويقة تحت الفلقية قصيرة ولا تتطاول وبالتالي تبقى الفلقتان تحت سطح التربة وتتطاول السويقة فوق الفلقية **Epicotyle** حاملة الريشة إلى الوسط الهوائي**(الشكل16– ب)**



الشكل 16 - أ

الشكل16 - ب

2.2.2. معايير قياس الانتاش :

تتعدد المعايير الخاصة بقياس الانتاش و يمكن حصرها فيما يلي :

1. النسبة المئوية للانتاش Taux de germination (Tg) :

و الهدف منه قياس القدرة الزراعية للبذور و يمثل عدد البذور المنتشة على عدد البذور الكلية ضرب 100

$$Tg = \frac{Ni \times 100}{Nt}$$

Ni هي عدد البذور المنتشة

Nt هي عدد البذور الكلية

كما يمكن حساب نسبة الانتاش النهائية Taux final de germination و تقاس في بنفس الطريقة لكن عند نهاية الانتاش

2. التبكير في الانتاش Précocité de germination (Pg)

و يعبر عنه بالنسبة المئوية للانتاش خلال 24 ساعة

3. حركية الانتاش Cinétique de germination

و هو عبارة عن منحنى بياني يعبر عن نسبة الانتاش بدلالة الأيام

4. سرعة الانتاش La vitesse de germination

Vg= N1T1+N2T2+.....NnTn/N1+N2+.....Nn

حيث N1 يمثل عدد البذور المنتشة خلال الزمن T1

N2يمثل عدد البذور النابتة خلال الزمن ما بين T1و T2

سرعة الانبات = مجموع (عدد البذور النابتة كل يوم × رقم اليوم) / عدد البذور النابتة الكلية في نهاية التجربة

5. تجانس الانبات Homgénieté de germination

و يعني مدى تأثير المعالجة في دفع أكبر كمية من البذور إلى الانبات في اليوم الواحد .

وهي من الصـــفات المهمة للبادرات فكلما كانت البادرات متجانســة في نموها اي انها نبتت في وقت واحد تقريبا تكون متماثلة في الطول والسمك وقوة النمو وتكون جميعها جاهزة للزراعة و يحسب تجانس النبات وفقا للمعادلة التالية

تجانس الانبات = عدد البذور المنتشة / عدد الأيام منذ بداية الانبات

6. قياس طول الجذر La longueur de radicule

أي قياس طول جذر البادرة خلال أيام التجربة

7. قياس نسبة الماء في البادرة : Teneure de moyene en eau (TME %)

و يتم ذلك بحســاب وزن البادرات و هي طرية و يســمى هذا بالوزن الطري **Poids Frais (PF)** بعدها يتم تجفيف البادرات بالاستعانة بالحاضنة عند درجة حرارة 80°م و هنا نتحصل على الوزن الجاف **Poids Sec(PS)**

$$TME\% = \frac{PF - PS}{PF} * 100$$

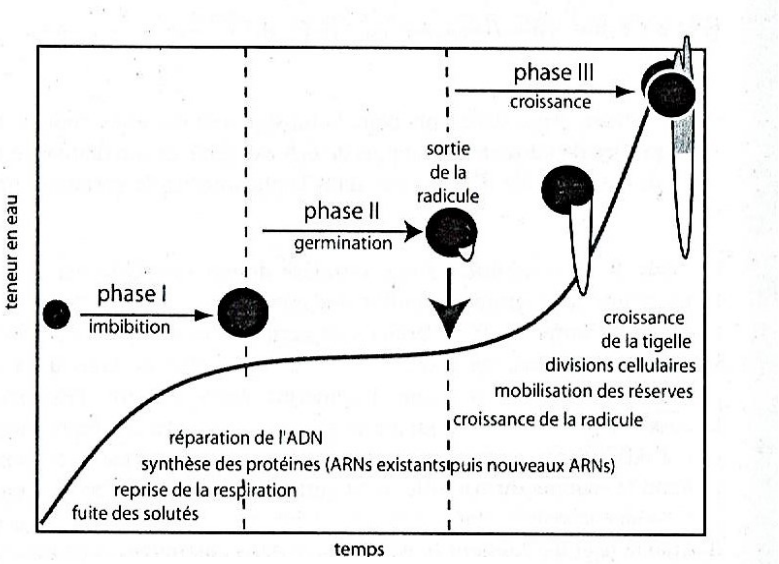
3..2.2 مراحل الانتاش :

يمكن تقسيم عملية الانبات إلى عدة مراحل منفصلة، وذلك بغرض تفهم كل مرحلة منها على حدة، إلا أنها فى حقيقة الأمر مراحل متداخلة مع بعضها، وهذه المراحل هى:

أ- **المرحلة الأولى) مرحلة امتصـــاص الماء Phase d'imbibition:** وفيها تقوم المواد الغروية فى البذور الجافة بامتصـاص الماء مما يزيد من المحتوى الرطوبى للبذور، ويعقب ذلك إنتفاخ البذور وزيادة أحجامها وقد يصـاحب هذا الانتفاخ تمزق أغلفة البذرة .وتجدر الملاحظة هنا أن عملية إمتصـاص الماء وإنتفاخ البذرة يمكن أن تحدث حتى مع البذور الغير حية . وعقب إمتصاص الماء وإنتفاخ البذورو في نهاية المرحلة يبدأ تركيب الطاقة و استهلاكها يتزامن دخول الماء دخول الأكسجين

ب- **المرحلة الثانية مرحلة الانتاش الحقيقي (هضم المواد الغذائية): Phase de germination au sens strict**

يستمر دخول الماء و تشرب الأنسجة – استقرار استهلاك الأكسجين و منه عودة جميع النشاطات الأيضية في الخلية فنلاحظ تراكم ARNm لتركيب البروتينات المختلفة ، كما يتم في هذه المرحلة نشاط الهرمونات النباتية المختلفة المخزنة في البذرة و من أهمها الجلبريلين الذي يهاجر إلى طبقة الأليرون لتنشيط الانزيمات المحللة للنشاء و البروتين و هذا لاستغلالها في انقسام الخلايا و تطاولها أي يحدث



الشكل 17: مراحل الانتاش

فى هذه المرحلة تحول المواد الغذائية المعقدة مثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات المخزنة فى الأندوسبيرم أو الفلقات الى مواد بسيطة والتى تنتقل إلى نقط النمو الموجودة بمحور الجنين، والتى يسهل على الجنين تمثيلها. وفى نهاية هذه المرحلة يمكن مشاهدة أولى مظاهر الانبات والتى تتمثل فى ظهور الجذير

ج –**المرحلة الثالثة مرحلة النمو Phase de croissance post germination** : وفى هذه المرحلة يحدث نمو البادرة الصـغيرة كنتيجة لإسـتمرار الإنقسـام الخلوى الذى يحدث فى نقط النمو المختلفة والموجودة على محور الجنين .وبتقدم مراحل النمو تأخذ البادرة الشكل الخاص بها.

4.2.2. المظاهر الفسيولوجية للإنتاش

تطرأ على البذرة عند إنباتها ثلاثة أنواع من التغيرات هي :

- **تغيرات فيزيائية (طبيعية)**: وهي تحدث في كل البذور عند نقعها في الماء أو عند وضـــعها في تربة رطبة وتشـــمل امتصـاص البذرة للماء ، انتفاخها ، زيادة حجمها ، وما يلي ذلك من زوال التجعدات بالقصـرة حتى تصـبح ملسـاء ثم تمزقها بعد ذلك نتيجة ازدياد الضغط عليها من الداخل.

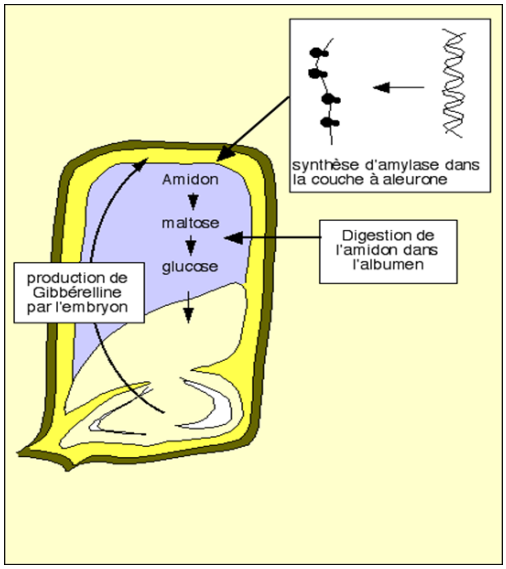
- **تغيرات كيموحيوية:**

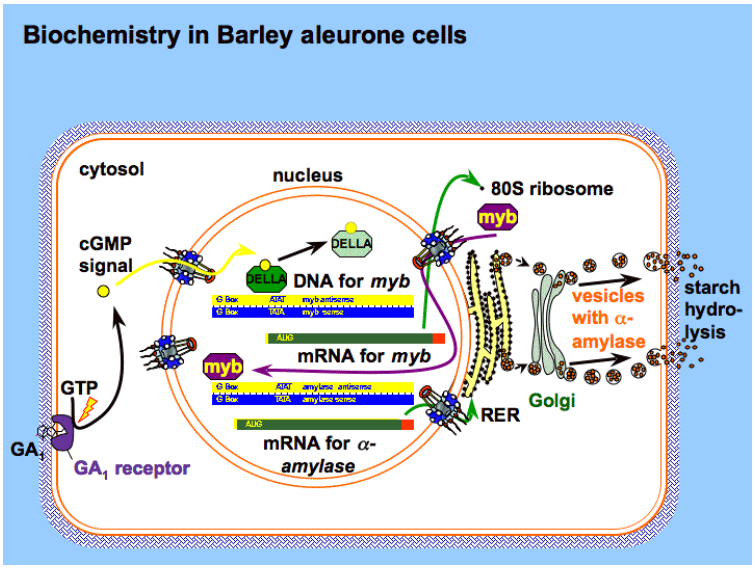
– أهم ما يحدث فيها هو تحول المواد الغذائية المختزنة من صـــورتها المعقدة إلى صـــورتها البســـيطة ليمتصـــها الجنين فيتغذى وينمو ويكبر، ويحدث هذا التحول الغذائي بواسـطة مواد خاصـة تسـمى إنزيمات تقوم بتكوينها المادة الحية في أنسـجة الفلقات أو غيرها من أجزاء البذرة الحية ، تلك الأجزاء تنشـط نشـاطاً ملحوظاً بعد إمتصـاصـها للماء فتتنشـط الهرمونات على مستواها و نخص بالذكر هرمون حمض الجيبريليك الذي يعمل على تخليق الانزيمات الهاضمة مثل ألفا أميلاز. **(الشكل 18)**

– يلاحظ زيادة محتوى ARN في فلقات البذور النباتية

– يلاحظ ارتفاع معدل التنفس مع زيادة نشـاط الانزيمات المرتبطة بعملية التنفس ، يتم اسـتخدام السـكريات الناتجة في عملية التنفس للحصـول على الطاقة اللازمة للنمو وذلك من خلال التحلل السـكري و حلقة كريبس، كما يتم أكسـدة الأحماض الدهنية.

– يلاحظ أيضا زيادو واضحة في نشاط انزيمات الفوسفاتاز التي تقوم بتحليل حمض الفيتيك الذي يحتوي على نسبة كبيرة من الفوسفات و المغنيسيوم و البوتاسيوم و الذي يرتبط مع الأجسام البروتينية





الشكل 18: آلية عمل الجيبريلين لتخليق انزيم ألفا أميلاز

3- تغيرات أحيائية:

وهي تعتبر أهم أنواع التغيرات جميعاً وهي تعقب النوعان الآخران ، تنشط فيها الخلايا الإنشائية التي يتكون منها الجنين ، فتنقسم ثم تزداد الخلايا الناتجة في الحجم ، ونتيجة لهذا النمو يضرب الجذير في باطن الأرض وتخترق الريشة سطح الأرض لتنمو فوقه وبذلك تتحول البذرة إلى ما يعرف بالبادرة ، وتكبر البادرة وتكون أوراق خضراء وتتحول تدريجياً إلى النبات الكامل الذي يعتمد على نفسه في بناء غذائه.

5.2.2. شروط الإنتاش :

لكي يحدث الإنبات لبذور النباتات يشترط توافر عدة عوامل و هي:

1 – الماء :

تمتاز البذور لمعظم الأنواع النباتية بان محتواها من الماء قليل جدا حوالي (15 %)، وهذا هو السبب الرئيسي الذي يجعل البذور الجافة غير قادرة على الإنبات . ولا يحدث الإنبات إلا إذا امتص الجنين كمية كافية من الماء ، وفى هذه الحالة تنتفخ البذرة وينتج عن ذلك ضغط داخلى ينتج عنه تمزق القصره . ولا يشترط ان يكون المحتوى المائي للتربة عاليا جدا حتى يحدث الإنبات ، وقد يكفى لذلك وجود كميه من الرطوبة في البيئة المحيطة بالبذرة . حيث أن العمليات الفيسيولوجية في الخلايا الحية تتم أساسا فى وسط مائي فان امتصاص الماء يعتبر شرطا أساسيا للإنبات . يعمل الماء على تليين القصرة وتمزيقها بتأثير الضغط الميكانيكى الناشئ عن انتفاخ الفلقات بعد تشرب الماء. كما يساعد الماء

فى ادخال الأكسـجين إلى الجنين خلال الجدر الخلوية الرطبة عنها فى الحالة الجافة وبذلك تنشـط العمليات الحيوية فى البذرة.

احتياجات البذور للماء مختلفة، إذا أصبحت التربة مشبعة بالماء فإن الاكسجين الذى فيها يطرد ويزاح وبالتالى تتعفن البذور. إلا أن هناك بعض النباتات المائية لديها القدرة على الإنبات فى المياه والتربة المشبعة بالماء بمعدل أسرع عن إنباتها إذا وضعت فى كميات متوسطة من الماء

2- **الاكسجين**

تختلف البذور فى حاجتها الى الاكسـجين ، ولكن فى معظم الأحوال لابد من وفرة الأكسـجين لعملية الإنبات ، وتتأثر كمية الأكسجين الموجوده بالتربه بالمحتوى المائى للتربه حيث توجد بينهما علاقه عكسيه فكلما زاد المحتوى المائى بالتربه قل المحتوى من الاكسـجين بها ، وقد لا تنبت البذور فى تربه مشـبعه بالماء وذلك لعدم وفرة الاكسـجين ووجود كميه عاليه من ثانى اكسـيد الكربون . والاكسـجين لازم لتنفس الجنين اثناء عملية الانبات و هذا للحصـول على الطاقة .

3 – درجة الحرارة المناسبة :

تتباين البذور كثيرا من ناحية درجة الحراره الملائمه للانبات ، واذا لم توجد عوامل محدده اخرى فان بذور اى نوع نباتى تنبت فى مجال معين من درجات الحراره ولكنها لا تنبت فى درجات حراره اعلى او اقل من هذا المجال . وعموما فان بذور نباتات المناطق المعتدله تنبت فى مجال حرارى اقل من المجال الذى تنبت فيه بذور نباتات المناطق الاستوائيه . فبذور القمح مثلا تنبت فى درجات من الحراره تتراوح بين (الصـفر – 35 ْ م) اما بذور نبات الذره (وهو من نباتات المناطق شبه الاستوائيه) فهى تنبت بين 10 – 45 ْ م ، وتقع درجة الحراره المثلى (وهى احسن درجه ملائمه للانبات) فى منتصف المجال الحرارى تقريبا ، ومن الصـعب تحديد درجة حراره معينه على انها درجة الحراره المثلى لان هذه الدرجه تختلف باختلاف الظروف البيئيه الاخرى السـائدة كما تختلف باختلاف مرحلة النمو. بعض النباتات لا تنبت بذورها إلا بعد مرورها بفترة برودة معينة ويؤدى ذلك إلى إختصـار الفترة الزمنية اللازمة لإتمام دورة الحياة وإعطاء محصـول وفير. تستغل هذه المعاملة فى كسـر كمون بعض أنواع البذور.

و على كل تؤثر درجة الحرارة على حركية الجزيئات و منه درجة دخول الماء إلى البذرة ، و كذلك تليين القصـرة و بالتالي تسهيل بروز الجذير ، بالاضافة الى تأثيرها على مختلف العمليات الكيموحيوية و تاثيرها على البروتينات الوظيفية

4 – الضوء :

من البذور ما لايستطيع الانبات فى وجود الضوء مثل بذور البصل وبعض افراد العائله الزنبقيه ، وهناك بعض البذور الاخرى التى لا تنبت الا فى وجود الضوء مثل بعض اصناف الخس ، وفى معظم الانواع النباتيه فان الضوء لا يؤثر كثيرا على الانبات

5 – حيوية الجنين :

يجب ان يكون الجنين حيا لكى تنبت البذره ، فالبذور المتعفنه او التى ثقبتها الحشرات واكلت اجنتها او التى تعرضت لمواد كيميائيه سامه فى تركيزات عاليه ، او التى قتلت اجنتها بالتعرض لدرجات عاليه او التاكسد البطئ نتيجه طول اختزانها فهذه البذور لاتنبت حتى اذا توفرت لها جميع الظروف الاخرى وتؤثر ظروف التخزين على حيوية البذره . وقد ثبت ان تخزين البذره فى درجات حراره منخفضه يطيل من عمرها لانه يقلل من النشاط الحيوى للجنين ويبطئ من العمليات الفيسيولوجيه التى تؤدى الى استهلاك المواد الغذائيه المختزنه . وعلى العموم فان البذور ذات القصره السميكه تكون اطول عمرا من البذور ذات القصره الرقيقه . ولعل اطول عمر سجل فى البذور هو لاحد انواع نبات اللوتس ، فقد عثر على بذور حيه لهذا النبات فى منشوريا مطموره تحت سطح الارض فى منطقه قدر عمرها بما يزيد على الالف عام . وفى اليابان عثر على بذور هذا النبات ايضا حية مطمورة في منطقه قدر عمرها بحوالى 3000عام . وبذور النباتات البقوليه تتميز ايضا بعمر طويل ، فبذور نبات كاسيا التى خزنت فى احدى التجارب لمدة 158عاما امكن استنباتها بنجاح .

6 – كمون البذور :

من بين شروط الانبات ألا تكون البذور في حالة كمون ، الكمون Dormance والسكونَ Quiescence مصطلحان قد يستخدما بالتبادل، ويمكن التفريق بينهما بأن السكون هو عدم النمو لأن الظروف المناخية غير مناسبة، لكن الكمون هو عدم النمو عندما تكون الظروف المناخية مناسبة ومع ذلك لا تحدث استجابة لوجود عائق .

1.6. – اسباب حدوث الكمون فى البذور:

يقسم الكمون إلى **كمون أولي** و هو كمون يحدث للبذرة و هي على النبات معناه أثناء نضجها على النبات ، و النوع الثاني يسمى **بالكمون الثانوي** و هذا النوع من الكمون يحدث للبذور عقب فصلها وجمعها من النبات الأم .

و يمكن أن نرجع أسباب الكمون إلى :

كمون غلافي: Dormance Tégumentaire :

يعود الســـبب في هذا الكمون إلى غلاف البذرة من حيث الصـــلابة و التكوين، حيث يعتبر غطاء البذرة الصـــلب واحد من أهم العوامل الأكثر شيوعا و المصاحبة لسكون البذور حيث يتسبب في :

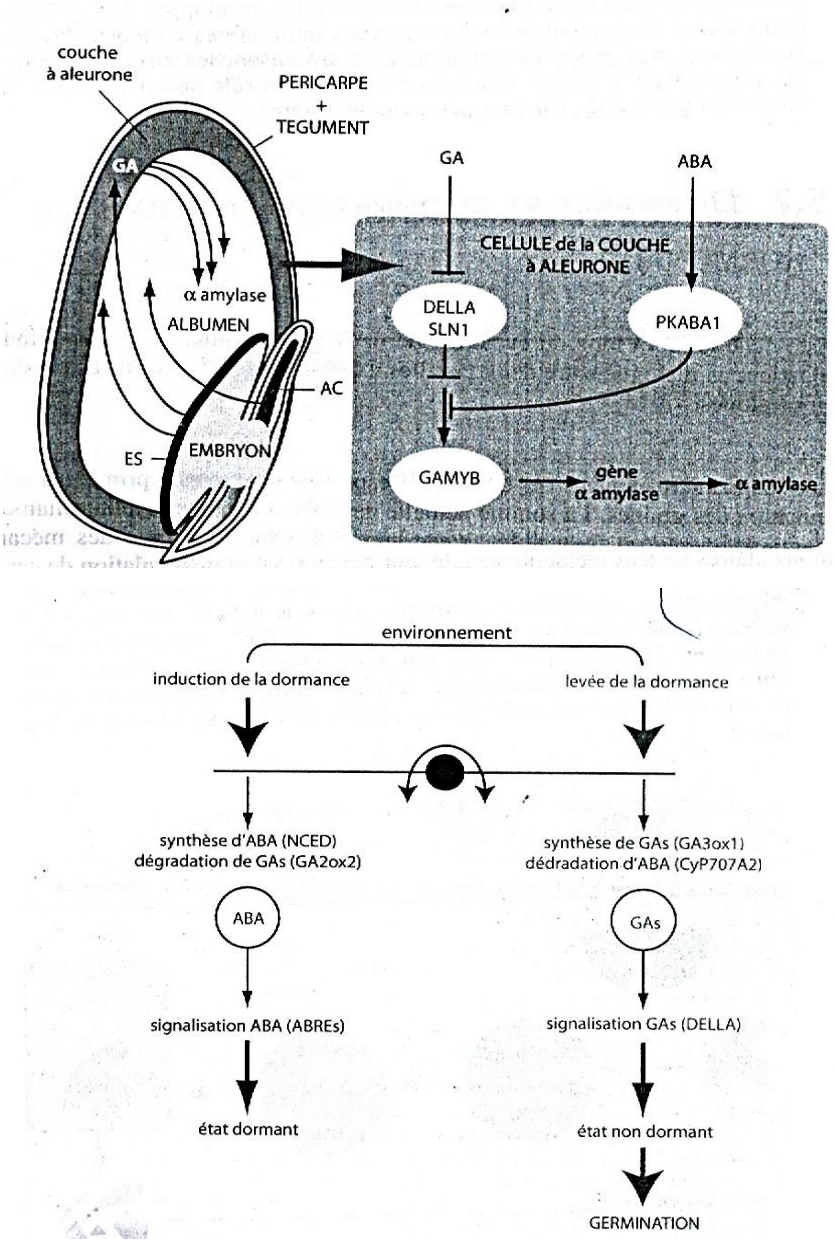
- قد تؤدي صلابة القصرة إلى منع امتصاص الماء و مروره إلى داخل البذرة كما في بعض أنواع البقوليات
- قد تؤدي صلابة القصرة إلى منع و صعوبة تبادل الغازات و خاصة الأكسجين كما في الشبيط
- قد تؤدي صلابة القصرة إلى منع تمدد الجنين مثل الجوز و الخوخ و المشمش
- قد يحتوي غلاف البذرة على مثبطات مختلفة(مركبات فينولية، كومارين...) مثل الشوفان

كمون جنيني: Dormance embryonnaire

و هو كمون يحدث للجنين و يعود إلى :

- **عدم اكتمال نمو الجنين :** قد تكون الأجنة غير متكشـفة وقت نضـج الثمار .فهناك بعض البذور تحتوى على أجنة غير متكشفة ، صغيرة جداً ومطمورة بين الأنسجة المغذية كالاندوسبيرم كما هو الحال فى بذور الأوركيد و شقائق النعمان. و قد تكون الأجنة غير مكتملة النمو ففي بعض الحالات تحتوى البذور على أجنة غير مكتملة النمو بحيث نجد أن الجنين لا يشغل سوى نصف فراغ البذرة وذلك عند نضج الثمار ومن ثم لابد أن ينمو الجنين ليشغل هذا الفراغ قبل الإنبات . مثل الجزر و النخيل ، و يسمى هذا النوع من الكمون **بالكمون المورفولوجي**
- **عدم اكتمال فترة ما بعد نضج الجنين :**

يفشـــل الانبات فى بعض انواع البذور بالرغم من اكتمال نمو اجنتها ووجودها تحت ظروف ملائمه للانبات . مثل بذور الخوخ والتفاح والصـــنوبر ، ويرجع ذلك الى حاله الجنين الفيســـيولوجية ، ولا بد لحدوث الانبات من تمضـــية فتره تحدث خلالها بعض التغيرات الفيســـيولوجيه فى الجنين و تســـمى بفترة ما بعد النضـــج ، مثل انتقال بعض المركبات من الخلايا المخزنة إلى الجنين بناء منشـطات النمو مثل الجبريلينات و السـيتوكينينات ، اختفاء مثبطات النمو مثل حامض الأبسـيسـيك (ABA) و الذي يسـبب كمون البذور الأولي و الثانوي كذلك ان لم تمر فترة ما بعد النضج للبذرة **(الشكل 19)**



الشكل 19: الحوار الهرموني للكمون و الانتاش

- **مثبطات الأنبات :**

فى بعض البذور قد يكون كمون الجنين ناتجا من وجود بعض المواد التى تمنع الانبات تعرف (**بالمثبطات**) وهي مواد طبيعية في البذور قد تســـبب كمون البذور و التي توجد في أماكن مختلفة ، فقد توجد في التراكيب المغلفة للبذور مثل قنابع الشـــوفان أو الأندوسبيرم أو الجنين أو في عصير الثمار مثل الطماطم . و من أمثلة المثبطات التي تم التعرف عليها نذكر الباراسكوربيك – الأمونيا – كومارين – المركبات الفينولية

2.6. معاملات تشجيع الإنبات

1- الخدش الميكانيكي: Scarification

تستخدم هذه المعاملة لتقليل صلابة أو زيادة نفاذية أغلفة البذور الصلبة أو غير المنفذة ـ يتم تكسر الأغلفة البذرية أو تشرخها أو خدشها بإحدى الطرق الميكانيكية وذلك باستخدام ورق صنفرة أو الآت حادة أو مطرقة أو كماشة، وفي حالة استعمال كميات كبيرة من البذور يتم الخدش بالطرق الآلية.

2- نقع البذور في الماء:

تستخدم هذه المعاملة للمساعدة على تقليل صلابة أو زيادة نفاذية أغلفة البذور الصلبة وأحيانا إزالة موانع النمو أو تقليل تركيزهاحيث أثبتت التجارب أن زيادة المحتوى المائي للبذرة يخفض من محتواها من ABA . ويجري نقع البذور في الماء العادي لمدة 1 – 2 يوم وقد تزيد عن ذلك.

3- المعاملة بالحمض:

لتقليل صلابة أو زيادة نفاذية الأغلفة الصلبة باستخدام حمض الكبريتيك المركز. تتوقف طول فترة المعاملة بالحمض على درجة الحرارة ونوع البذور، تختلف من 10 دقائق إلى 6 ساعات. بعد المعاملة تغسل البذور بالماء عدة مرات، ثم تزرع وهي رطبة أو تجفف وتحفظ لزراعتها لا حقاً

4- الكمر البارد(التنضيد): Stratification

تساعد هذه المعاملة على تطرية ونفاذية أغطية البذرة الصلبة وكما تساعد على اكتمال نضج الجنين في البذور التي لها فترة ما بعد النضج،أي إحداث التوازن بين منشطات و مثبطات الإنبات تجري هذه العملية بتعريض البذور لدرجة حرارة منخفضة ولمدة معينة من الزمن قبل إنباتها، وتستخدم بيئة مكونة من الرمل و البذور، توضع البذور في طبقات بالتبادل مع طبقات الرمل في صناديق أو أكياس ، وتحفظ في ثلاجات على الدرجة المناسبة (صفر ـ 10 م°) ويجب بأن تكون بيئة الكمر رطبة باستمرار. حيث أن التنضيد يؤدي إلى نقص ABA و زيادة GA و في تجربة ما تم وضع مادة Amo 1618 المثبطة لتخليق GA فلوحظ إبطال مفعول التنضيد

5- مساعدات الإنبات:

وهي مواد كيميائية تعامل بها البذور وتساعد في الإسراع من إنباتها، إما بواسطة كسر طور الكمون في البذور، أو يكون لها تأثير مضاد لفعل المواد المانعة للنمو. وأهم هذه المواد نترات البوتاسيوم, ثيويوريا, سايتوكينيات, جبريلين فالمعاملة بالجبريلين يؤدي إلى ابطال مفعول ABA و كذا المعاملة بالكينيتين زائد الجبريلين ، كما أن المعاملة بالجبريلين تحل محل التنضيد .

6- الضغط الهيدروليكي

لزيادة نفاذية البذور المحاطة بأغلفة صلبة يتم تعريضها لضغط هيدروليكي عالي.

7- الجمع بين طريقتين أو أكثر:

للتغلب على كمون البذرة الناتج من عدة عوامل مثل صلابة أغطية البذرة والأجنة الساكنة والذي يعرف بالكمون المزدوج.

6.2.2. منظمات الإنبات

منها المثبطة و منها المنشطة و من الهرمونات المنشطة نذكر :

- **الأوكسينات Auxines**

وبصفة عامة يمكن القول أن ميكانيكية تأثير الأوكسين وطريقة تأثيره تنحصر فى عدة نقاط أهمها:

1. يعمل على زيادة إستطالة خلايا غمد الريشة، زيادة معدل النمو.
2. تعمل الأوكسينات على زيادة نشاط الإنزيمات - تخليق الإنزيمات - إحداث تغيرات فى نفاذية الأغشية
3. التأثير المنشط للأوكسين على إستطالة الخلايا يكون من خلال تأثيره على تنشيط و تخليقRNA وكذلك البروتين .
4. من التجارب يتضح أن دور الأوكسين ينحصر على وجه الخصوص فى إحداث مرونة ومطاطية للجدار الخلوى حيث ينشط دخول الماء إلى داخل الخلية .
5. وجد العديد من العلماء أن المعاملة بالأوكسين أدت إلى زيادة المكونات التى تدخل فى بناء جدار الخلية مثل السليلوز الهيميسليلوز، وذلك فى ساق البسلة وكذلك زيادة البكتين والهيميسليلوز والبكتين الذائب فى تجارب على غمد الشوفان.

الجبريلين Gibberilins

و يتمثل دور الجبريلين في الإنبات في مايلي :

1. لقد وجد أن هناك إرتباط كبير جداً بين نشاط صبغة الفيتوكروم ومستوى ونشاط الجبريلين، وبما أن صبغة الفيتوكروم تنشط بتعرضها للضوء الأحمر فإن ذلك يؤدى إلى زيادة تخليق نشاطGA
2. هرمون منشط للنمو و هذا بالتعاون مع الاوكسين .
3. يؤدى الجبريلين إلى زيادة إستطالة الساق عن طريق التأثير على منطقة الخلايا تحت القمية حيث يعمل على تنشيط إستطالة خلايا هذه المنطقة وكذلك زيادة معدل الإنقسام الميتوزى لها.
4. يعمل GA على تخليق الانزيمات المحللة α– amylase , Protease و بعض الانزيمات المحللة .
5. زيادة ARN بوليميراز و الريبونكلياز ، الريبوزوم.
6. للجيبريلين دور فى تخليق أغشية الشبكة الإندوبلازمية.
7. المعاملة بـGA يؤدي إلى زيادة نشاطية بعض الإنزيمات المؤدية إلى بناء الجدار
8. يساعد الجبريلين على انتقال الكربوهيدرات المخزنة في الأندوسبيرم
9. المعاملة بـGA يؤدي إلى كسر كمون البذور التي تحتاج إلى برودة و إضاءة ووجود مثبطات النمو مثل ABA حيث يمكن تعويض التنضيد بإضافة GA

السيتوكينين Cytokinins

يتم تخليق السيتوكينين في الأنسجة الميرستيمية أو الأنسجة التي لها القدرة على استعادة النشاط في النمو ، و يتكون أساسا من الأدنين ، و يتلخص دور Cyto في الإنبات في:

1. يدخل في تركيب ARNt
2. يساهم في تكوين الكالوس في وجود IAA .
3. يؤثر على تخليق الهرمونات الأخرى IAA ، GA
4. استخدام الكينيتين للتغلب على الفعل المثبط للضوء الأحمر البعيد ويصبح التأثير كما لو تمت المعاملة بالضوء الأحمر.
5. السيتوكينين مركبات لها القدرة على إنهاء طور الكمون عندما تكون إحتياجات البرودة أثناء الشتاء غير كافيه. فقد أمكن معامله نبات الخوخ فى نوفمبر وديسمبر ويناير فأدى ذلك للحصول على نتائج جيدة.

الايثيلين Ethyléne

1. يعمل الايثيلين على حماية قمة الساق(الريشة) الطرية من التلف أثناء الانبات و الظهور على سطح التربة ، حيث يتم انتاج الايثيلين في مناطق محددة في الريشة في حالة الانبات الأرضي أو السويقة تحت الفلقية في حالة الانبات الهوائي.
2. يعمل على تنظيم النمو العرضي للأنسجة الواقعة تحت منطقة الأوراق و يساعد البادرات على تحمل الضغط الواقع عليها من حبيبات التربة أثناء الانبات و ذلك بزيادة سمكها و بالتالي زيادة قوتها الميكانيكية و التقليل من ضرر الاحتكاك بالتربة
3. المعاملة بالايثيلين يؤدي إلى الزيادة في السمك نتيجة الزيادة في الاستطالة لكن في الإتجاه الأفقي و ليس الطولي و ذلك بإعادة توجيه لييفات السليلوز في الجدار بشكل يسمح بالنمو الجانبي

حمض الأبسيسيك Abscisic Acid

من المعروف أن أهم مثبطات النمو الرئيسية والتى تم إكتشافها هو هرمون حمض الأبسسيك (ABA) يخلق في الكلوروبلاست أما عن دور ABA في الإنبات

1. يعتبر ABA أهم العناصر المسببة للكمون نتيجة منع تخليق العديد من البروتينات
   - يثبط تخليق انزيم ألفا أميلاز في البذور و التي ينشطها GA3
   - يثبط تخليق انزيمات بروتياز ، الريبونكلياز و جميع انزيمات التحلل المائي

3. النمو La Croissance

1.3. تعريف النمو

من الصعب ايجاد تعريف ملائم للتعبير عن نمو النبات ، لأنه يختلف باختلاف المشار اليه و قد أطلق تعبير النمو على واحد أو اكثر من الاعتبارات التالية :

1. النمو هو الزيادة في عدد الخلايا، كما في البكتيريا
2. النمو هو الزيادة في حجم الخلايا و الأعضاء أو الزيادة في حجم النبات كله
3. النمو هو الزيادة في كمية المادة الحية، أي البروتوبلازم
4. النمو هو الزيادة في كمية بعض مكونات الخلية كما في نمو الجدار الخلوي بتوضع لليفات سليلوز ضمن الجدار الخلوي مما يساهم في ثخانته

يميل أغلب العلماء إلى اعتبار النمو في البنود 1،3،4، لأنه يقتصر على الزيادة الدائمة (الزيادة غير العكسية) فمثلا يمكن ان تنتج زيادة مؤقتة في الحجم نتيجة امتصاص الماء الذي يمكن أن يخسره النبات بعد مدة من الزمن لذلك لا نستطيع اعتباره نموا و في معظم الأحيان يشمل جميع الزيادات الأربعة المذكورة أعلاه ، إلا أنه في ظروف معينة أو في مناطق معينة من الجسم النبات قد يغلب إحداهما على الآخر

- ففي المنطقة الميرستيمية في قمة الجذر و الساق و يكون النمو نتيجة الانقسام الخلوي و الزيادة في عدد الخلايا و في كمية المادة الحية
- و في منطقة الاستطالة تستطيل الخلية و يزداد حجمها و تكون الانقسامات قليلة أو معدومة فالنمو ناتج عن الزيادة في الحجم و الزيادة في الطول
- و فوق منطقة الإستطالة أي في المناطق البالغة يبقى حجم الخلايا ثابت إلا أن الجدار الخلوي يستمر في التغليظ فالنمو ناتج عن الزيادة في السمك

و عموما النمو هو الزيادة غير عكسية في الكتلة الخلوية (عدد و حجم ووزن الخلايا) نتيجة انقسام و تطاول الخلايا

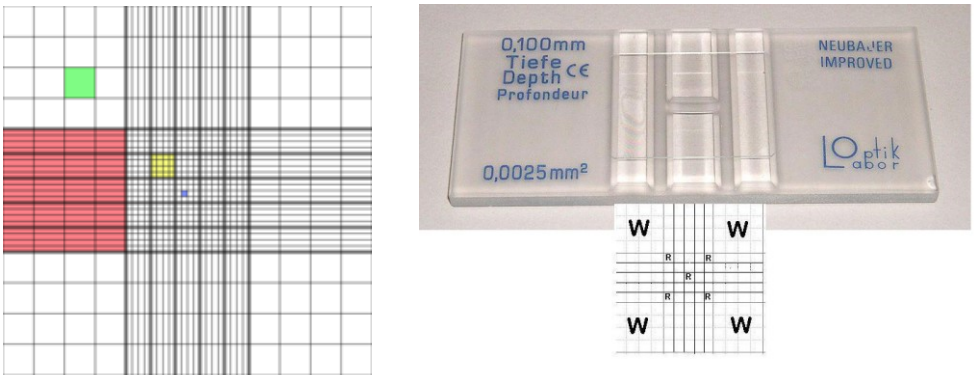
2.3. معايير قياس النمو :

يعبر عن النمو بعدة طرق منها:

- **قياس عدد الخلايا :**

تستعمل هذه الطريقة لقياس نمو الكائنات الحية وحيدة الخلية كالبكتيريا و الطحالب والفطريات ،كما تستعمل لقياس نمو النباتات الزهرية في حال المزارع الخلوية كزراعة البروتوبلازم، و تتم هذه الطريقة باستعمال جهاز هيموسيتومتر Hemocytométre (الشكل 20) يحتوي هذا الأخير على صفيحة زجاجية مقسمة إلى 9 مربعات ، كل مربع منهم مقسم إلى 25 مربع ، و كل مربع منهم مقسم إلى 16 مربع، يتم فرد حجم معين من المعلق البكتيري على سبيل المثال في مساحة معينة و يتم عد الخلايا في الحقل الميكروسكوبي ليحسب عدد الخلايا بالقانون التالي

عدد الخلايا = عدد الخلايا في المربع / عدد المربعات ✕ الحجم ✕التخفيف



الشكل 20: نموذج لجهاز هيموسيتومتر

- **قياس تركيز العكارة :**

تستعمل هذه الطريقة أيضا لقياس نمو الكائنات وحيدة الخلية حيث يتم تحضير معلق بكتيري، ثم قياس تركيز العكارة بواسطة جهاز سبكتروفوتومتر Sepectrophotométre

- **قياس الطول :**

قياس طول الساق أو الجذر و يتم هذا القياس بعدة طرق طرق منها بالعين المجردة و المسطرة ، أو بالتحديد مثل تعليم منطقة نهاية الجذر بالحبر الصيني، أو قياس الطول بااستعمال المجهر الافقي، أو باستعمال جهاز الأوكسانو متر Auxanométre

- **قياس المساحة :**

تستعمل هذه الحالة عادة في الأوراق أي حساب مساحة الورقة في زمن معين ، و كان يستعمل عادة جهاز بلانيمتر Planimétre

- **قياس الحجم :**

تستعمل هذه الطريقة لقياس حجم الثمار و الدرنات و الأبصال و تستعمل الطريقة التقليدية و ذلك عن طريق الاحلال Displacement و ذلك بغمر الثمرة في كأس مدرج به ماء ثم يتم حساب كمية الماء المزاح و يكون ذلك مقياس للحجم

- **قياس الوزن :**

و يتم بقياس الوزن الجاف أو الرطب لكن يستحسن قياس الوزن الجاف و ذلك بتجفيف النبات في الفرن الحراري في درجات حرارة مرتفعة

- **الفحص الكيميائي الحيوي:**

أكثر الطرق استعمالا لقياس النمو كتقدير كمية النتروجين أو الانزيمات و الأحماض النووية و السكريات و الدهون و غيرها

3.3. العوامل المؤثرة على النمو :

يتحدد نمو النبات بناء على وراثته، وبيئته. وعلى سبيل المثال، تحدد وراثة النبات صفاتٍ مثل لون الزهرة، وحجمها، وتنتقل هذه العوامل الوراثية من جيل لآخر، وتشتمل العوامل البيئية على الضوء ، الرياح، وظروف التربة.....

1.3.3. العوامل الوراثية: يوجد داخل نواة جميع خلايا النبات أجسام متناهية الصغر هي الصبغيات التي تشتمل على وحدات تعرف بالمورِّثات. وتحتوي هذه الأجسام على التعليمات التي توجه نمو النبات. وعند انقسام الخلايا ويتضاعف عددها تنتقل هذه التعليمات إلى كل خلية جديدة.

2.3.3. العوامل البيئية: تحتاج كافة النباتات إلى الضوء، والمناخ الملائم، وكمية كافية من الماء والأملاح المعدنية من التربة. لكن بعض الأنواع تنمو نموًا أفضل في الشمس، ويزدهر بعضها الآخر في الظل. وتختلف النباتات كذلك في مقدار الماء الذي تحتاجه، وفي درجة الحرارة التي تتحملها. وتؤثر هذه العوامل البيئية على سرعة نمو النباتات وتكاثرها.

1.2.3.3. الضوء:

يعد الضوء من أهم العوامل التي لها دور مهم في ضبط عمليات النمو والتكشف، وأن النبات لا يمكن أن ينمو في الظلام فقط، وهذا يشير إلى أن الضوء عامل أساسي للنمو والتشكل النباتي ، ولحدوث الاستجابة الضوئية، لا بد للنبات من امتصاص الضوء ولا بد من وجود مركبات معينة في العضو المستقبل لامتصاص الضوء. عند امتصاص الضوء بواسطة المستقبلات الكيميائية ينشط هذا المستقبل وينشأ عن نشاطه سلسلة متتابعة من التفاعلات الكيميائية تعطي في النهاية الاستجابة الفسيولوجية من انبات و ازهار و اثمار و البناء الضوئي، يطلق على هذا النوع من التفاعلات بالعمليات الإحياضوئية Procédés

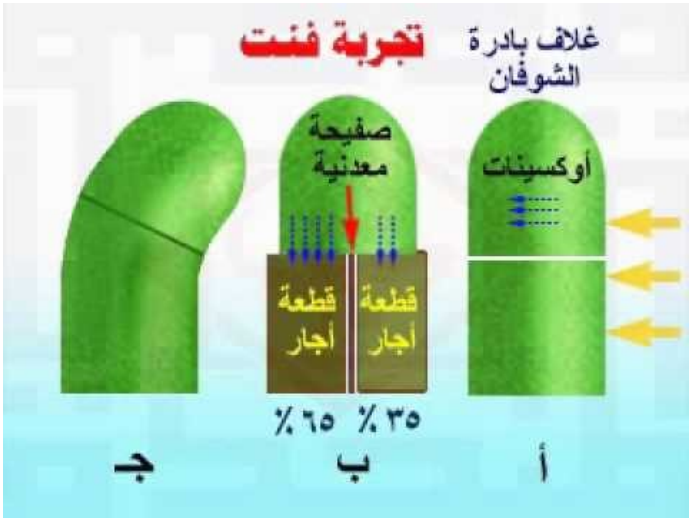
photobiologiques ، يؤثر الضوء على مختلف التفاعلات الكيموحيوية داخل النبات فهو يؤثر على عملية البناء الضوئي Photosynthése و الازهار ، كما يؤثر الضوء على شكل النبات هذا ما يعرف بالتشكل الضوئي Photomorphogénèse و الذي يشمل عدد من العمليات التي تحدث في النبات و التي تعتمد على الضوء منها تكوين الكلوروفيل وأصباغ الأنثوسيانين و لذا نلاحظ في حالة وضع النبات في الظلام يكون ذو سلاميات طويلة و أوراق صغيرة و ريشة منحنية و ذات لون أصفر (الإصفرار الظلامي) بسبب توقف انتاج الصبغات أما النبات النامي في الضوء فالعكس ، كم يتأثر نموّ النباتات كذلك بطول فترات الضوء والظلام التي يتعرض لها و هذا ما يعرف بالتواقت الضوئي Photopériodisme و الذي يحفز عمليات الازهار و الاثمار و كذا حركات النمو الذي يحفزها الضوء أي الانتحاء الضوئي Phototropisme .

الإنتحاء الضوئي Phototropisme :

–الانتحاء الضوئي هو حركة مرتبطة بالنمو يثيرها ويوجهها مصدر ضوئي وحيد الجانب. ويكون الانتحاء الضوئي إيجابياً إذا ما اتجه عضو آخذ بالنمو نحو مصدر الضوء كما هي الحال في أغلب السوق، وفي جميع أغماد بريعمات الفصيلة النجيلية ويكون سلبياً إذا ما ابتعد عضو آخذ بالنمو عن مصدر ضوئي كما هي الحال في أغلب الجذور والأعضاء تحت الترابية

"يمكن ملاحظة الانتحاء بتجربة بسيطة "ضع كأسًا به ماء وبادرة نبات مستقيمة الجذر والساق داخل صندوق مغلق ومظلم به فتحة صغيرة في أحد جوانبه ينفذ منها الضوء– واتركه عدة أيام، تلاحظ إنحناء الساق نحو الضوء وإنحناء الجذر بعيدًا عن الضوء.

–تفسير ذلك هو زيادة نمو جانب الساق البعيد عن الضوء عن الجانب المواجه للضوء والعكس في الجذر.



الشكل 21: تجربة فنت في الانتحاء الضوئي

تجربة فنت : – عرض غلاف بادرة الشوفان للإضاءة من جانب واحد ثم فصل القمة ووضعها على قطعتين من الآجار بينهما صفيحة معدنية بحيث ينتشر الأوكسين من كل جانب في القطعة المقابلة.(**الشكل 21**)

- قاس تركيز الأوكسين في القطعتين.
- وجد أن كمية الأوكسين في القطعة الملامسة للجانب البعيد عن الضوء أكبر من القطعة الأخرى.

التفسير: انتقال الاكسين إلى الجانب المظلم مما جعل استطالة الخلايا في الجانب المظلم أكبر من الجانب المواجه للضوء فيحدث الانتحاء

ملاحظة: في الجذر: زيادة الأوكسين في الجانب المظلم يمنع استطالة الخلايا (عكس ماحدث في الساق) بينما تستمر خلايا الجانب المضئ في النمو، لأن زيادة تركيز الاكسين في الجذر يحفز انتاج الايثيلين الذي يثبط النمو و منه الجذر ذو انتحاء ضوئي سالب .

2.2.3.3. الجاذبية الأرضية :

تتصف أغلب النباتات باتجاه سوقها الرئيسية نحو الأعلى، محققة انتحاءًا أرضياً سالباً، واتجاه جذورها الرئيسية نحو الأسفل محققة انتحاءًا أرضياً إيجابياً، واتجاه أغصانها وجذورها الثانوية اتجاهاً مائلاً مُحققة انتحاءً أرضياً بين السالب والموجب يدعى بالانتحاء المائل .plagiotropism .

ويجري الانحناء في منطقة الاستطالة الخلَوية، الواقعة مباشرة قبل القمة الجذرية، ويتم باستطالة الجدران الخلوية البعيدة عن أثر الجاذبية الأرضية، مما يؤدي إلى انعطاف الجذور إيجابياً نحو مصدر الجاذبية.

الموضوع مرتبط بانتقال الأُكسين auxin وتوزعه توزعاً متبايناً، يتبع ذلك تباين نمو الجدران الخلوية وتُرَد إيجابية الانتحاء الجذري وسلبية الانتحاء الساقي فيما يتصل بالجاذبية الأرضية، إلى تباين في حساسية الخلايا الجذريّة من جهة والخلايا الساقيّة من جهة أخرى بالنسبة للأكسين الذي يوجه تباين التفاعلات.

"و يظهر الانتحاء عند وضع بادرة نبات نامي في وضع أفقي لعدة أيام. نلاحظ إنحناء الريشة إلى أعلى وإنحناء الجذر إلى أسفل الساق سالب الانتحاء الأرضي والجذر موجب الانتحاء الأرضي. **(الشكل 22)** تجربة هرمان ذولك: أوضحت أن:

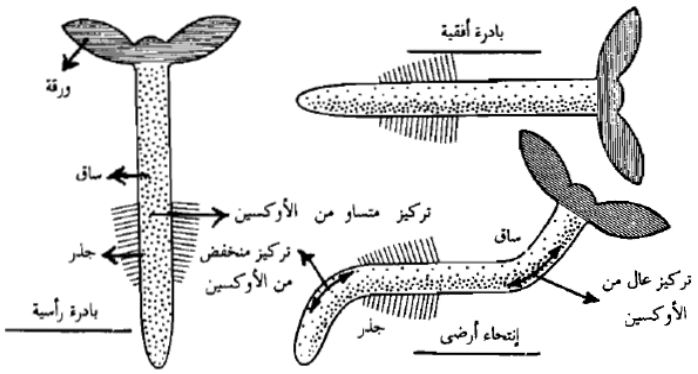
- كمية الأكسين الكلية في قمم أغلفة الشوفان الورقية لا تتغير بتغير وضعها من الاتجاه الرأسي إلى الاتجاه الأفقي.
- عندما استخدم طريقة الانتشار للأوكسين في الآجار أتضح أن توزيع الأكسين يختلف في الوضع الرأسي عن الأفقي.
- في القمة الراسية انتشرت كميتان متساويتان من الأوكسينات في نصف كل قمة.
- في القمة الأفقية انتشرت في النصف الأسفل كمية أكبر من الأوكسينات عن النصف الأعلى.

التفسير: في الوضع الرأسي للنبات تكون الأوكسينات موزعة بانتظام في كل من القمة النامية للساق والجذر لذا ينمو الساق إلى أعلى والجذر إلى أسفل

- في الوضع الأفقي للنبات تتراكم الأوكسينات في الجانب السفلي لكل من الساق والجذر بتأثير الجاذبية

- زيادة تركيز الأوكسينات في الجانب السفلي للساق تزيد من نمو خلايا السطح السفلي عن خلايا السطح العلوي .يؤدي ذلك إلى إنحناء الساق إلى أعلى.

-زيادة تركيز الأوكسينات في الجانب السفلي للجذر يعطل من نمو هذا الجانب عن خلايا السطح العلوي يؤدي ذلك إلى إنحناء الجذر إلى أسفل.



الشكل22: الانتحاء الأرضي للجذر و الساق

3.2.3.3. الماء :

من الصعب حصر الأدوار التي يلعبها الماء في دورة حياة النبات فهو

- يعتبر مذيب جيد للاملاح المعدنية و منه يسهل عملية امتصاص و نقل الأملاح داخل النبات
- يدخل كعنصر في التفاعل – يعمل كوسيط في التفاعلات – منشط للانزيمات و الهرمونات
- يساهم في ابقاء الخلايا في حالة امتلاء – يساهم في عملية استطالة الخلايا
- كما أن الماء يؤر على شكل النبات و طريقة نموه وهذا باختلاف الاحتياجات المائية للنبات ، فتجد النباتات المائية تتميز بكونها ذات جذور قصيرة و أوراق صغيرة شريطية ليس لها عنق ، بينما النباتات الصحراوية فتجد الجذور فيها جيدة التكوين، طويلة ، سطحية ، تجد الأوراق متحورة صغيرة ، شوكية أو عصيرية ، ثغور قليلة
- **الانتحاء المائي Hydrotropisme** : و هو حركة نمو يثيرها تواجد الماء من جانب واحد فعندما نحضر حوضين من الزجاج فيهما كميتين متساويتين من التربة الجافة مزروع فيهما بعض البذور.ثم رش التربة في الحوض الأول بانتظام وفي الحوض الثاني رش الماء على جوانبه فقط. ونتركهما عدة أيام.

نلاحظ أن : جذور نباتات الحوض الأول تنمو مستقيمة ورأسية. أما جذور نباتات الحوض الثاني تنتحني وتتجه نحو الماء

– يرجع نمو جذور نباتات الإناء الأول مستقيمة لتساوي انتشار الماء حول الجذر و بالتالي تساوي تركيز الاكسين في الجانبين

– إنحناء جذور نباتات الإناء الثاني بسبب عدم انتشار الماء حول الجذر بالتساوي. وبذلك تتجمع الأوكسينات في جانب الجذر المواجه للماء فتعطل استطالة خلاياه بينما يستمر نمو خلايا الجانب الآخر مما يسبب إنحناء الجذر نحو الماء. فالجذر موجب الانتحاء المائي.

يقال أن النمو هو محصلة للعديد من تفاعلات الحيوية التي تتأثر بالحرارة. فسرعة النمو تتأثر بالحرارة وتغيراتها. فدرجة الحرارة تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على كل وظيفة من الوظائف الحيوية للنبات من بناء ضوئي – تنفس – امتصاص الماء انبات – نتح وكثير ما تكون درجات الحرارة المنخفضة ضرورية للنمو النبات وهناك تغيرات هامة في تكشف بعض النباتات مثل الانبات والإزهار لا يمكن أن تحدث إلا بتعرض النبات إلى درجة حرارة جد منخفضة و هذا ما يعرف بالتنضيد و الارتباع ، و لكل نبات مجال حراري معين يختلف حسب مراحل النمو فلديه درجة حرارة دنيا و قصوى و مثلى ، و لا ينمو النبات بشكل طبيعي إن خرجت عن ذاك المجال، فالصقيع يسبب عدم قدرة النبات على امتصاص الماء و الذائبات فيه، كما أنه يسبب تجمد الماء داخل الخلية و في السائل بين خلوي مما يؤدي إلى تشكل بلورات هذه الأخير تمزق الغشاء و الجدار الخلوي .

أما درجات الحرارة المرتفعة فتؤثر على مختلف التافاعلات الكيموحيوية فتؤدي إلى تخريب الانزيمات و الهرمونات ، الاجهادات المختلفة ، الجفاف و النتح فتجد النبات يتكيف و ذلك بزيادة الذائبات و منه رفع الضغط الاسموزي الخلوي ، تحور الاوراق ، زيادة المواد الشمعية إلى غير ذلك .

5.2.3.3. الرياح :

تؤثر الرياح على شكل النبات فالنبات الذي يتعرض إلى رياح جافة بصفة متكررة يكون اقل حجما (متقزم)مقارنة بنبات من نفس النوع ينمو في منطقة لا تهب فيها الرياح. يعود سبب التقزم إلى أن الخلايا ليس بها ماء كاف لتتمدد إلى حجمها الكامل كما أن الرياح تمنح النبات شكلا معينا حسب اتجاه الرياح Thigmomorphogénése

6.2.3.3. التربة :

أكيد للتربة تأثير كبير على نمو النبات ، كيف لا و هي مصدر تغذيته الأولى فالتربة تؤثر على النبات من حيث غناها و فقرها من المواد المعدنية ، و كذا ملوحتها مسببة ما يسمى بالاجهاد الملحي ، كما تؤثر التربة من خلال فقرها و غناها بالماء ، كما أن البنية النسيجية للتربة تؤثر على نمو النبات أي من حيث المسامية و النفاذية .

4.3.التنظيم الهرموني للنمو

يبدأ نمو البنات بمرحلة انبات البذرة ثم ينتج عنها بادرة، تنمو البادرة خضريا لتمر بمرحلة النمو الخضري و بنهاية النمو الخضري تبدأ بمرحلة التكاثر بمرحلة التزهير ثم عقد الثمار و تكوين البذور ، و تختلف دورة حياة النبات باختلاف أنواعه و تركيبه، فالكائنات وحيدة الخلية تمر بدورة حياة بسيطة تبدأ خلية ناتجة عن عملية الانقسام البسيط ، سرعان ما تأخذ هذه الخلية في الزيادة في الحجم و النمو على حسب ما تستنفذه من مواد غذائية موجودة في البيئة المحيطة حتى تنضج و تتهيأ للانقسام مرة أخرى و هكذا

و من المعروف ان نمو النبات يحدث كنتيجة مباشرة للانقسام الخلوي و الذي يتم أساسا في مناطق خاصة من النبات ففي بداية حياة النبات عند تكونه من الزيجوت يكون معظم خلايا الجنين الناتج ميرستيمية و نشطة في الانقسام ثم لا تلبث بعض الخلايا المنقسمة ان تستطيل و تمر بعدة مراحل للتحول في النهاية إلى خلية بالغة و يبقى القليل من الخلايا الميرستيمية ، و تنحصر الخلايا الميرستيمية في قمم السوق و الجذر و منطقة الكامبيومات و يطلق على هذه العملية بـ Méresis, Mérése طبعا عملية الانقسام تتدخل فيها هرمونات مثل الأكسين و السايتوكينين و الجبريلين أيضا، يلي الانقسام الخلوي تزايد أبعاد الخلية و يعبر عليه بـAuxsis , Auxsése و التي يتدخل فيها الاكسين بشكل مباشر .

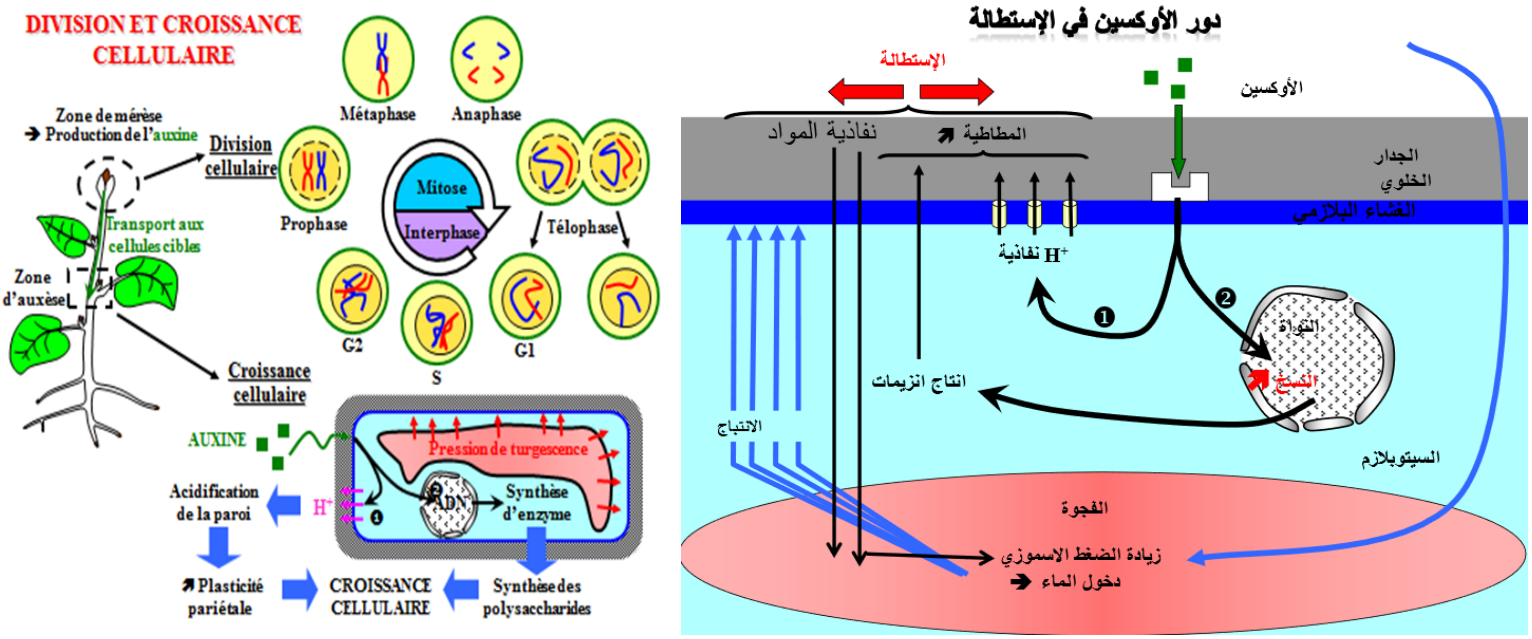
❖ **دور الأكسين في عملية الاستطالة :**

إن عملية استطالة الخلية تتم بدخول الماء للفجوة العصارية و إن دخول الماء إلى الخلية معناه زيادة قوة الامتصاص الاسموزية و قوة الامتصاص تعتمد على الضغط الاسموزي للعصير الخلوي أو نقصان في ضغط الجدار و بما أنه توجد علاقة بين شدة استطالة الخلايا و تركيز المواد المؤثرة على الضغط الاسموزي يبقى الاختيار في استطالة الخلايا متوقفا على نقصان في ضغط الجدار

فكيف يمكن الوصول إلى هذه النقطة الأخيرة حتى تتم عملية الاستطالة ؟

يمكن الوصول إلى ذلك :

1. زيادة قابلية الجدار الخلوي على الامتطاط Plasticité(التمدد) حيث يحصل تحلل بين الروابط للجزيئات الكبيرة التي تشكل الجدار و يصبح مطاوع
2. زيادة عملية المطاوعة لجدار الخلية تزيد من قوة الامتصاص الاسموزية و منه يحدث زيادة في امتصاص الماء و معه زيادة الاستطالة نتيجة زيادة ابتعاد الليفات المكونة للجدار
3. ابتعاد الليفات يتبعه إضافة مواد جديدة للجدار



الشكل 23: آلية عمل الاكسين في استطالة الخلايا

- النشاط الحيوي للأكسين يتميز بالتأثير المعنوي على نعومة الخلايا لزيادة رخاوتها بفعل عامل المرونة مسبباً في النهاية إلى استطالة الخلايا وكبر حجمها وامتلاءها وترجع هذه الميكانيكية إلى فعالية الهرمون في إزالة بكتات الكالسيوم والمواد المعدنية المسئولة عن صلابة الجدار الخلوي كما يقوم بتحليل و تكسير بعض المواد العضوية الأخرى التي تدخل في تركيب الجدار الإبتدائي مثل البكتين والسليولوز والهيميسليولوز المسؤولة عن التصاق جدر الخلايا والعمل على التحامها وذلك بتنشيط الإنزيمات المسؤولة عن تكسير تلك الروابط مثل انزيمات α−endo−oxyloglucanes transférases و α-expansine، و يكون ذلك تنشيط انزيم ATPase التي تعمل على اخراج بروتونات +H إلى الجدارمما ينقص من PH الجدار و منه زيادة حامضية الجدار
- يعمل الأوكسين على سرعة النفاذية للأغشية الخلوية وخاصة طبقة الفوسفوليبيدات المكونة لها مما يؤدي ا إلى زيادة الضغط الإسموزي لمحتويات الخلية الداخلية وبالتالي تزيد من سرعة امتصاص الماء من الخلايا والأنسجة المجاورة مسبباً في النهاية زيادة ضغط الإمتلاء مما ينعكس على استطالة الخلايا وكبر حجمها، مثل زيادة نفاذية+K الذي يرتبط مع حمض الماليك acide malice مكونا Malate−K+
- تؤثر الأوكسينات على المورثة من اجل تخليق بروتينات هذه الأخير تساهم في بناء الجدار

4. التزهير Floraison

1.4.مفهوم التزهير

عملية التزهير تمثل تحولا فسيولوجيا أساسيا من مرحلة إنتاج المجموع الخضري إلى مرحلة إنتاج البراعم الزهرية تعطى الأزهار عند البلوغ ، ثم تنضج وتنشأ منها الثمار والبذور.

التزهير هو تحويل الخلايا المرستيمية الخضرية إلى مرستيمات زهرية أو الانتقال من النمو الخضري إلى النمو الزهري ويتمتع كل نبات بميعاد ثابت للتزهير، و تقسم النباتات حسب موعد التزهير إلى 3 أقسام:

***نباتات حولية** : نباتات تزهر في عامها الأول، تثمر ثم تموت مثل القمح و الشعير

***نباتات ثنائية الحول** : دورة حياتها سنتين، سنة الأولى تعيش في التطور الخضري، السنة الثانية تزهر تثمر ثم تموت. مثل البصل و الثوم

***نباتات مستديمة** : نباتات تزهر مرة كل سنتين مثل المانجو أو مرة واحدة طول فترة حياتها مثل نبات Agave (الباهرة أو امريقة

2.4. العوامل المؤثرة على التزهير

وقت الازهار كان محل اهتمام الكثير من العلماء :

-**1865 Sachs** : اقترح وجود مادة محفزة لعملية الازهار هذه المادة تضهر في أوقات محددة

-**1918 Krous et Kraybill** : اقترحا أن نسبة النتروجين إلى الكربون هي من يحدد وقت التزهير

-**1920 Garner et Allard**: وجدا في صنف معين من التبغ أنه لا يزهر في الصيف لكنه يزهر في الشتاء و هنا اقترحا أن عامل الإضاءة يلعب دورا أساسيا في التزهير حيث أن نبات التبع يحتاج إلى فترات اضاءة قليلة

-**1918 Gassner**: أثبت أن درجة الحرارة دور في عملية الازهار عند دراسته للقمح الشتوي و القمح الربيعي .

عملية التزهير تحول مرتبط بالعديد من العوامل الوراثية والبيئية فهناك عوامل محددة يجب أن تحدث قبل أن يبدأ النبات فى التحول من طور النمو الخضرى إلى طور التزهير وإلا مكث النبات عقيماً أى لايعطى أزهاراً. كما أن العمر الحقيقي للنبات وعمره الفسيولوجي من العوامل التي تتحكم في الإزهار فمثلا عند الطماطم الأزهار الأولى تظهر بعد 13 عقدة في الساق, بعض الأشجار المثمرة لاتزهر 3–7 سنوات (حسب الأنواع) البلوط يزهر بعد 15–20 سنة

وكان يعتقد من قبل أن العوامل الوارثية وعمر النبات هو العامل الأساسى فى تحديد موعد إنتقال النبات من النمو الخضرى إلى التزهير ثم الإثمار ، وأن العوامل الخارجية ليس لها أى تأثير ، ولكن وجد بتغيير عوامل البيئة لابد وأن يتأثر نمو النبات. قد كشف

العلماء عن ظاهرتين تتحكمان في التغيرات الفسيولوجية التي تحدث عند كل مرحلة من مراحل نمو النبات ، وهما التواقت الضوئي والتواقت الحراري وهما ظاهرتان تسيران جنبا إلى جنب في التأثير على النبات من حيث ساعات الإضاءة ، وكمية الإشعاع الساقط ونوعيته ، وكذلك درجات الحرارة ليلا و نهارا.

1.2.4. درجة الحرارة :

تؤثر الحرارة على هرمونات التزهير بصور مختلفة أو على سرعة هدم و بناء المركبات ودرجة إنتقال تلك المركبات من الأوراق إلى المرستيمات. و هذا يعرف الطور الحراري للنمو الزهري أو الارتباع Vernalisation

- **الارتباع Vernalisation**

فى النباتات الحولية التى تنمو فى المناطق المعتدلة يبدأ النمو الخضرى فى الربيع وتنمو الأزهار فى الصيف وتنتج الثمار والبذور فى الخريف ونجد أن تأثير درجة الحرارة على تزهير النباتات الحولية يكون ثانويا بالنسبة لتأثير الضوء حيث ينصب تأثير درجة الحرارة على العملية الايضية اكثر من تأثير تحفيز الأزهار آما فى النباتات ذات الحولين التى تنمو فى أول عام نموا خضريا فقط نجد أن التزهير يتأثر بتعرضها لدرجات من البرودة تعرف بالارتباع , ولقد وجد أنه من المفيد لمثل تلك النباتات استغلال درجة الحرارة المنخفضة (ويكون عادة فوق الصفر بقليل) لتقصير فترة الأزهار. ويبدو أن الأثر الفسيولوجي الرئيسي لعملية الارتباع هو دفعها للأزهار .

و يمكن تعريف الارتباع بأنه تقصير فترة النمو الخضرى ودفع النباتات للتزهير المبكر أو هي عملية تعريض النباتات معمليا أوطبيعيا لدرجات حرارة منخفضة لكي تزهر ، كما يعرف الإرتباع أو الإرباع أو الربعية و تعني تهيئة النبات لظروف الربيع إصطلاحا يعني تحويل النبات إلى الصورة الربيعية التي تزهر فيها النباتات. يعرف الإرباع بأنه التحكم في القدرة على الإزهار بسبب انخفاض في درجة الحرارة.

- **مكان الإرباع:**

دلت التجارب التي أجريت على مختلف النباتات المحتاجة للبرودة والتي تضمنت السكران قد أوضحت أن مكان الأرباع هو مناطق النمو. ويبدو أن قمة الساق هي المكان المدرك للإرباع . حيث ينتقل المحفز إلى الأجزاء الأخرى من النبات.

2.2.4. الضوء:

لقد درس العديد من العلماء عمليات الضوء حيوية التى تحدث وتتم فى خلايا النبات ومن بينها التمثيل الضوئى . تمثيل الكلوروفيل . الإنتحاء الضوئى . الإنبساط الورقى . تثبيط إستطالة الساق . التزهير و التواقت الضوئي

1.2.2.4. التواقت الضوئي . Photopériodisme

والمقصود بالتأقت الضوئى هو إستجابة النبات لطول فترة الضوء والظلام المتعاقبة. وقد أظهرت كثير من التجارب أن النباتات المختلفة تحتاج إلى نهار له طول معين لتدخل فى طور الأزهار وبالتالى قسمت النباتات تبعاً لتأثير طول فترة الإضاءة الطبيعية فى نموها التكاثرى إلى:

- ☒ **نباتات "النهار القصير** (Shorrt – day" plants") "وهى تزهر فقط إذا تعرضت لفترات إضاءة طولها أقل من 12 أو 15 ساعة ، مثل الشبيط (Xanthium) والشليك.
- ☒ **نباتات "النهار الطويل(Long – day plants)** "، وهى تحتاج للأزهار إلى فترة إضاءة طولها أكثر من 12 ساعة أو 15 ساعة ، مثل السبانخ والبنجر والفجل.
- ☒ **النباتات المحايدة أو متعادلة (Neutral day plants)** ، وفيها لا يعتمد الإزهار على طول النهار، مثل الطماطم والقطن.

2.2.2.4. احداث التواقت الضوئي (Photoperiodic induction)

لكى يحدث الإزهار فى النباتات، لا يلزم أن تستمر المعاملة الضوئية المناسبة حتى تظهر البراعم الزهرية، فمثلاً: إذا نقلت نباتات "النهار القصير" النامية فى ظروف النهار الطويل، لتتعرض وقتياً لفترات نهار قصير، ثم أعيدت إلى ظروف النهار الطويل، فإن الإزهار يبدأ عادة رغم تعرض النباتات لظروف النهار الطويل وتسمى هذه الظاهرة "بظاهرة إحداث التواقت الضوئى."

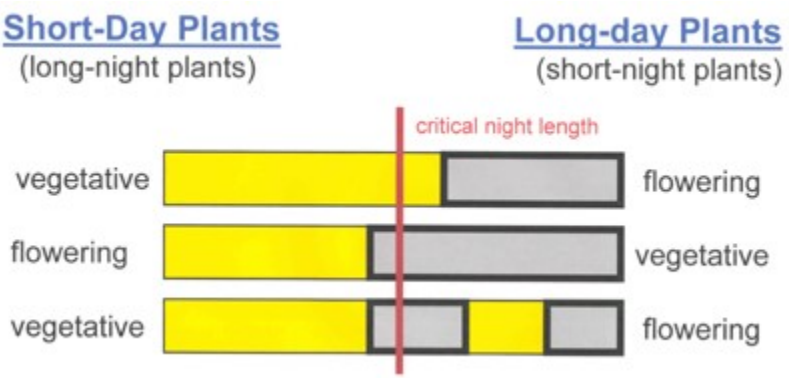
- **عدد دورات التعاقب الضوئي :(Photoperiodique cycle)** يختلف عدد دورات التواقت الضوئى اللازمة لكى يحدث الإزهار من نوع نباتى إلى آخر، فبعض نباتات "النهار القصير" مثلاً، تحتاج إلى نهار قصير متبوع بليل طويل، لكى يحدث به الإزهار كذلك فإن إحداث التواقت الضوئى، يمكن إجراؤه على "نباتات النهار الطويل" وتسمى أية دورة من التواقت الضوئى، تؤدى إلى الإزهار فى النباتات، بدورة التأثير الضوئى أو دورة استحثاثية.

ويعتمد التواقت الضوئى على مدة التعرض للإضاءة أكثر مما يعتمد على شدة الإضاءة، فمثلاً يكفى لكى تزهر نباتات النهار الطويل، أن تتعرض لنهار قصير، طبيعى الإضاءة، تتعرض فيها النباتات لشدة إضاءة منخفضة، وطول فترة الإظلام له أهميته مثل ما لطول فترة الإضاءة، وهذا يتضح بالتجارب التى يتغير فيها طول فترة الإظلام بينما تثبت فترة الإضاءة، فقد وجد أن نباتات "النهار القصير"، يلزمها لكى تزهر حد معين من فترة الإظلام، مهما أختلف طول فترة الإضاءة. على هذا فإن إزهار نباتات "النهار القصير" بتعرضها للنهار القصير، يكون نتيجة لأن فترات الإظلام طويلة، وليس نتيجة لأن فترات الإضاءة قصيرة، كذلك يتضح أهمية فترة الإظلام من التجارب التى تعرض فيها النباتات أثناء فترة الإظلام للضوء لفترة قصيرة. إذ لا تزهر هذه النباتات، وبالمثل فإن نباتات "النهار الطويل" لا تزهر فى ظروف النهار القصير ، وهذا يرجع أساساً إلى فترات الإظلام تكون أطول مما ينبغى فمثل هذه الأنواع النباتية تزهر فى فترات الإضاءة القصيرة، لو إنها تعاقبت مع فترات من الإظلام، تكون قصيرة أيضاً.

وعلى هذا فإن العامل المتحكم فى التواقت الضوئى، هو أساساً طول فترة الظلام فى دورة التواقت الضوئى، وليس الطول الكلى لفترة الإضاءة. ولهذا فقد يطلق اصطلاح نباتات "الليل الطويل **LNP** (Long–night–plants)ليعبر بطريقة أدق عن النباتات المعروفة بإسم نباتات "النهار القصير" ، وكذلك قد يطلق اصطلاح نباتات (Short–night–plants ليعبر بطريقة أدق عن النباتات المعرفة بإسم نباتات "النهار الطويل" SNP" . ولكن قد يفضل أستعمال مصطلح نباتات "النهار الطويل" ونباتات "النهار القصير" لإنتشار هذه التسمية **(الشكل 24)**.

- **أهمية فترة الظلام :**

ثبت مما لا يدع مجالاً للشك أن التزهير فى كل من نباتات النهار الطويل والقصير تتأثر أستجابتها لطول فترة الإظلام عن تلك لفترة الإضاءة، ومعنى ذلك أن نباتات النهار القصير تزهر بعد تعرضها لفترة إظلام أكبر من فترة حرجة أما نباتات النهار الطويل تزهر بعد تعرضها لفترة إظلام أقل من فترة حرجة. من ذلك نصل إلى طول فترة الإظلام أكثر أهمية لتشجيع التزهير إلا أن فترة الإضاءة لها تأثير كمى على التزهير. عدد المنشئات الزهرية



الشكل 24: التواقت الضوئي و علاقته بازهار نباتات النهار الطويلة و القصير

- **علاقة الفيتوكروم بالإزهار**

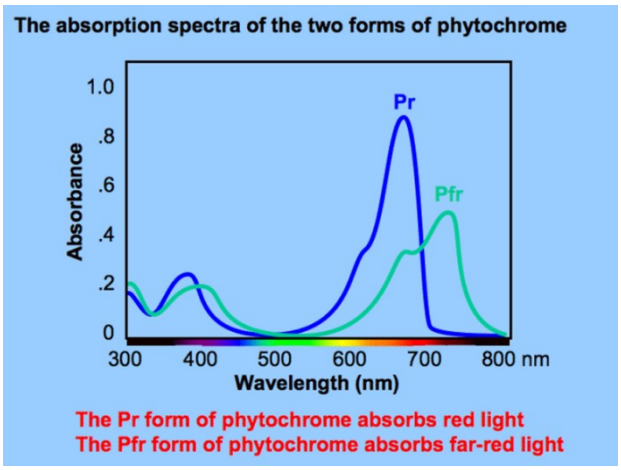
الفيتوكروم Phytochrome

أدت الملاحظات المتتالية حول تأثير الضوء على العمليات الفسيولوجية للنبات إلى اكتشاف الفيتوكروم و هذا بداية من عام 1952 حيث كان يدرس العالم A. Borthwick عن الانبات عند نبات الخس (Laitues) و هذا بتعريضه إلى أطوال موجات مختلفة فلاحظ انبات البذور عند الضوء الأحمر (660 نانومتر) بينما ثبط الإنبات عند الضوء الأحمر البعيد (730 نانومتر)

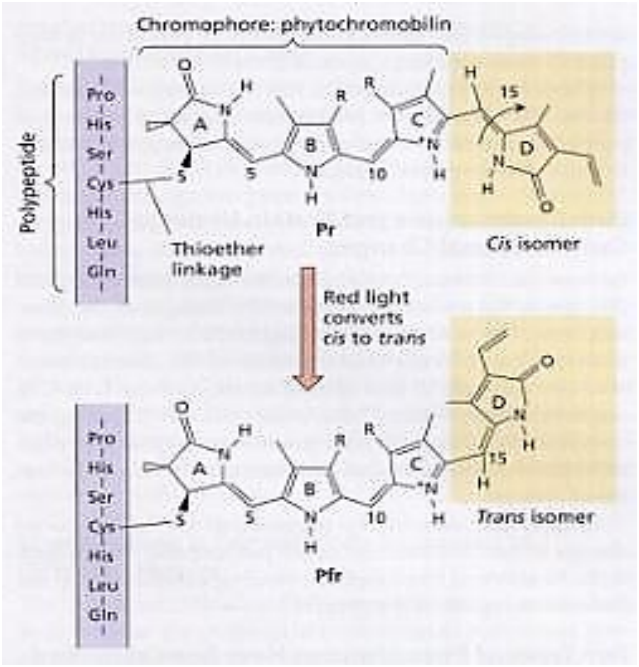
كما لاحظ تأثير الضوء على نبات النهار القصير (الشبيطXanthium) عند الضوء الأحمر والأحمر البعيد و من هنا استنتج تأثير الضوء على الإنبات و على الإزهار و استنتج التأثير المتعاكس للضوء الأحمر و الأحمر البعيد على الظواهر الحيوية في النبات و انطلاقا من هذه التجارب اقترح العالم A. Borthwick مع العالم الفيزيائي S. B. Hendricks شكلين من نفس المستقبل الضوئي و الذي يكون نشط في حالة و غير نشط في حالة ثانية و أطلق عليه اسم الفيتوكروم p660 هو الشكل الذي يمتص الطيف الأحمر عند طول موجة 660 نانومتر هو الشكل غير نشط و يعرف Pr أما (P730) هو الشكل الذي يمتص الطيف الأحمر البعيد عند طول موجة 730 نانومتر و هو الشكل النشط و يعرفPfr **(الشكل 25)**.

عند الضوء الأحمر يتحول Prإلى Pfr و بالتلي تكون نسبة Pfr 85% مقابل Pr 15%

عند الضوء الأحمر البعيد يتحول Pfr إلى Pr فتكون نسبة Pfr 3% مقابل Pr 97%



الشكل 25: التركيب الكيميائي للفيتوكروم

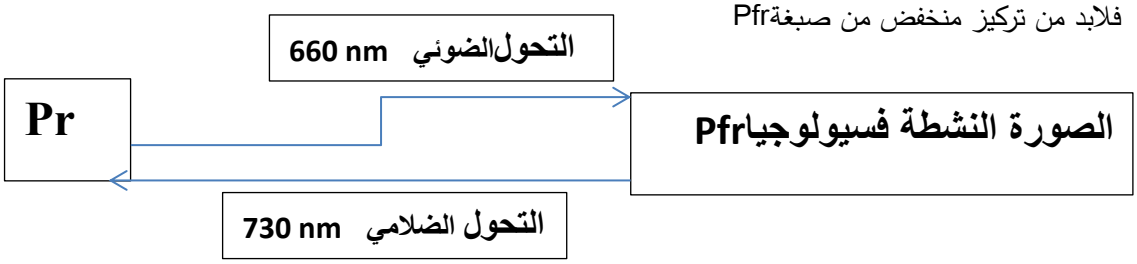


التركيب الكيميائي للفيتوكروم

هو مركب ثنائي الوحدات أو dimére يتكون من سلسلتين بيتيديتين تتصل بحامل يعرف بحامل اللون Chromophore و هو المسؤول عن التلوين فيأخذ اللون الزرق عند طول موجة 660 نانومتر و الأزرق المخضر عند طول موجة 730 نانومتر و لهذا يعرف كذلك بالكروموبروتين Chromoproteine و الكروموفور مركب رباعي البيرول Tétrapyrole يتكون من أربع حلقات من البيرول لكنها مفتوحة عكس الكلوروفيل

صبغة الفيتوكروم توجد فى صورتين، صورة الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر (Pr) وصورة الفيتو كروم الممتص للضوء الأحمر البعيد (Pfr) هى الصورة النشطة والفعالة فسيولوجيا. والصورتان تتحولان فيما بينهما كيموضوئيا كم أن صورة (Pfr) تتحول ببطء إلى صورة (Pr) فى الظلام

ملحوظة : Pfr مهمة جداً فى أزهار كل من نباتات النهار الطويل أو القصير ويجب معرفة أن كى يحدث ازهار فى نباتات طويلة النهار لابد من تركيز عالى من صبغ Pfr. ولكى يحدث الإزهار فى النباتات قصيرة النهار فلابد من تركيز منخفض من صبغةPfr

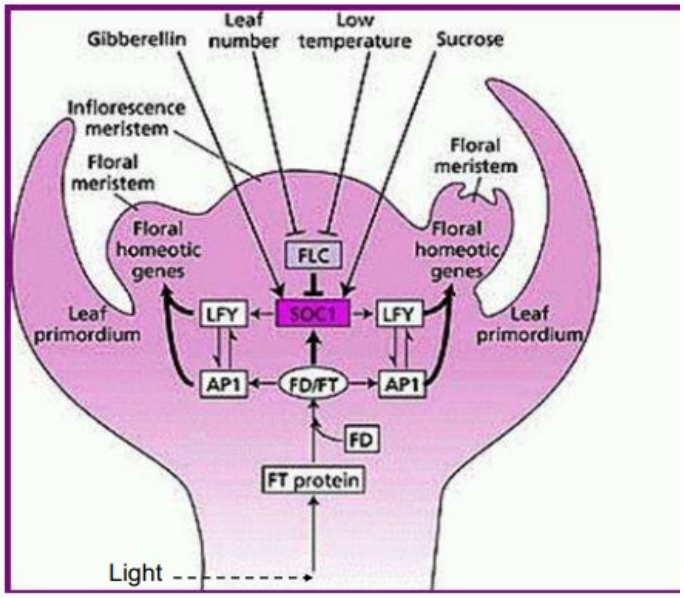


1.2.2.2.4. هرمونات التزهير و الجبريلينات

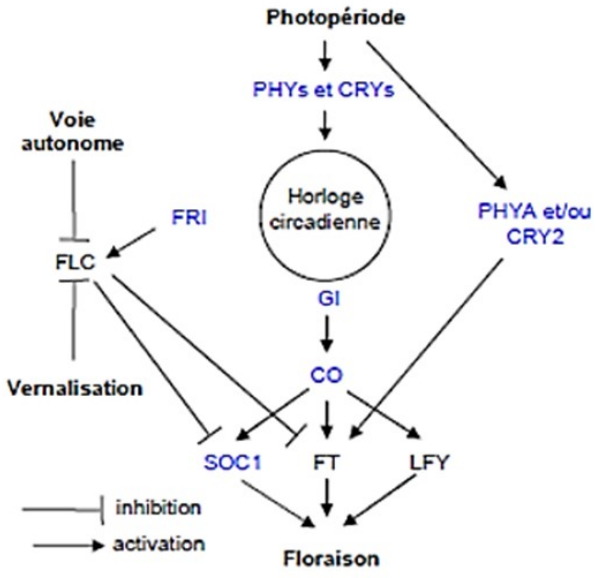
أطلق اصطلاح الفلوروجين أى عامل التزهير على ذلك الهرمون التزهيرى الذى يتواجد فى النباتات المستحثة ضوئيا ومن المعروف أن الفيتوكروم هو المستقبل الضوئى والعامل الوسيط المنتج للفلوروجين فى الأوراق والذى ينتقل إلى المرستيمات الخضرية وينشط تحويلها إلى مرستيمات زهرية.

ضوء ← (مستقبل) أوراق النبات والتى تحتوى على الفيتوكروم ← إنتاج هرمون الفلوروجين (FT) ← ينتقل الفلوروجين إلى المرستيمات الخضرية وتحولها إلى مرستيمات زهرية كما يوضحه الشكل (26)

أعلن العالم كالاجان أن هناك أرتباط بين الجبريلينات وهرمونات التزهير فى الإستجابه للفترة الضوئية للتزهير. وقد أقترح أن هناك خطوتان تدخلان فى عملية التزهير الأولى خطوة وسيطة بواسطة الجبريلين والثانية بواسطة عوامل التزهير بواسطة واحد أو أكثر من عوامل التزهير



الشكل 26: التنظيم المورثي و الهرموني للازهار



Modèle simplifié de la voie de contrôle de la floraison chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana* (d'après Mouradov *et al.*, 2002 et Izawa *et al.*, 2003). Les gènes en bleu sont ceux dont nous allons étudier les homologues chez *Populus nigra*. CO : constans ; CRY : cryptochromes ; FLC : Flowering Locus C ; FRI : Frigida ; FT : Flowering Locus T ; GI : Gigantea ; LFY : Leafy (sera inclus ultérieurement) ; PHYA : Phytochrome A ; PHYB : Phytochrome B ; SOC : Suppressor of Overexpression of Constans.

الجزء الثاني : التغذية الكربونية و المعدنية

1. التغذية الكربونية :

التغذية هي العملية التي تحصل من خلالها الكائنات الحية على المواد الضرورية لبقائها و تبعا لذلك تقسم الكائنات إلى كائنات ذاتية التغذية Autotrophie وهي الكائنات التي تركيب غذائها(موادها الضرورية للنمو) بنفسها و كائنات غير ذاتية التغذية Hétérotrophie و هي التي تحصل على موادها العضوية انطلاقا من الوسط الخارجي.

النباتات غير ذاتية التغذية نذكر منها:

النباتات المتعايشة : les végétaux symbiotiques : و يقصد بالتعايش هنا تبادل المنفعة بين الكائنين و منها الأشنيات (Lichene) و الفطريات الجذرية mycorhize

النباتات المتطفلة les végétaux parasites: و هي نباتات تحتاج للعائلة للحصول على المادة الضرورية للنمو مثل نبات الهالوك و الحامول

النباتات شبه المتطفلة les végétaux para-parasites : و هي نباتات لديها القدرة على القيام بالتمثيل الضوئي و لكن لا تملك مجموع جذري لامتصاص النسغ الخام و لهذا تحتاج لعائل للحصول على النسغ الخام ثم تقوم بعملية التمثيل الضوئي

النباتات آكلات اللحوم Les plantes carnivores: تعيش هذه النباتات في الترب الحمضية الفقيرة من عنصر النتروجين و لهذا هي في حاجة لتعويضه و لهذا تجدها تقتنص الحشرات و تحللها بانزيماتها الهاضمة .

النباتات ذاتية التغذية : و هي النباتات التي تعتمد في غذاءها على امتصاص المواد الأولية من الوسط الذي تعيش فيه، لتركب انطلاقا منها المادة العضوية الضرورية للنمو.

1.1. التمثيل الضوئي Photosynthése

يعتمد استمرار و وجود النباتات ككائنات حية على كفاءتها في اصطياد و نقل و تخزين و استهلاك الطاقة و تعتبر الشمس المصدر الوحيد لكل صور الطاقة في غلافنا الحيوي Boisphére , النباتات الخضراء و عن طريق جهاز التمثيل الضوئي المحكم و المتقن فعندها تمتص طاقة الضوء المرئي و تحولها إلى

- طاقة كيميائية (في الروابط الكيميائية) في المركب الكيميائي الغني بالطاقة و هو أدينوزين ثلاثي الفوسفات Adenosine (ATP) triphosphate

- قوة اختزالية في صورة المرافق الانزيمي المختزل نيكوتين أميد ادنين داي نيكليوتيد فوسفات Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate $NADPH^{+}+H^{+}$

و هذان المركبان يقودان التفاعلات المؤدية إلى تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى المواد الكربوهيدراتية و التي تمثل مصدرا للطاقة في الخلية و تشكل المواد الخام لتخليق البروتين و الدهون و المركبات النباتية الأخرى

1.1. 1. صبغات البناء الضوئي : photosynthèse pigment

من الصعب أن يتصور الإنسان ان توجد الحياة بدون امتصاص و تحويل الطاقة الاشعاعية إلى طاقة كيميائية لذا قال العالم جلاس أن الحياة ظاهرة كيموضوئية ، و المركبات الأكثر أهمية في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في النبات هي الصبغات حيث يبدأ النبات عملية التمثيل الضوئي من خلال هذه الصبغات

أ. صبغات الكلوروفيل Chlorophylle

تعتبر الكلوروفيلات تلك الصبغات الخضراء في النبات ، و من أهم الصبغات النشطة في عملية التركيب الضوئي و يمكننا تمييز 13 نوع من الكلوروفيلات و هي كلوروفيل أ، ب،ج،د،هـ، و الكلولورفيلات البكتيرية أ، ب، ج ، د، هـ، و كلورفيلات الكلوروبيوم 650، 660(و الكلوروبيوم هي احدي أجناس البكتيريا الملونة)

يعتبر الكلوروفيل أو ب من أكثرها معرفة و سيادة و يوجدان في جميع الكائنات ذاتية التغذية فيما عدا البكتيريا المحتوية على الصبغات و من الجذير بالذكر أن الكلوروفيل ب لا يوجد في الطحالب الخضراء المزرقة و البنية و الحمراء

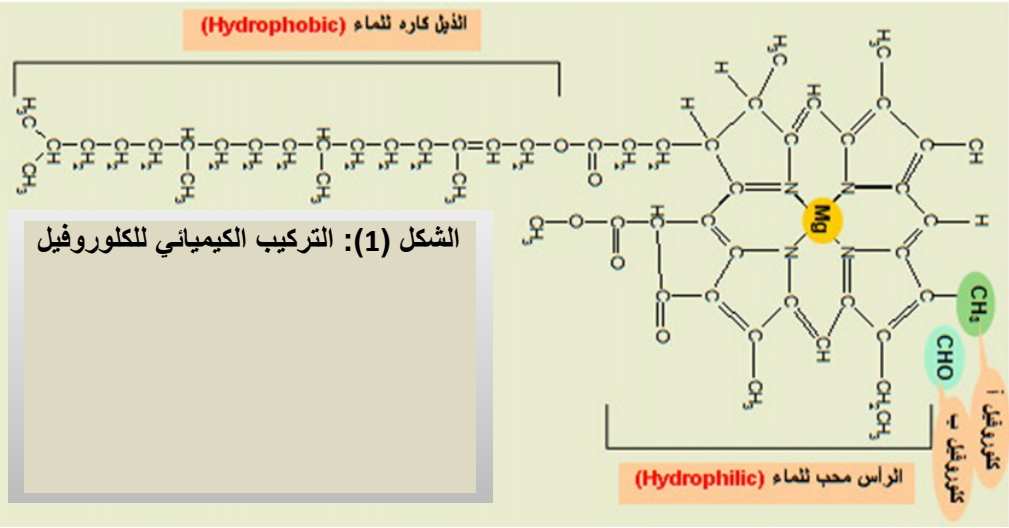
توجد الكلوروفيلات ج و د و هـ فقط في الطحالب و تكون مختلطة مع كلوروفيل أ، أما الكلوروفيلات البكتيرية السبع فتتواجد في بكتيريا الضوء التمثيلية غير أكسيجينة (anoxygenic phototrophic bacteria) من بينها البكتيريا الخضراء و الأرجوانية و Heliobacteria و هذه الانواع لا تنتج أكسيجن لانها لا تستعمل الماء لمانح للالكترونات . **(جدول 1)**

جدول (1): بعض أنواع بكتيريا التمثيل الضوئي

Common Name	Example	Phylum	Electron Donor for CO_2 Reduction	Oxygenic or Anoxygenic
Cyanobacteria	*Anabaena*	Cyanobacteria	Usually H_2O	Usually oxygenic
Green nonsulfur bacteria	*Chloroflexus*	Chloroflexi	Organic compounds	Anoxygenic
Green sulfur bacteria	*Chlorobium*	Chlorobi	Usually H_2S	Anoxygenic
Purple nonsulfur bacteria	*Rhodospirillum*	Proteobacteria	Organic compounds	Anoxygenic
Purple sulfur bacteria	*Chromatium*	Proteobacteria	Usually H_2S	Anoxygenic

- **التركيب الكيميائي للكلوروفيل**

مركب الكلوروفيل جزيء يتركب من حلقة بورفين (حلقة مكونة من رباعي البيرول C_4H_4) تحتوي في وسطها على ذرة المغنيسيوم و تمتد من إحدى الحلقات سلسلة من كحول الفيتول و التي ترتبط برابطة استر مع مجموعة الكربوكسيل لذرة الكربون السابعة في حلقة البرفورين و يتكون كحول الفيتول من سلسلة طويلة كارهة للماء تحتوي على رابطة زوجية واحدة **(الشكل 1)**



الشكل (1): التركيب الكيميائي للكلوروفيل

- **اختلاف الكلوروفيلات**

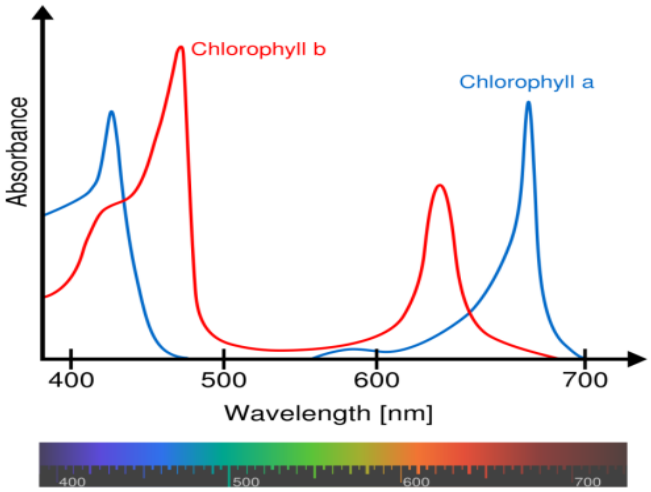
كلوروفيل أ : C3: CH3 كلوروفيل ب C3=CHO

كلوروفيل ج لا يملك سلسلة الفيتول و يشابه الكلوروفيل أ في حلقة البورفين ، الكلوروفيل د يشبه أ لكن C2= CHO–O–

و الفرق بين الكلوروفيل أ و ب يتركز في التركيب الكيميائي و أيضا أطياف الامتصاص **(الشكل 2)**

- يمتص اليخضور a بشكل قوي الاشعاعات الزرقاء 430nm و الاشعاعات الحمراء 663 nm .
- يمتص اليخضور b بشكل قوي الاشعاعات الزرقاء 445 nm و الاشعاعات الحمراء 645 nm

و أطياف الامتصاص التي ذكرناها تختص بمستخلصات اليخضور في المذيبات العضوية و تختلف أطياف الامتصاص عند قياسها و تقديرها في الأوراق الحية في مكانه و موضعه الطبيعي كذلك تختلف تبعا لنوع المذيب المستخدم في الاستخلاص، كما تختلف في ذروة الامتصاص تبعا لمصدر الكلورفيل المستخلص من الأنواع النباتية المختلفة .



الشكل (2): أطياف امتصاص كل من الكلوروفيل أ و الكلوروفيل ب

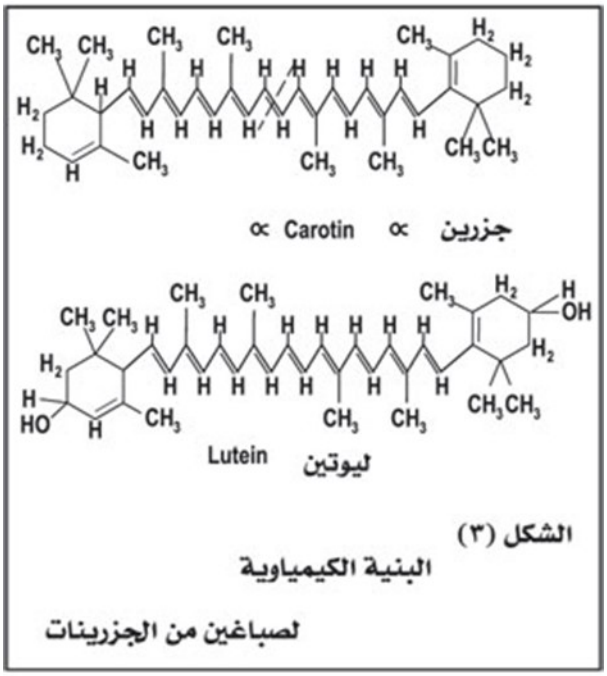
ب. الكاروتينويدات Caroténoides

توجد أشباه الجزرين Caroténoides مرافقة اليخضور ضمن الصانعات الخضراء في النباتات ذات التركيب الضوئي، فتنتشر في جميع النباتات الراقية وكذلك في العديد من الكائنات الدقيقة بما فيها الطحالب الحمراء والخضراء و بكتيريا التمثيل الضوئي، تدخل ضمن التربينات الرباعية (Tetratérpéne)، و لقد تم عزل أول أفراد الكاروتنويدات وهو الكاروتين من جذور نبات الجزر و منه اشتق الإسم سنة 1831 م و ظل الأمر كذلك حتى سنة 1925 حيث استطاع العديد من العلماء تحديد التركيب الكيميائي لبعض الكاروتينويدات وغالباً ما تكون مقنعة باللون الأخضر لليخضور، ولكن عند زوال هذا الأخير تظهر ألوانها التي تتدرج بين البرتقالي والأصفر وهي التي تكسب الأوراق النباتية ألوانها المميزة في فصل الخريف.

تعد هذه الأصبغة من الناحية الكيمياوية مركبات كربونية مهدرجة، تحتوي على 40 ذرة كربون، وتكوّن سلسلة خطية ذات روابط مضاعفة متناوبة مع روابط بسيطة. وتحمل السلسلة في أحد طرفيها أو في كليهما حلقة عضوية مغلقة أو مفتوحة،. لا تنحل هذه الأصبغة في الماء. بسبب السلسلة الكربونية بل تنحلّ في المذيبات العضوية (كالكحول)، وتقسم إلى 3 مجموعات :

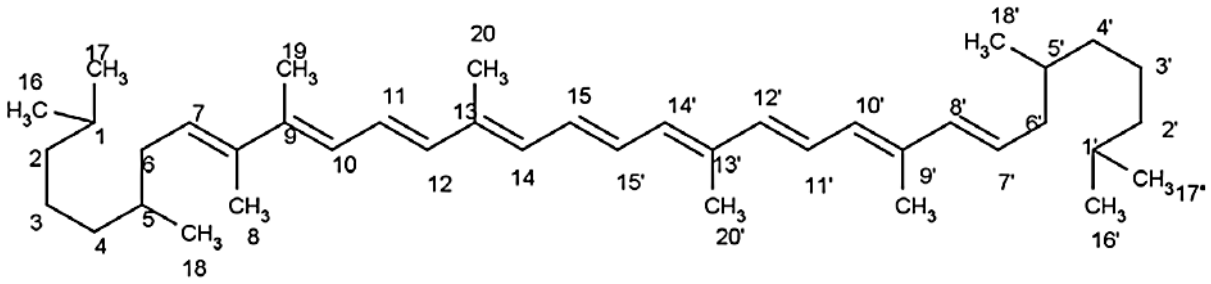
. **الجزرينات :Caroténes** وهي أصبغة لا يدخل الأكسجين في تركيبها الكيمياوي، ومثالها الجزرين بيتاb-caroten ، الذي يمثل المصدر الرئيس لفيتامين أ في الطبيعة.

. **الاكزانتوفيلات :xanthophylles** يدخل الأكسجين في تركيب هذه الأصبغة، الكربونية . الأكسجينية، ومنها صباغ الليوتين lutein مثل الذي يوجد بكثرة في الأزهار والثمار الناضجة**(الشكل3)**



الشكل (٣)
البنية الكيمياوية
لصباغين من الجزرينات

الليكوبن Lycopene : و هي صبغة حمراء توجد في ثمار الطماطم و تتكون من سلسلة مستقيمة من الهيدروكربونات غير المشبعة و هذه السلسلة تتكون من وحدتين متماثلتين طبق الأصل و متصلتين مع بعض برابطة زوجية بين ذرتي الكربون 15-15 و الرمز الكيميائي العام هو $C_{40}H_{56}$ **(الشكل 4)**



الشكل (4): التركيب الكيميائي لليكوبين

- **الدور المحتمل للكاروتينويدات**

تركزت معظم الدراسات السابقة على الدور الفيزيولوجي للكاروتينويدات و علاقتها بفيتامين أ و التغذية الحيوانية، أما في السنوات الأخيرة فقد وجه العلماء انتباهم إلى الدور المحتمل أن تلعبه الكاروتينويدات في النبات و يوجد دوران على الأقل هما:

1. **وقاية الكلوروفيل من الأكسدة الضوئية Photooxidation :**

- فقد وجد أن تعريض بادرات الذرة الصفراء الطافرة وهي طفرة خالية من الكاروتينويدات إلى الظروف الهوائية والضوء فإنها تخلق الكلوروفيل و لكن إذا طالت مدة الإضاءة فإن الكلوروفيل يتحطم، بينما إضاءتها في جو من النتروجين فإن الكلوروفيل لا يتحطم ، وكذلك الطحالب الخضراء المزرقة الطافرة Rhodopseudomonas spheriodes و التي تعاني من أكسدة الكلوروفيل فهذه الطفرة تنمو و تمثل ضوئيا في ظروف لاهوائية، و في الواقع عدد قليل من الطفرات الكلوروفيلية التي ينقصها الكلوروفيل هي في الواقع طفرات كاروتينويدية و هذه الظواهر أدت إلى اقتراح دور الكاروتينويدات في حماية الكلوروفيل من الأكسدة .

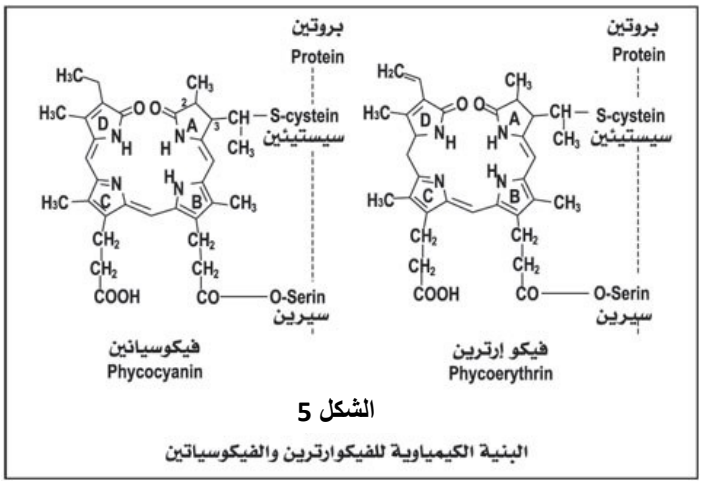
2. **امتصاص و نقل الطاقة إلى الكلوروفيل أ :**

دور الكاروتينويدات في عملية التركيب الضوئي هو دور ثانوي حيث وجد أن النباتات التي تحتوي على الكاروتينويدات و الخالية من اليخضور لا تستطيع أن تقوم بعملية التركيب الضوئي و منه فإن الطاقة الممتصة من قبل الكاروتينويدات تنقل إلى اليخضور أ حي تستغل في عملية التركيب الضوئي .

ج. صبغات الفيكوبلينات Pycobilins:

تتألف هذه الأصبغة من أربع حلقات بيرول tétrapyrol مرتبطة بعضها ببعض، وترتبط بسلسلة بروتينية. وتعد هذه الأصبغة مركبات قابلة للانحلال في الماء، فهي لا تحتوي في بنيتها على جذر فيتول أو على شاردة مغنزيوم كما في اليخضور

تقسم الفيكوبيلينات إلى ثلاث مجموعات صباغية هي: أصبغة الفيكوارترين phycoerytherin الحمراء والتي تتواجد في الطحالب الحمراء(Rhodophycées) وكل من أصبغة الفيكوسيانين phycocyanin ذات اللون الأزرق والتي تتواجد في الطحالب الخضراء المزرقة (Cyanophycées) والألوفيكوسيانين allophycocyanin ذات اللون الأزرق **(الشكل 5)**



الشكل 5

البنية الكيمياوية للفيكوارترين والفيكوسياتين

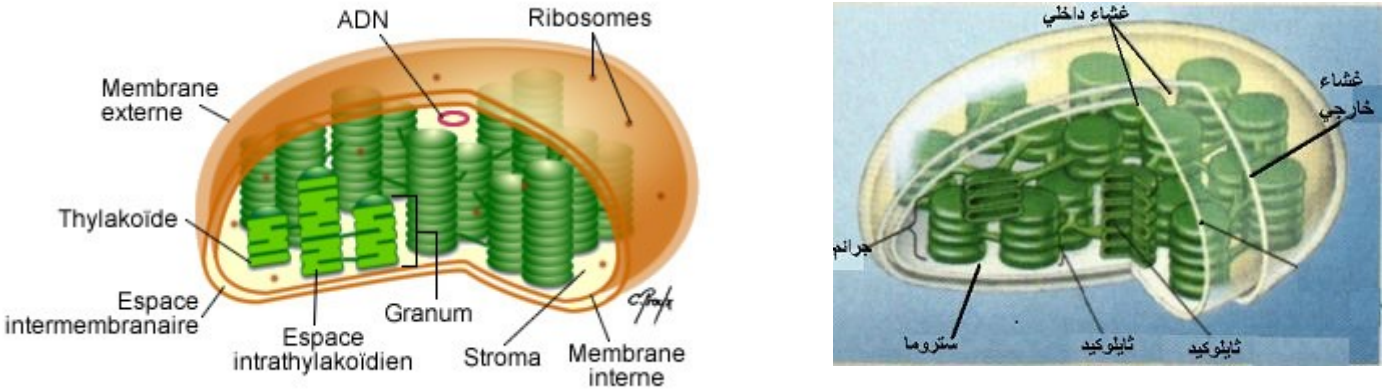
أطياف الامتصاص لصبغات الفيكبلينات ذات أهمية خاصة إذا اعتبرنا أن الفيكوبلين له نشاط في نقل الطاقة الضوئية للكلورفيل لاستغلالها في التمثيل الضوئي حيث أن الفيكوسيانين و الفيكوارثرين تمتص الضوء بكفاءة في مجال من أطوال موجات لا يمتصها الكلوروفيل و منه فدورها في عملية التمثيل الضوئي دور غير مباشر و بهذا تسمى بالصبغات المساعدة

2.1.1. الصانعة الخضراء

الصانعات الخضراء عضيات قطرها بين 4–6 ميكرو متر وسمكها من 1–3 ميكرومتر عموما ويختلف عددها و حجمها و شكلها حسب نوع الخلية والحالة الفيزولوجية لها. الصانعات الخضر مصنع يتم فيه إنتاج الأكسجين والمادة العضوية في خلايا النباتات الراقية. يحيط بالصانعة الخضراء غشاءان، أحدهما خارجي ، والآخر داخلي، وتحوي أغشية الكيسات على الأصبغة وبعض الأنظمة ومستقلبات الألكترونات التي تساهم في عملية التركيب الضوئي. ينخفض من الغشاء الداخلي في أقسام منه نحو الداخل مشكلاً كيسات أو حويصلات قرصية تدعى تيلاكويداتThylakoides ، تبدأ بالانضغاط على نفسها تاركة في داخلها حيزاً ضيقاً يدعى الحويصلloculus ، ولا تلبث فيما بعد أن تنفصل عن الغشاء الداخلي متحررة ضمن حشوة الصانعةstroma . تحتوي الحشوة على معظم أنزيمات التركيب الضوئي اضافة الى حبيبات نشوية وأحماض نووية وجسيمات ريبية. **(الشكل 6)**.

ويمكن للحويصلات أن تتكدس فوق بعضها في مناطق من الصانعة مشكلة حبيباتgrana ، أو تستمر متوازية ضمن حشوة الصانعة مشكلة الصفائح الحشوية .

تنشأ الصانعات الخضراء من أجسام صغيرة قابلة للانقسام والتمايز، تعرف بالأجسام البدئية initial–bodies التي توجد ضمن الخلايا الفتية، ولا تلبث هذه الأجسام إذا ما توافر الضوء، أن تتوسع وتزداد حجماً معطية صانعات خضراء وظيفية.

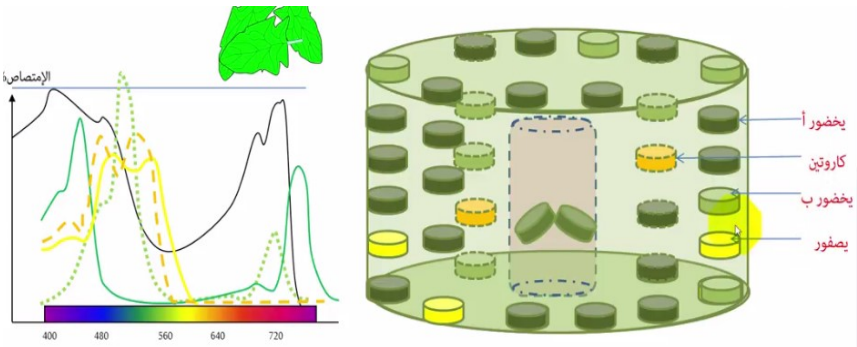


الشكل (6): مافوق بنية الصانعة الخضراء

تركيب التيلاكويد:

يتكون التيلاكويد من معقدات بروتينية تعرف بالأنظمة الضوئية و نواقل للالكترونات و كذا الكرية المذنبة المتواجدين على مستوى غشاءه

- **النظامان الضوئيان في عملية التركيب الضوئي** :لقد وجد أنه من أجل شطر جزيئات الماء وانتقال الإلكترونات في سلسلة النقل الإلكتروني الضوئي لابد من توافر أصبغة تركيب ضوئي ونواقل إلكترونية محددة ترتبط جميعاً وفق ترتيب محدد في مجموعتين من البروتينات المتخصصة ضمن الأغشية الثلاكوئيدية مشكلة ما يعرف بنظامي التركيب الضوئي الثاني ثم الأول photosystem II,I المعروفين بالاختصارين PSI و PSII **(الشكل 7)** . بناءً على النماذج المقترحة فان الكلوروفيل وما يتبعه من صبغات ومستقبلات للضوء تنتظم في وحدات يطلق عليها أنظمة ضوئية (Photosystems) ويوجد نوعين من الأنظمة الضوئية هما: **النظام الضوئي الأول (Photosystem I)** وهو غني بجزيء الكلوروفيل أ ويرمز إليه بالرمز (P700) و يحتوي على الكاروتينويدات و كمية أقل من الكلوروفيل ب درجة امتصاص الضوء المثلى له تكون عند 700 nm، يتواجد على حدود واجهة الجرانا . ثانيا النظام الضوئي الثاني (Photosystem II) وهو أيضا يحتوي على جزيء كلوروفيل أ خاص ويرمز إليه بالرمز (P680) لأن درجة امتصاص الضوء المثلى له تكون عند 680 nm و الذي يكون محادي للحشوة. ويحتوي كل من هذين النظامين على عدد من الصبغات يتراوح ما بين 60 – 2000 جزيئ على حسب العضوئية ، تعمل مع بعض كنقاط استشعار للطاقة الضوئية. وعند امتصاص وحدة ضوء (Photon) بواسطة أول جزيء كلوروفيل فإنه يتم نقل وحدة الضوء بواسطة هذه الصبغيات الواحد تلو الآخر عن طريق الرنين الموجي إلي أن تصل إلي جزيء الكلوروفيل الخاص في النظام وهو إما (P700) أو (P680) والذي يقع في مركز التفاعل (Reaction center) للنظام الضوئي و التي تسمى بالمصايد ، وعلى إثر ذلك تنطلق إلكترونات عالية الطاقة من جزيء الكلوروفيل المستحث بواسطة وحدة ضوئية.



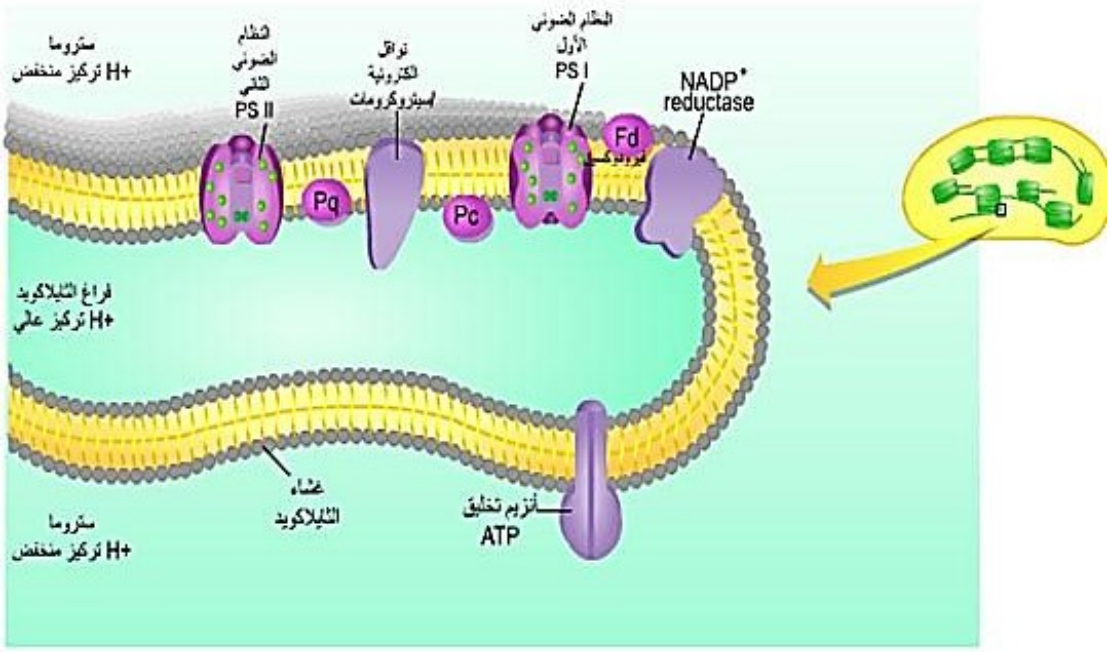
التسمية	نوع الصبغة	عدد الجزيئات	الرمز المستعمل
أصبغة هوائية	يخضور أ - يخضور ب	مئات	P_1-P_2-P_3.....P_n
	أشباه الجزرين	عشرات	
أصبغة مركز التفاعل	يخضور أ	2	PSII في P_{680} PSI في P_{700}

الشكل (7): الأنظمة الضوئية

- **نواقل الإلكترونات**

وهي معقدات بروتينية تقوم بنقل الإلكترونات يطلق عليها جميعا سلسلة الإنتقال الإلكتروني و المتمثلة في بلاستوكينون Pq، سيتوكروم Cyt ، بلاستوسيانين Pc، فيرودوكسين Fd، فيرودوكسين ريدوكتاز Fdr.**(الشكل8)**

- **أنزيمات مركبة لـ ATP** : وهي بروتينات على شكل كريات مذنبة تتكون من قاعدة وعنق ورأس كروي، تبرز الكريات بإتجاه الحشوة، تعمل على تركيب الـ ATP ولذا تدعى ب ATP Synthetase.**(الشكل8)**



الشكل (8): تركيب غشاء التيلاكويد

3.1.1. آلية التركيب الضوئي

عملية التركيب الضوئي هي عملية كيموحيوية يتم من خلالها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة ضمن جزيئات المادة العضوية و فقا للمعادلة التالية

$$nCO_2+2nH_2O \longrightarrow n(CH_2O)+nO_2+nH_20$$

ولقد أسهم العديد من العلماء للتوصل إلى حقيقة التفاعلات التى تتم خلال عملية البناء الضوئى و كان أفضلهم العالمBlackman 1905) حيث توصل بالأدلة إلى أن عملية البناء الضوئى ليست تفاعل كيموضوئي فقط photo chemical reaction بل تشمل تفاعل كيموحيوى أيضاًbiochemical reaction.

1.3.1.1. التفاعلات الكيموضوئية :

تسبب الطاقة الضوئية الممتصة بواسطة جزيء الكلوروفيل اعادة ترتيب التركيب الالكتروني له و يكون نتيجة ذلك تكوين جزيء كلوروفيل ذي تناسق غير ثابت بدرجة كبيرة و يكون في حالة إثارة و يعود الكلوروفيل إلى حالته الأصلية و هي حالة الخمود في زمن مقداره 10^{-9} من الثانية و تسمى بالاثارة الكيموضوئية في البلاستيدات الخضراء و هي المسؤولة مباشرة عن

- أكسدة الماء ضوئيا
- اختزال المرافق الانزيمي $NADP^+$ (Nicotineamide Adenine Dinucleotide Phosphate)
- فسفرة ADPإلى ATP(Adenosine Tri Phosphate)

1.3.1.1. 1. أصل الاكسجين في عملية التمثيل الضوئي

أضهرت الدراسات الكيموحيوية المقارنة التي قام بها العالم فان هيل بعض الخطوات المبدئية التي تقودنا إلى الحديث عن عملية التمثيل الضوئي و لقد أوضح أن اختزال أو ارجاع ثاني أكسيد الكربون يتطلب أكسدة مادة مانحة للهيدروجين يكون مصدرها بيئة النمو . حيث هناك العديد من المواد المانحة التي تستعملها البكتيريا ضوء تمثيلية من بينها الكحولات و الأحماض وكذا المركبات غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين والثيوكبريتات ، ويحتاج تمثيل CO_2 عند بكتيريا الكبريت الخضراء وجود كبريتيد الهيدروجين كمادة مانحة للهيدروجين وأحد منتجات هذا التفاعل هو انتاج غاز الكبريتيد، وبالمقارنة فان التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات الراقية يحتاج إلى الماء كمانح للهيدروجين و يكون O_2 الجزيئي هو أحد نواتج التفاعل

البكتيريا الخضراء $2H_2S+CO_2 \longrightarrow 2S+(CH_20)+H_2O$

الطحالب و النباتات الراقية $2H_2O+CO_2 \longrightarrow O2+(CH_20)+H_2O$

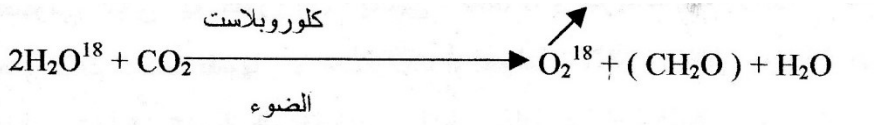
و لقد شجع التشابه الواضح بين التمثيل الضوئي بينهما إلى اقتراح صيغة التمثيل الضوئي

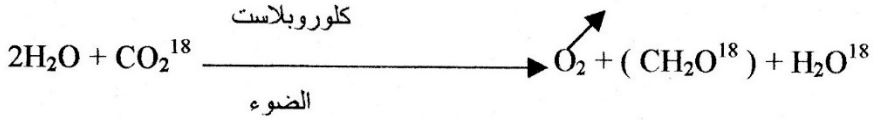
$$2H_2A+CO_2 \longrightarrow 2A+(CH_2O)+H_2O$$

و توجد نقاط مهمة توصل إليها العالم فان هيل :

- يكون مصدر الأكسجين المنطلق هو الماء و ليس ثاني أكسسيد الكربون
- لا يعتمد تمثيل CO_2 على الضوء

و لقد ايدت هذه النتائج فيما بعض باستعمال النظائر المشعة و ذلك باستخدام الأكسجين الثقيل O^{18}





1.3.1.1 .2. الفسفرة الضوئيةPhotophosphorylation

- **الفسفرة الضوئية غير دائرية أو المفتوحة: Non-cyclic photophosphorylation**

في هذا النوع من الفسفرة يعمل النظامين الضوئيين (PSI & PSII) معا في وقت واحد، ويحدث فيها إنحلال ضوئي للماء كمانح للبروتونات والإلكترونات (المكونة لذرات الأيدروجين) ويتصاعد الأكسجين كناتج ثانوي، وينتج عنها تكوين NADPH,H+ و ATP ويمكن توضيح ألية الفسفرة الضوئية غير الدائرية في النقاط التالية:

- عندما تمتص جزيئات الكلوروفيل والصبغات المساعدة في كلا النظامين الضوئيين فوتونات الضوء فإنها تثار وتنتقل طاقة الإثارة من جزيئات الصبغات المساعدة إلى جزيئات كلوروفيل (أ) الحاصدة ومنها تنتقل إلى مركز التفاعل في كلا النظامين (أي كلوروفيل P700 في النظام الضوئي الأول وكلوروفيل P680 في النظام الضوئي الثاني) فترفع مستوى طاقته إلى مستوى إثارة يتسبب في إنطلاق الإلكترونات من مراكز التفاعل إلى مستقبلاتها المؤكسدة، كما يحدث إنحلال (إنشطار) للماء بتأثير الطاقة الضوئية إلى أكسجين يتصاعد وهيدروجين يتجمع في تجويف التيلاكويد

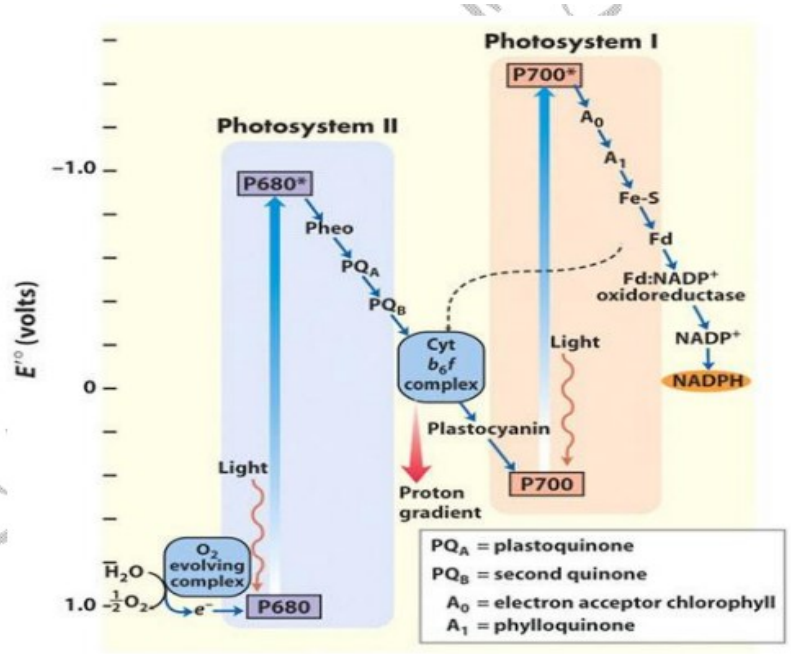
- بعد إثارة كلوروفيل (أ) (P700) مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول (PSI) تنتقل الإلكترونات منه إلى مستقبل يتأكسد P700 ثم تنتقل الإلكترونات من هذا المستقبل إلى الفريدوكسين (Fd) ومنه إلى الفيرودوكسين – $NADP^+$ – الريدوكتاز الذي يعمل على اختزال المستقبل النهائي للالكترونات وهو المرافق الإنزيمي المؤكسد NADP الذى يختزل إلى $NADPH,H^+$ وهو يمثل القوة الإختزالية الناتجة عن تفاعل الضوء. وعندما تنتقل الإلكترونات من مركز التفاعل (P700) يتولد فراغ به ويعوض هذا النقص في الإلكترونات من البلاستوسيانين وهو حامل الكترونات يوجد بالقرب من جزيئات الصبغة.P700 .

- تؤدى إثارة كلوروفيل أ (P680) مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني (PSII) فتتأكسد صبغة P680 ثم تنتقل الإلكترونات إلى البلاستوكينون Plastoquinone (PQ) الذى يختزل إلى (PQH2) ومنه تنتقل الإلكترونات إلى حامل ذو جهد إختزالي منخفض وهو معقد سيتوكروم بـ ف 6 Cytochrome b6/f complex ويقترن ذلك بتكوين مركب ATP الغني بالطاقة،

حيث تستغل الطاقة التى تفقدها الإلكترونات أثناء إنتقالها من PQ إلى Cyt.b6/f فى ربط مجموعة فوسفات غير عضوية Pi مع مركب ADP لتكوين مركب ATP وبذلك يكون قد تم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية وخزنت فى رابطة الفوسفوريك الطرفية فى مركب ATP ، وبعد ذلك تنتقل الإلكترونات من Cyt.b6/f إلى البلاستوسيانين PC(Plastocyanin) الذى ينقل الإلكترون إلى كلوروفيل أ (P700) ليعوض الإلكترونات التى نقصت عند إنتقالها منه سابقا، وبذلك يستمر سريان الإلكترونات بين النظامين فى وقت واحد. عندما تنتقل الإلكترونات من مركز التفاعل (P680) يتولد فراغ أو عجز فى الالكترونات به ويعوض هذا العجز بالإلكترونات الناتجة من إنحلال الماء ضوئيا لشغل الفراغ فى مركز التفاعل (P680) وينطلق الأكسجين. وإنحلال الماء ضوئيا مرتبط بالنظام الضوئى الثانى ويلزم وجود أيونات المنجنيز (Mn) لإتمام إنحلال الماء ضوئيا

- **الفسفرة الضوئية الدائرية :Photophosphorylation**

فى هذه العملية تنتقل الإلكترونات من كلوروفيل أ (P700) مركز التفاعل فى النظام الضوئى الأول بعد إثارته إلى إلى الفريدوكسين (Fd)ومن ثم لا تنتقل إلى مستقبلها النهائى $NADP^+$ وإنما تنتقل الإلكترونات من إلى (Cyt.b6/f) ثم تنتقل إلى البلاستوسيانين (Pc)ثم تعود الإلكترونات مرة أخرى إلى مركز النشاط (P700) فى النظام الضوئى الأول (PSI) ويصاحب هذا السريان الدائرى للإلكترونات تكوين جزىء واحد من ATP لكل فوتون من الضوء يمتصه PSI ،ولايصاحب عملية النقل الدائرى للإلكترونات (الفسفرة الضوئية الدائرية) إنحلال للماء ضوئيا وبالتالى لا يتصاعد أكسجين وكذلك لا يتكون $NADPH,H^+$ و بالتالى لا يتم إختزال .CO2 ويتضح ذلك عند إضاءة البلاستيدات الخضراء بموجات ضوئية أطول من 680 ولتكن 700 نانومتر، فى هذه الحالة ينشط ويثار النظام الضوئى الأول فقط (PS I) ويحدث سريان دائرى للإلكترونات (أى تحدث الفسفرة بالطريقة الدائرية)، أما النظام الضوئى الثانى (PS II) لا ينشط لأن الأطول الموجية أكبر من 680 لا يستطيع إمتصاصها



الشكل (9): مخطط Z يوضح تفاعلات الأكسدة والإختزال المعتمدة على الضوء (التفاعلات الكيموضزئية) وتخليق القوة التمثيلية (ATP & NADPH٢)

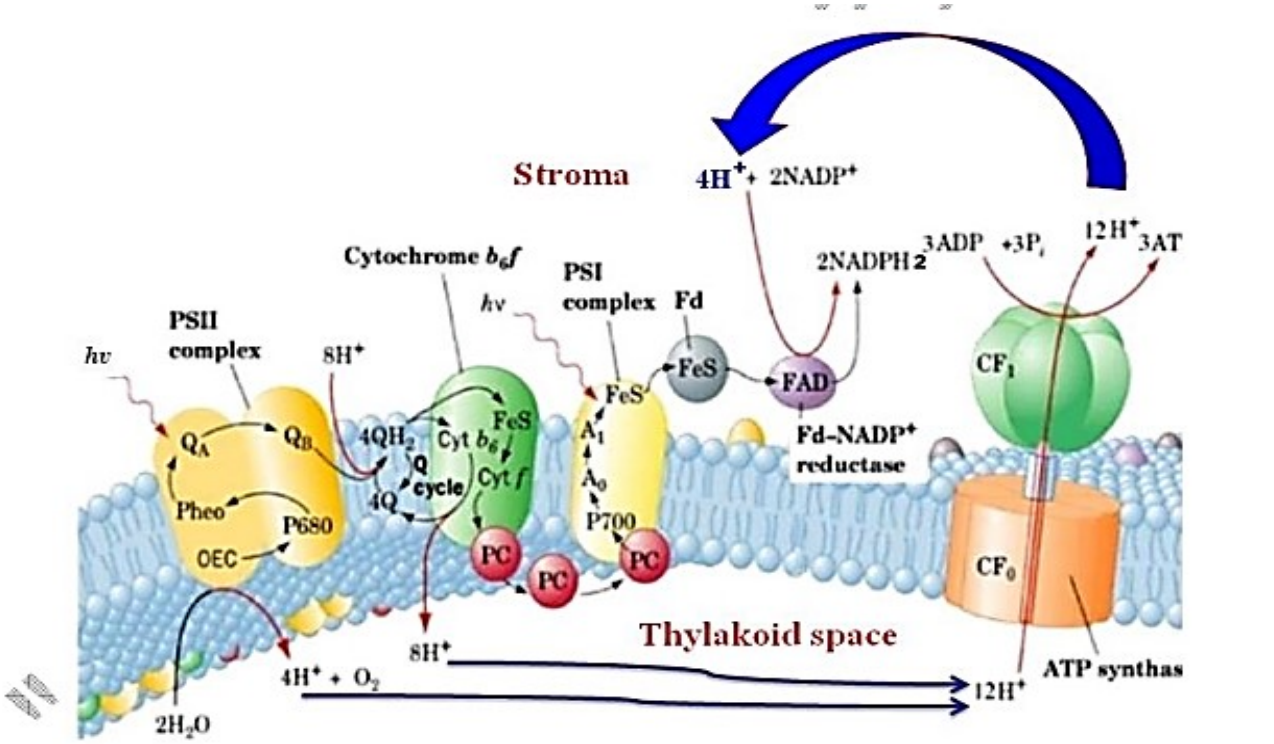
نواتج التفاعلات الضوئية

نواتج تفاعلات الضوء وهى مركباتATP ، $NADPH,H^+$ وهما القوة أو الطاقة التمثيلية اللازمة لتفاعل الظلام (المرحلة الثانية فى عملية البناء الضوئى)، حيث تنتج هذه القوة التمثيلية فى أغشية الثيلاكويدات ثم تنتقل منها إلى الستروما ليقودان تفاعل الظلام (تثبيت وأختزالCO2) إلى كربوهيدرات .وقد أثبتت الأبحاث أن عدد الفوتونات الضوئية اللازمة لتصاعد جزىء واحد من الأكسجين O2 أو تثبيت جزىء واحد من CO2 هى 8 فوتونات ضوئية. وبالتالى فإن أكسدة جزيئين من الماء لكى يتصاعد جزىء أكسجين يلزمه 8 فوتونات حيث يستغل مركز التفاعل الأول PSI أربعة فوتونات ومركز التفاعل الثانى PSIIالأربعة فوتونات الأخرى. ويترتب على إنحلال جزيئين من الماء ضوئيا إنطلاق 4 إلكترونات ويؤدى إمتصاص 4 فوتونات ضوئية بواسطة النظام الضوئى الثانى إلى سريان هذه الإلكترونات من الماء إلى البلاستوسيانين تستغل الطاقة التى تفقده الإلكترونات أثناء هذا السريان فى نقل H+ من الستروما إلى تجويف الثيلاكويد عبر غشاء الثيلاكويد عبر السيتوكروم و كذا الناتجة من تحلل الماء مسببا تدرجا فى جهد البروتونات يستغل فى تكوين 3 جزيئات ATP ، أما الأربعة الفوتونات التى تمتص بواسطة النظام الضوئى الأول فتقود سريان الإلكترونات من البلاستوسيانين إلى مستقبلها النهائى NADP فتختزل جزيئين منه مكونة $NADPH,H+$ **(الشكل 10)**.

وهذه المركبات الناتجة من إكسدة جزيئين من الماء ضوئيا وهى 3 جزيئات ATP و2 جزىء NADPH2 تكفى لتثبيت وإختزال جزىء واحد منCO2 لتكوين سكر مفسفر كما توضح المعادلة التالية :

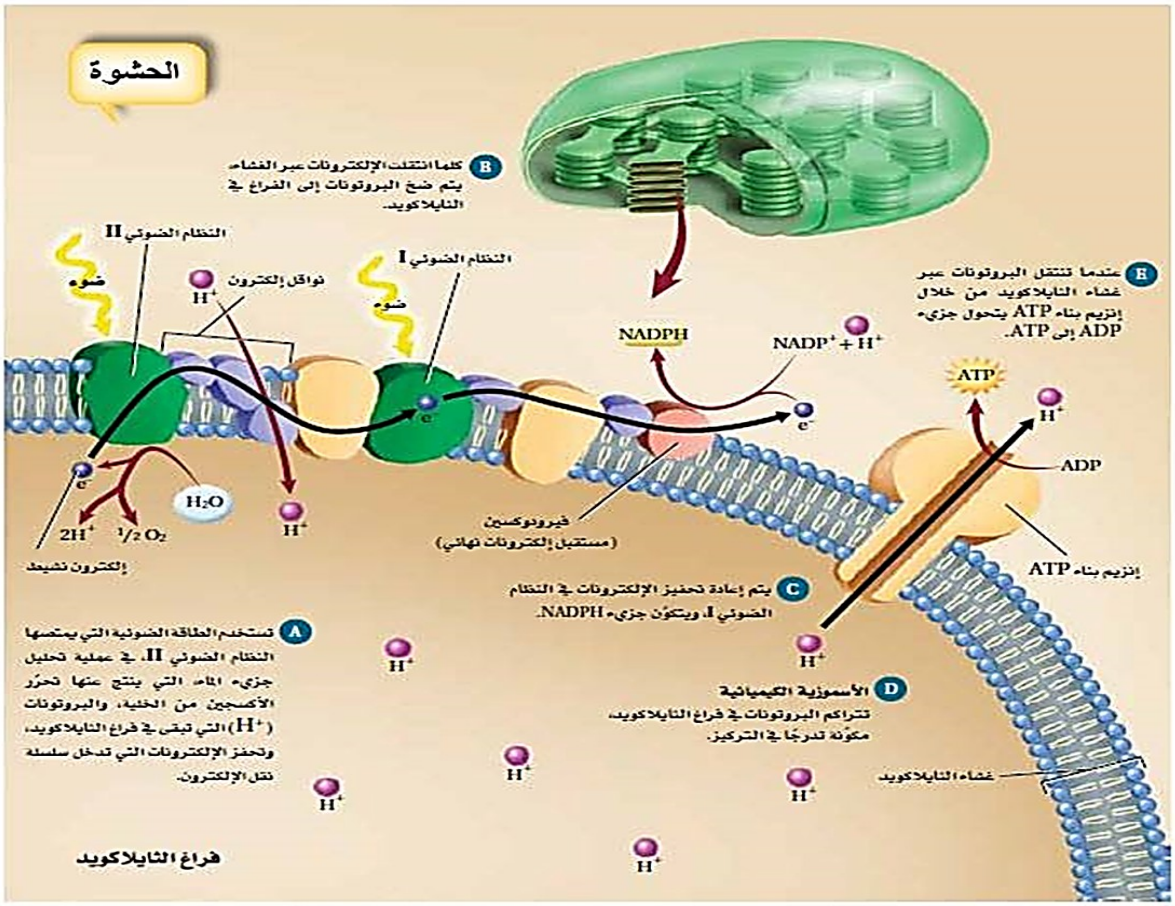
$$2H2O+2NADP+3ADP+3PI \longrightarrow 02+2NADPH2+3ATP$$

يتضح من المعادلة السابقة أن تثبيت جزىء واحد CO2ينتج عنه جزىء CH2O وهى أصغر وحدة بنائية للسكريات، وبالتالى لكى يتكون جزىء واحد من سكر C6H12O6 الناتج الرئيسى لتفاعلات الظلام) فإنه يلزم تثبيت 6 جزيئات CO2 وهذه يلزم لتثبيتها وإختزالها طاقة تمثيلية تتألف من 18 جزىء ATP و12 جزىء NADPH,H+ وهذه الطاقة التمثيلية لكى يتم تكوينها من عملية الفسفرة الضوئية غير الدائرية تحتاج إلى إمتصاص 48 فوتون ضوئى يستغلها النظامين الضوئيين، ويحدث إنحلال ل12 جزىء ماء ضوئيا لينطلق منها 24 إلكترون تسرى فى حوامل نقل الإلكترون التى تربط بين النظامين الضوئين ويترتب على سريانها ووصولها إلى مستقبلها النهائى



The oxidation of **2 H2O** requires **8 photons** to transport **4 e-** through the system, resulting in the accumulation of **12 H+ in the thylakoid space** and generation of **3 ATP &2 NADPH** in the stroma

الشكل 10 : نواتج المرحلة الكيموضوئية



الشكل 11 : تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

2.3.1.1 . تفاعل الظلام

(التفاعلات الكيموحيوية أو تثبيت وإختزالCO_2)

1. تحدث هذه التفاعلات فى الستروما.
2. لا يلزمها وجود الضوء ولكنها تعتمد على نواتج تفاعلات الضوء(ATP & NADPH)
3. فى تثبيت وإختزال CO_2 تفاعلات إنزيمية (كيموحيوية) بطيئة وتتأثر بدرجة الحرارة.
4. يتم تثبيت وإختزالCO_2 فى النباتات من خلال ثلاث مسارات أو ثلاثة طرق على أساس الإختلافات الفسيولوجية والتشريحية بينها، وتتمثل الأختلافات الرئيسية بين المسارات الثلاثة فى المستقبل الأول لثانى أكسيد الكربون، والناتج الأول من تثبيت CO_2.

الطريق الأول أو المسلك الأول :

تثبيت وإختزال CO_2 فى النباتات ثلاثية الكربون (C3 plants) وتسمى دورة كالفن بنسون (Calvin and Banson Cycle) فى هذا المسلك يكون الناتج الأول بعد تثبيت CO_2 هو مركب ذو ثلاث ذرات كربون هو حمض-3- فوسفوجلسريك (3PGA) والمستقبل الأول لثانى أكسيد الكربون هو سكر Ribulose-1,5-diphosphate (RuBP).الريبولوز 1-5 ثنائى الفوسفات

الطريق الثانى أو المسلك الثانى :

تثبيت وإختزال CO_2 فى النباتات رباعية الكربون (C4plants) ويسمى مسلك أو دورة هاتش وسلاك Hatch and Slack Cycle or pathway، فى هذا المسلك يكون الناتج من تثبيت CO_2هو مركب ذو أربع ذرات كربون وهو حمض الأوكسالوخليك (Oxaloacetic acid OAA) وأحماض رباعية أخرى هى حمض الماليك والأسبرتيك، والمستقبل الأول لثانى أكسيد الكربون هو حمض فسفوإينول البيروفيك)Phosphoenol pyruvic acid PEP

الطريق الثالث أو المسلك الثالث :

مسلك تثبيت CO_2 فى النباتات العصارية المتشحمة (Crassulasian acid Metabolism (CAM) ويسمى الأيض الحمضي العشبي، فى هذا المسار فى هذه النباتات يكون الناتج الأول من تثبيت CO_2 هو مركب عضوى ذو أربع ذرات كربون هو (OAA)مثل النباتات رباعية الكربون والمستقبل الأول لCO_2 هو (PEP) أيضا فهو نفس مسلك النباتات رباعية الكربون لكنها تختلف عن النباتات رباعية الكربون فى ميقات عملية التثبيت حيث يتم تثبيت وإختزال CO_2 فى الظلام لأن ثغور هذه النباتات تفتح فى الليل ولا تفتح فى النهار وهى وسيلة لتأقلمها مع ظروف البيئة الجافة وقلة الماء.

وعلى أية حال فإن هذه المسالك الثلاثة تشترك فى مسار أيضى ثابت وهو دورة كالفن وتستخدم نواتج تفاعلات الضوء (NADPH ,ATP) فى تثبيت وإختزال CO_2 لإنتاج السكريات الأحادية فى الأنواع الثلاثة من النباتات وإختلاف عملية تثبيت CO_2 وإختزاله فى النباتات الرباعية والنباتات العصارية المتشحمة إلى أحماض عضوية رباعية الكربون ما هى إلا ميكانيكية لتحسين النمو وزيادة الإنتاجية فى النباتات رباعية الكربون، وفى النباتات CAM تكون وسيلة أو ميكانيكية للتأقلم والحماية من ظروف البيئة الصحراويه الجافه .وسيتم شرح عملية تثبيت وإختزال ثانى أكسيد الكربون لكل مسلك على حدة وسنبدأ بنباتات ثلاثية الكربون أو بدورة كالفن حيث أنها الدورة الرئيسية وتوجد فى جميع النباتات الخضراء ثم يلى ذلك نباتات رباعية الكربون وأخيرا النباتات CAM مع إلقاء الضوء على الفروق أو الإختلافات الأساسية فى عملية تثبيت إختزال ثانى أكسيد الكربون بين المجموعات الثلاثة.

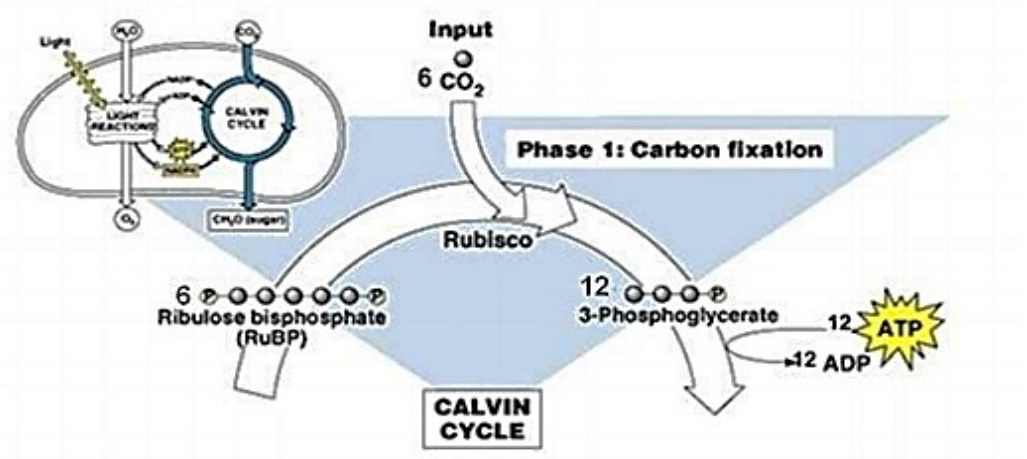
- **المسلك الأول: تثبيت وإختزال CO2 فى النباتات ثلاثية الكربون (دورة كالفن وبنسون)**

- من أمثلة هذه النباتات الأرز والقمح وفول الصويا التي تعتبر من المحاصيل الزراعية الهامة. ويتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون في هذه النباتات بالطريقة التالية:
- تتم تفاعلات دورة كالفن في خلايا النسيج المتوسط.(Mesophyll)
- ويتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون مباشرة في دورة كالفن في خلايا النسيج المتوسط.
- يقوم إنزيم كربوكسليز ثنائي فوسفات الرايبولوز (Ribulose diphosphate carboxylase) بتحفيز تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع مركب ثنائي فوسفات الرايبولوز .
- ينتج جزيئين من مركب فوسفات حامض الجليسرين وهو المركب الأول الناتج بعد تثبيت ثاني أكسيد الكربون والذي يتكون من ثلاث ذرات كربون، ولذلك سميت هذه النباتات بالنباتات ثلاثية الكربون (C_3)

تشتمل دورة كالفن على تفاعلات كيميوحيوية عديدة تحدث فى ستروما البلاستيدات الخضراء حيث توجد جميع الإنزيمات اللازمة لهذه التفاعلات. تلخيص تفاعلات دورة كالفن فى ثلاث مراحل رئيسية هى:

- **المرحلة الأولى: تثبيت CO_2 أو الكربوكسلة :**

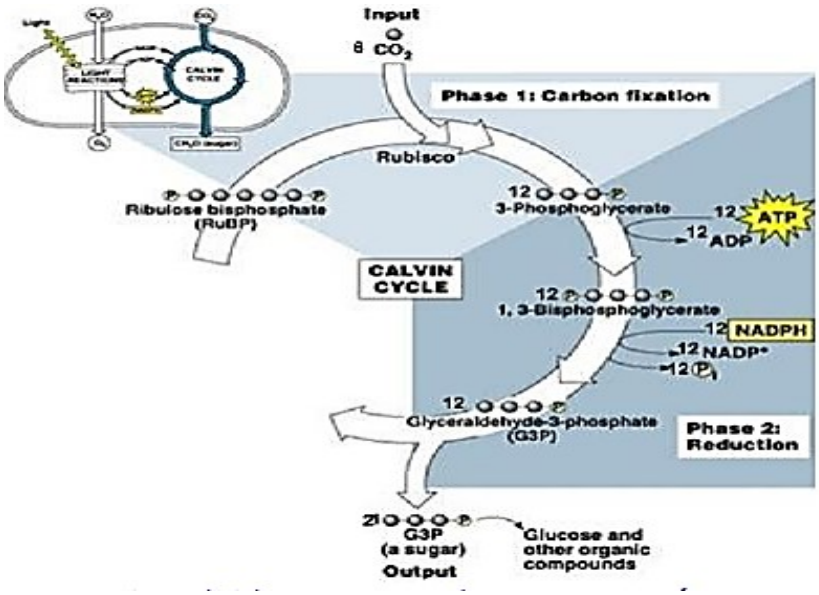
فى هذه المرحلة يتم إتحاد CO_2 الغاز مع مستقبله وهو سكر ريبولوز 1-5 ثنائى الفوسفات في وجود الماء و إنزيم rubisco . RuBP carboxylase ليعطى مركب ذو ست ذرات كربون غير ثابت ينشطر سريعا إلى جزيئين من حمض 3- فوسفوجلسريك PGA 3-Phosphoglyceric acid وهو الناتج الأول من تثبيت CO_2 وهو مركب ثلاثى الكربون، ولكى يتم تثبيت 6 جزيئات CO_2 فإنها تحتاج إلى 6 جزيئات من RuBP لتكون 12 جزىء من PGA **(الشكل12)**.



الشكل (12): مرحلة الكربكسلة

- **المرحلة الثانية: المرحلة الإختزالية Reduction:**

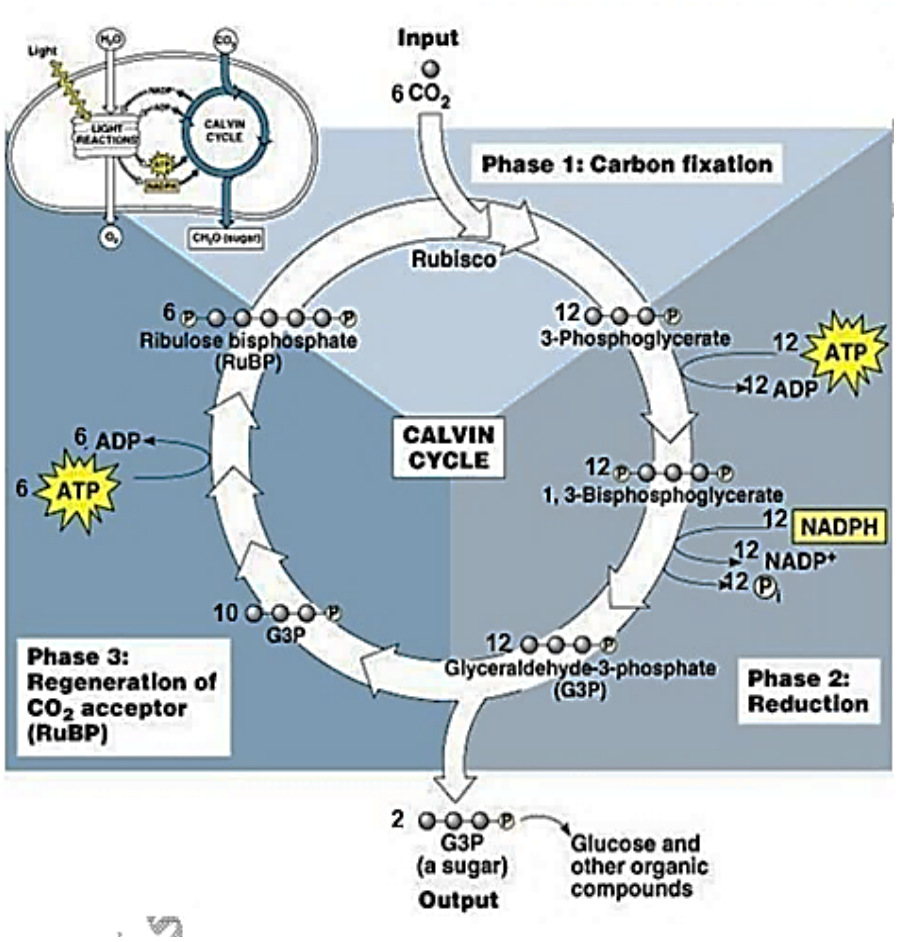
يستقبل كل جزيء من حمض 3- فوسفوجليسريك مجموعة فوسفات أخرى من ATP ليكون حمض 1-3- فسفو جليسريك(ADPG) الذى يختزل بواسطة $NADPH,H^+$ إلى 3- فوسفوجليسرألدهيد (3PGAL) أى تختزال مجموعة الكربوكسيل (COOH-)إلى مجموعة ألدهيد(CHO-) ، ومركب الفوسفوجليسر الدهيد هو سكر ثلاثى الكربون وهو يمثل المركب المحورى الذى يدخل فى بناء مركبات كربوهيدراتية عديدة .**(الشكل 13)**



الشكل(13): مرحلة الاختزال

- **المرحلة الثالثة : إعادة توليد المستقبل وخروج ناتج تثبيت CO_2**

هذه المرحلة يخرج ناتج تثبيت CO_2 على صورة جزئ سكر سداسى ويعاد توليد سكر الريبولوز 1-5ثنائى الفوسفات (RuBP) المستقبل الأول لثانى أكسيد الكربون بإستمرار وذلك عن طريق تحول سكريات وسطية مفسفرة هى سكريات ثلاثية ورباعية وخماسية وسداسية وسباعية الكربون، وهى سكريات أحادية تتخلق من المركب المحورى 3- فوسفوجليسرألدهيد (3PGAL) الناتج بعد الأختزال، والمركبات الوسطية الناتجة تكون سريعة التحول وغير ثابتة **(الشكل 14)**



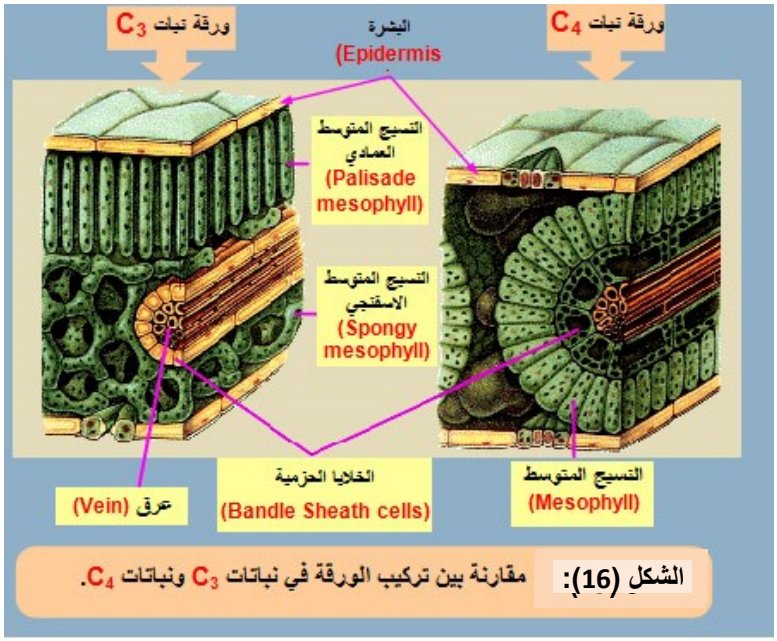
الشكل (14): مرحلة تجديد الريبولوز 1-5 ثنائي الفوسفات

- **المسار الثاني (النباتات رباعية الكربون)**

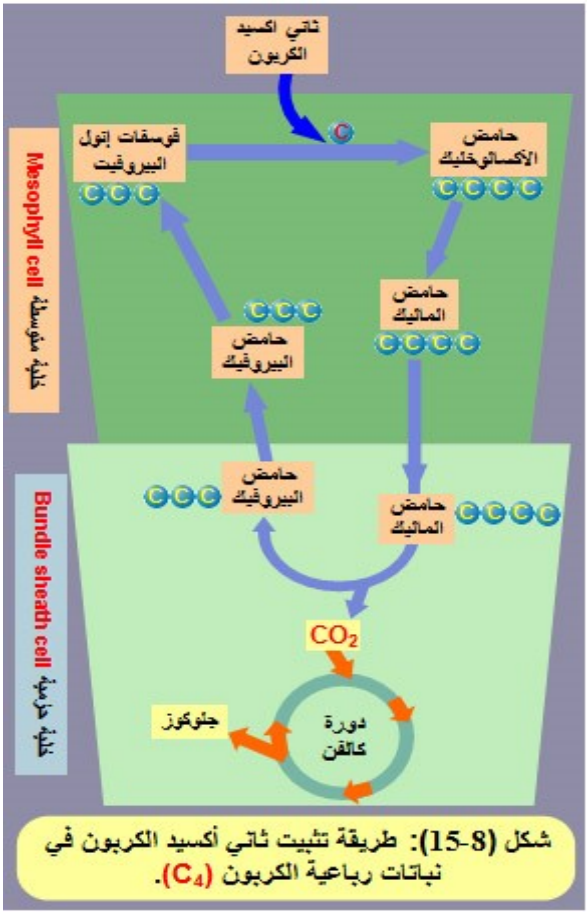
- هذه النباتات مثل قصب السكر والذرة، يختلف تركيب الورقة فيها عن نباتات ثلاثية الكربون(C_3) **(الشكل15)**
- طريقة تثبيت ثاني أكسيد الكربون في هذه النباتات تختلف عن نباتات.(C_3) حيث يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون في الخلايا المتوسطة. ويكون أول المركبات الناتجة هو حامض الأكسالوخليك (Oxaloacetic acid) وهو مركب يتكون من أربع ذرات كربون ولذلك سميت هذه النباتات برباعية الكربون.(C_4 plants)
- يقوم إنزيم كاربوكسيليز فوسفو إنول بيروفيت [Phosphoenolpyrovate carboxylase (PEPCase)] بتحفيز هذا التفاعل.
- يتحول حامض الأكسالوخليك إلى حامض الماليك (Malic acid) الذي يدخل إلى الخلية الحزمية.
- تتم عملية نزع ثاني أكسيد الكربون (Decarboxylated) لتحرير ثاني أكسيد الكربون الذي يدخل في دورة كالفن التي تحدث في الخلايا الحزمية.

ومن الناحية الفسيولوجية والكيميوحيوية تتميز النباتات رباعية الكربون عن النباتات ثلاثية الكربون بعدة ميزات منها

- أغلبها نباتات إستوائية تعيش فى درجة حرارة مرتفعة وشدة إضاءة عالية ونقص فى الماء، ومنها ما ينمو فى المناطق الباردة المعتدلة كما أن بعضها يتحمل الملوحة وكلها تتميز بمعدل بناء ضوئى عالى وسريع.
- الثغور تغلق بسرعة أى لها مقاومة عالية.
- لا يحدث بها تنفس ضوئى وإن حدث يكون نادراً وبمعدل منخفض للغاية.
- معدل عملية البناء الضوئى أكبر أو ضعف معدلها فى النباتات ثلاثية الكربون.
- سرعة نموها عالية نتيجة لكفاءة بنائها الضوئى العالية.
- إنتاجيتها عالية.



الشكل (16): مقارنة بين تركيب الورقة في نباتات C_3 ونباتات C_4.



شكل (8-15): طريقة تثبيت ثاني أكسيد الكربون في نباتات رباعية الكربون (C_4).

- **المسار الثالث (عند نباتات الأيض الحمضي العشبي:[Crassulacean acid metabolism (CAM)]**

تضم أكثر من 25 عائلة من النباتات مثل الأناناس والصبار، التي تنمو في ظروف بيئية جافة (صحراوية تتميز هذه النباتات ببعض الخصائص التشريحية والفسيولوجية التى تميزها عن النباتات العادية مثل:

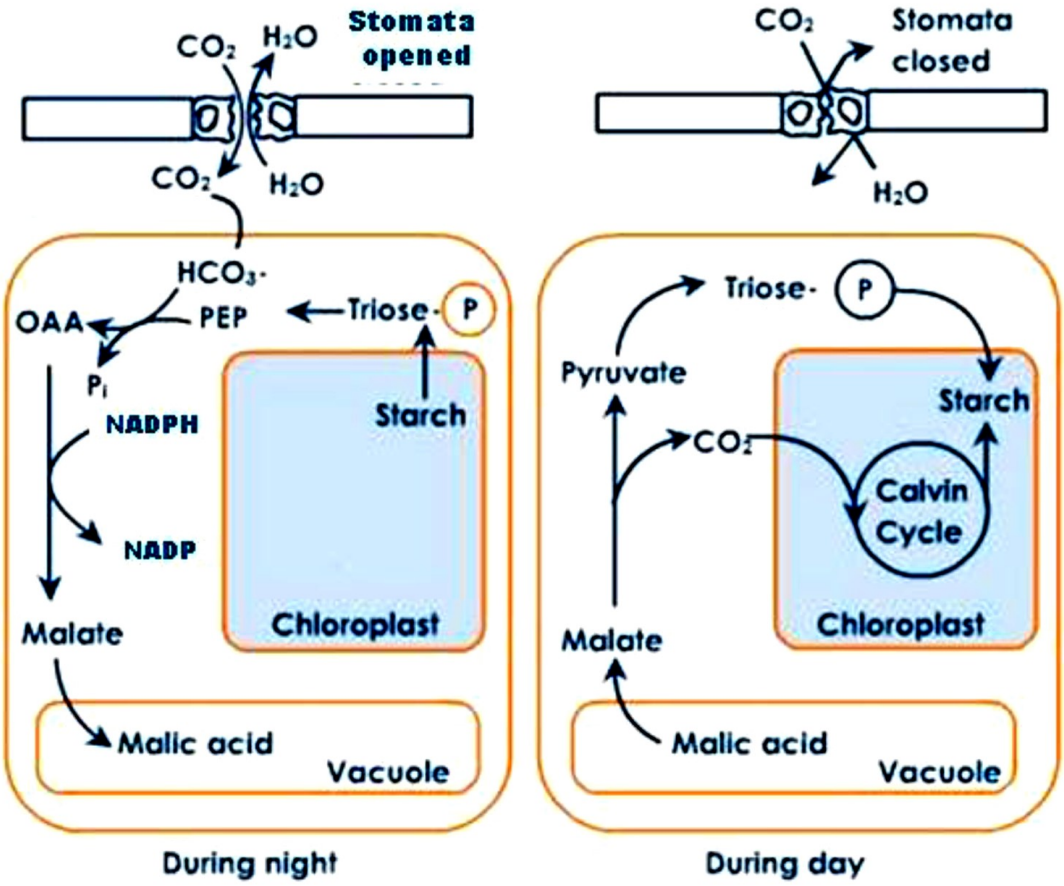
- زيادة سمك طبقة الأدمة على بشرة الأوراق، صغر حجم الأوراق، الثغور غائرة تغطيها شعيرات.
- هذه النباتات لا يوجد بها غلاف الحزمة بل لها نوع واحد من البلاستيدات الخضراء فى خلايا النسيج المتوسط فقط.
- تكيفت هذه النباتات مع هذه الظروف بعدة عوامل منها المحافظة على الماء وذلك بغلق الثغور أثناء النهار وفتحها أثناء الليل.

وبالرغم من أن غلق الثغور أثناء النهار في هذه النباتات يساعدها على المحافظة على الماء، لكنه يمنع دخول ثاني أكسيد الكربون. لذا فإن دخول ثاني أكسيد الكربون وعملية تثبيته وتحويله إلى مركبات عضوية مختلفة تتم عندما تكون الثغور مفتوحة أثناء الليل. يطلق على هذه الطريقة اسم الأيض الحمضي العشبي .(CAM) وفيها يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون بطريقة تشبه تثبيته في النباتات رباعية الكربون(C_4) ، من حيث أن المركب العضوي الأول الذي يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون فيه هو حامض الأكسالوخليك وهو يتكون من أربع ذرات كربون، إلا أن هناك اختلافات هامة بين النوعين وذلك كما يلي:

- تتم عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون بواسطة إنزيم كاربوكسيليز فوسفو إنول بيروفيت وارتباطه مع حامض البيروفيك معطياً حامض الأكسالوخليك تتم أثناء الليل فقط في خلايا النسيج المتوسط(Mesophyll cells) ، التي تقوم بتخزين الأحماض العضوية الناتجة بعد تثبيت ثاني أكسيد الكربون في الفجوات العصارية حتى الصباح.
- أثناء النهار يتحرر ثاني أكسيد الكربون من الأحماض العضوية ويدخل دورة كالفن لإكمال تفاعلات الدورة في خلايا النسيج المتوسط أيضاً وليس في الخلايا الحزمية كما في النباتات رباعية الكربون.(**الشكل 17**)

و بناءا على كل ما سبق يمكن كتابة معادلة البناء الضوئي بالشكل التالي:

$$6CO_2+12H_2O+12NADPH_2+18ATP \longrightarrow C_6H_{12}O_6+6O_2+12NADP^+ +18ADP+18PI$$



الشكل (17): طريقة تثبيت CO2 عند نباتات CAM

4.1.1. العوامل المؤثرة في معدل التركيب الضوئي

❖ **العوامل الخارجية :**

- **الضوء :** يزداد معدل التركيب الضوئي بزيادة شدة الضوء و هذا باختلاف نوع النبات مالم يصل الى الحد الأمثل
- **الماء :** الماء من العوامل الأكثر أهيمة فلنقص الماء تأثير ضار على معدل التركيب الضوئي لانخفاض المحتوى المائي للخلية ولإنغلاق المسام، كما انه يدخل في التفاعل و غيره من الأدوار التي يلعبها الماء في حياة الخلية
- **درجة الحرارة:** تأثر على نشاط الأنزيمات في التفاعلات اللاضوئية ، كما أن درجة الحرارة العالية تتسب فى إنغلاق الثغور لتقليل فقد الماء من أنسجة النبات، كما تأثر درجة الحرارة على حركية الجزيئات.
- **تركيز الأكسجين:** يؤدي نقصان الأوكسجين الصانعة الخضراء الى زيادة معدل التركيب الضوئي وبالعكس أي العلاقة عكسية ويعود ذلك لاسئثار عملية التنفس ببعض المركبات الوسطية والتنافس بين غاز ثاني اكسيد الكربون والأكسجين ، مع زيادة ظاهرة التنفس الضوئي.

- **تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون**:يزداد معدل التركيب الضوئي بزيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو حتى يصل هذا المعدل الى الحد الأمثل,عندها يثبت شرط بقاء العوامل الأخرى في حدودها المثلى.
- تؤثر هذه العوامل على النبات معاً في الوقت نفسه ولكن قد يصبح عاملاً واحدا عاملا محددا لعملية التركيب الضوئي و هو العامل الذي وصل إلى حده الأدنى و الذي يعرف بالعامل المحدد.

❖ **العوامل الداخلية**

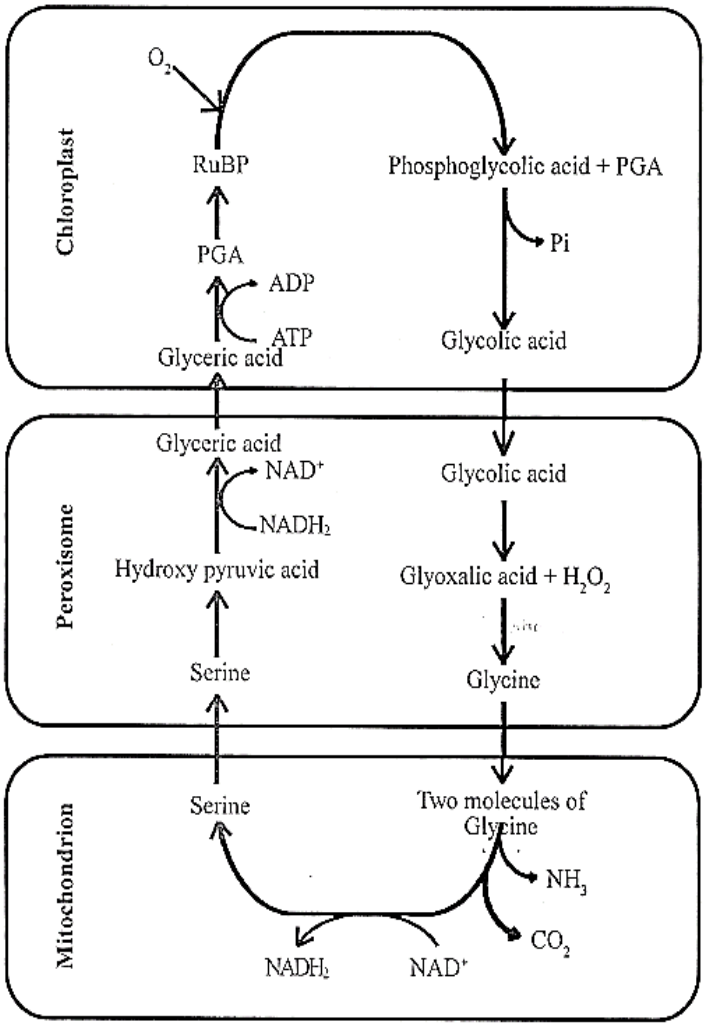
- **المحتوى اليخضوري**: لا يستطيع النبات النامي من البذرة البدء في عملية التركيب الضوئي حالما يوضع في الضوء,بل يجب عليه أن يصنع اليخضور أولاً.
- **تراكم نواتج عملية التركيب الضوئي**:ان زيادة تركيز السكريات وتراكمها في الورقة يقلل معدل التركيب الضوئي لأن ذلك يزيد من تركيز العصارة الخلوية ;و منه زيادة الضغط الاسموزي مما يعيق العمليات و النشاطات الحيوية ومنها التركيب الضوئي.
- **الأملاح المعدنية**: تعمل كمساعدات أنزيمية فان نقصها قد يؤثر على معدل التركيب الضوئي من خلال تأثيره في التفاعلات الانزيمية.
- **التركيب التشريحي للورقة**:ان سرعة دخول غاز ثاني اكسيد الكربون الى أنسجة الورقة وكمية الضوء التي تدخل الخلايا وسرعة انتقال نواتج التركيب الى خارج الخلايا يتوقف الى حد كبير على التركيب التشريحي للورقة وبالتالي على سرعة التركيب الضوئي.

2.1. التنفس الضوئي · Photorespiration

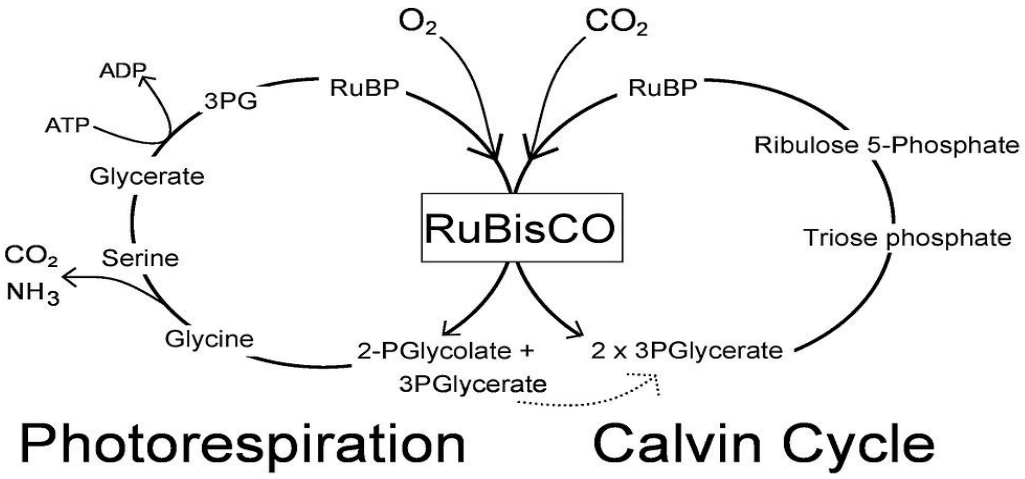
إن عملية التنفس الضوئي تحدث تحت ظروف الحرارة والإضاءة المعتدلة بمعدل 3/1 أي بمعدل تفاعل واحد من كل أربعة تفاعلات لانزيم الروبيسكو مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة عملية البناء الضوئي بنسبة 25 % و تزداد هذه النسبة بتوفر العوامل المشجعة للتنفس الضوئي مثل درجات الحرارة العليا و زيادة شدة الإضاءة و غيرها من العوامل التي تؤدي إلى زيادة تركيز الأكسيجين بالنسبة لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الانسجة الورقية

عندما ينخفض مستوى CO_2 داخل الأوراق لسبب ما و ليكن ارتفاع درجة الحرارة فإن انزيم الروبيسكو يبدأ بربط O_2 مع RuBP بدلا من CO_2 و بدلا من أن ينتج 2 جزئ من 3PGA فانه ينتج جزيء منه فقط بالاضافة إلى جزيء من مركب سام هو

Phosphoglycolate ،لكن النباتات تمتلك مسالك أو ميكانيكيات تستطيع من خلالها تحويل مركب Phosphoglycolate السام إلى مركب Glycolic الذي ينتقل إلى البيروكسيزومات و يتحول إلى Glycine و هذا بدوره يتحول إلى Serine و يستخدم السيرين بعد ذلك في تكوين مركبات عضوية أخرى(**الشكل 18**)، وجميع هذه التحولات تستهلك طاقة النبات كما تؤدي عملية التنفس الضوئي إلى انخفاض صافي ثاني أكسيد الكربون المثبت بمقدار 50% و بالتالي فان النباتات التي تمتلك طرق متحورة لتثبيت و اختزال CO_2 تستطيع من خلالها تجنب حدوث التنفس الضوئي أو تقليل حدوثه كما في النباتات رباعية الكربون و نباتات الأيض العشبي (CAM) كما تزداد فيها كفاءة التمثيل الضوئي و صافي نواتجه بمقدار الضعف تقريبا مقارنة بالنباتات ثلاثية الكربون.



الشكل(18): آلية التنفس الضوئي

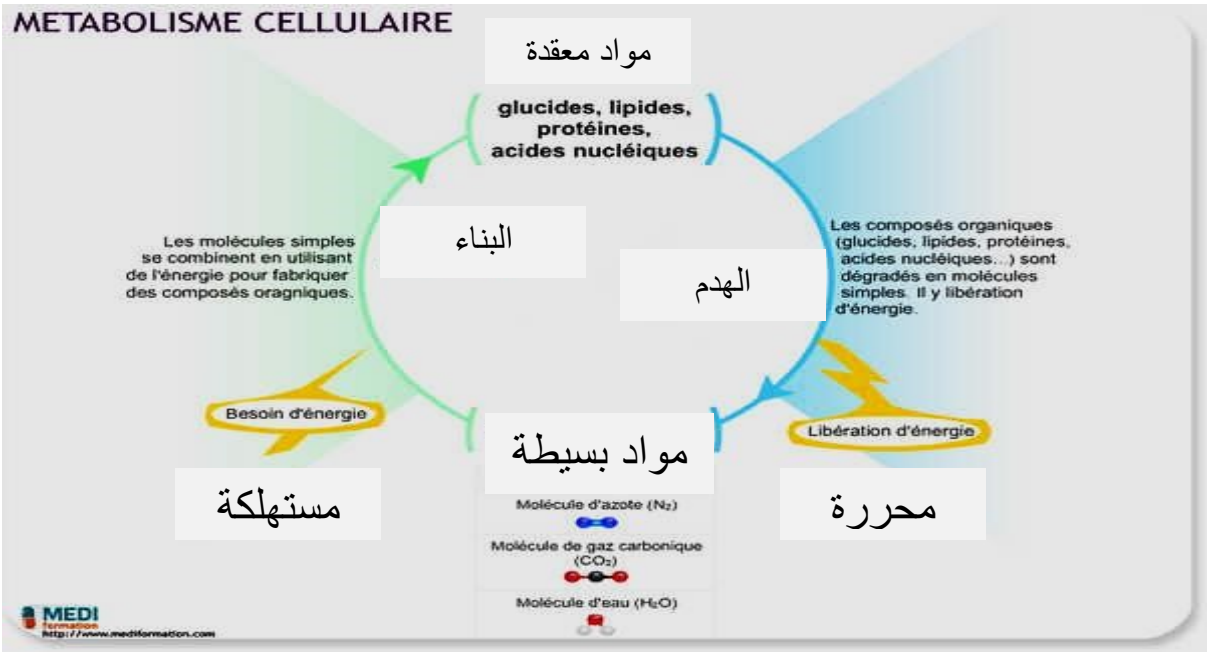


الشكل(19): دور انزيم الروبيسكو في كل من حلقة كالفن و التنفس الضوئي

3.1. التنفس Respiration:

1.3.1. الأيض (Mtebolisme) :

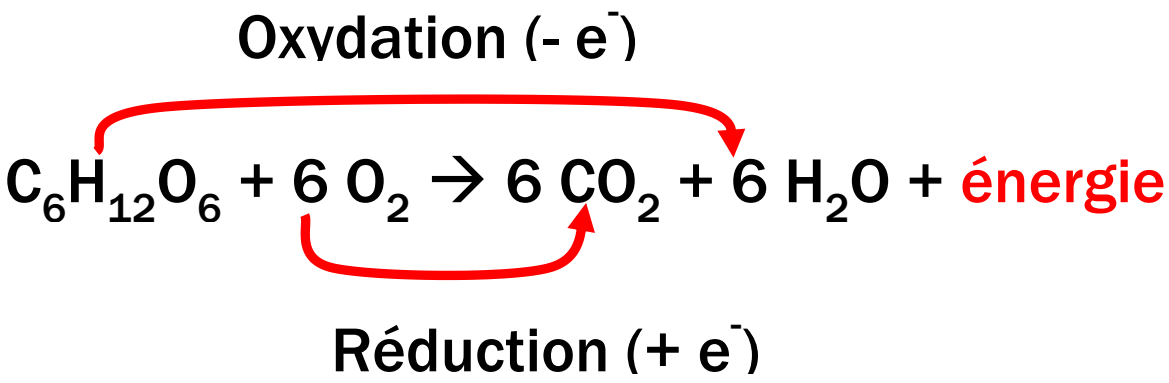
هو مجموع التفاعلات الكيميائية التي تتم في خلية حية، بتدخل انزيمات نوعية و يصاحب هذه التفاعلات تحرير أو اكتساب طاقة، حيث تشمل تفاعلات هدم Catabolisme و تفاعلات بناء Anabolisme **(الشكل 20)**



الشكل (20): الميتابوليزم الخلوي

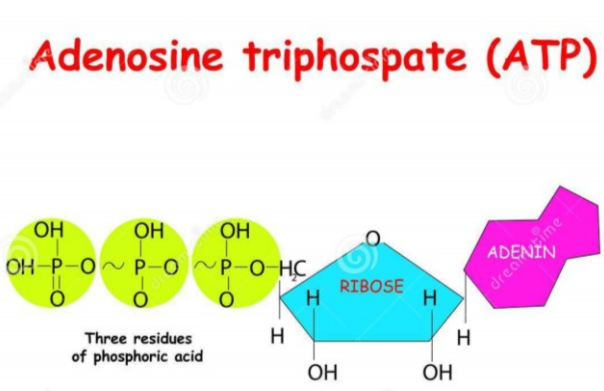
2.3.1. مفهوم التنفس

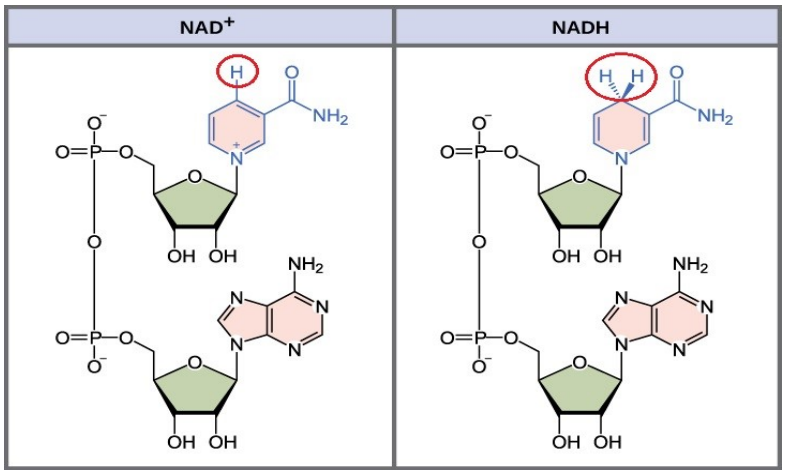
التنفس الداخلي أو التنفس الخلوي هي مجموعة من التفاعلات الأيضية (الأيض) تحدث في الخلايا الحية لتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في المواد العضوية في وجود الأكسجين و ذلك وفقا للمعادلة التالية



المركبات الطاقوية

- انهيدريد حمض الفوسفوريك ATP, ADP,GTP,GDP
- المرافقات الانزيمية البيريدينية NADH, NADPH, FADH2
- انهيدريد حمض الفوسفوريك و الكربوكسيل DPG1,3
- مركبات الاينول فوسفات PEP
- النيكلوتيدات الحلقية AMP Cyclic, GMP Cyclic
- مركبات ثيول استر Acetyl–CoA





الشكل(21): بعض المركبات الطاقوية

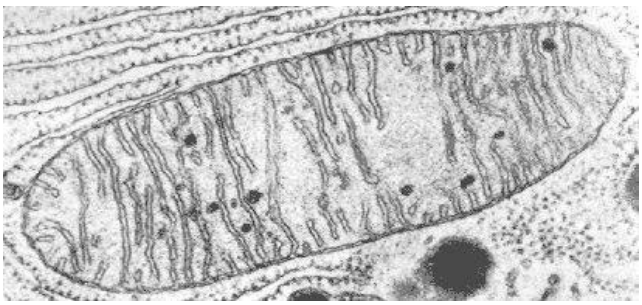
3.3.1. مقر التنفس الخلوي

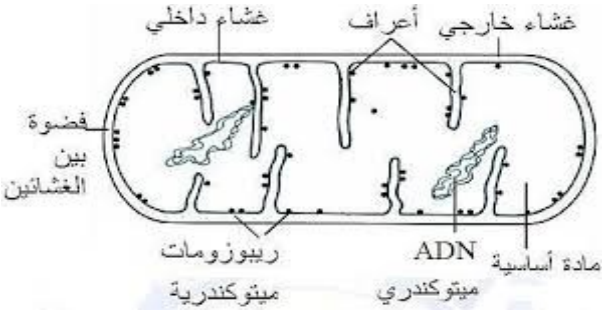
الميتوكوندريا أو الحبيبات الخيطية باللغة العربية ، هي عضيات خلوية موجودة في سيتوبلازم الخلايا حقيقية النوى. وتعتبر الميتوكوندريا مولدَ الطاقة في الخلية ، وهي مسؤولة عن عملية التنفس الخلوي وتصنيع الأدينوزين ثلاثي فوسفات ATP– داخل الخلايا. يمكن أن تحوي كل خلية من ميتوكندريون واحد إلى الآلاف منها

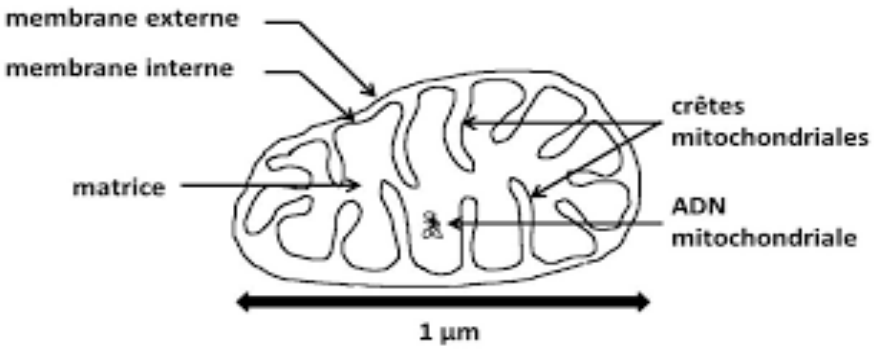
- **بنية الميتوكوندري**

الميتوكوندريا هي عضيات خلوية صغيرة تبلغ من 1 إلى 10 ميكرونات طولًا و 0,5– 1 ميكرون. ، ومغلفةً بغشائين اثنين يعزلانها عن العصارة الخلوية وباقي العضيات داخل الخلية. يتكون الغشائين الدهنيان من طبقتين اثنتين تحتويان على بروتينات مضمنة بينهما. الغشاء الداخلي مطوي ويشكل أعرافًا داخليةً تساعد في زيادة مساحة السطح الداخلي للميتوكوندريا، ويزيد هذا الغشاء من فاعلية التنفس الخلوي.

تسمى المنطقة بين الغشائين بالحيز بين الغشائي. يظم الغشاء الداخلي المادة الأساسية ويحتوي على رايبوسومات، إنزيمات و DNAميتوكوندري . بمقدور الميتوكوندريا أن تتكاثر وتصنع البروتينات بشكل منفصل عن باقي الخلية، إذ أنها تحتوي على الإنزيمات اللازمة للترجمة الخلوية، بالإضافة لـ RNA الناقل والرايبوسومات اللازمة لتركيب البروتين **الشكل(22)**.







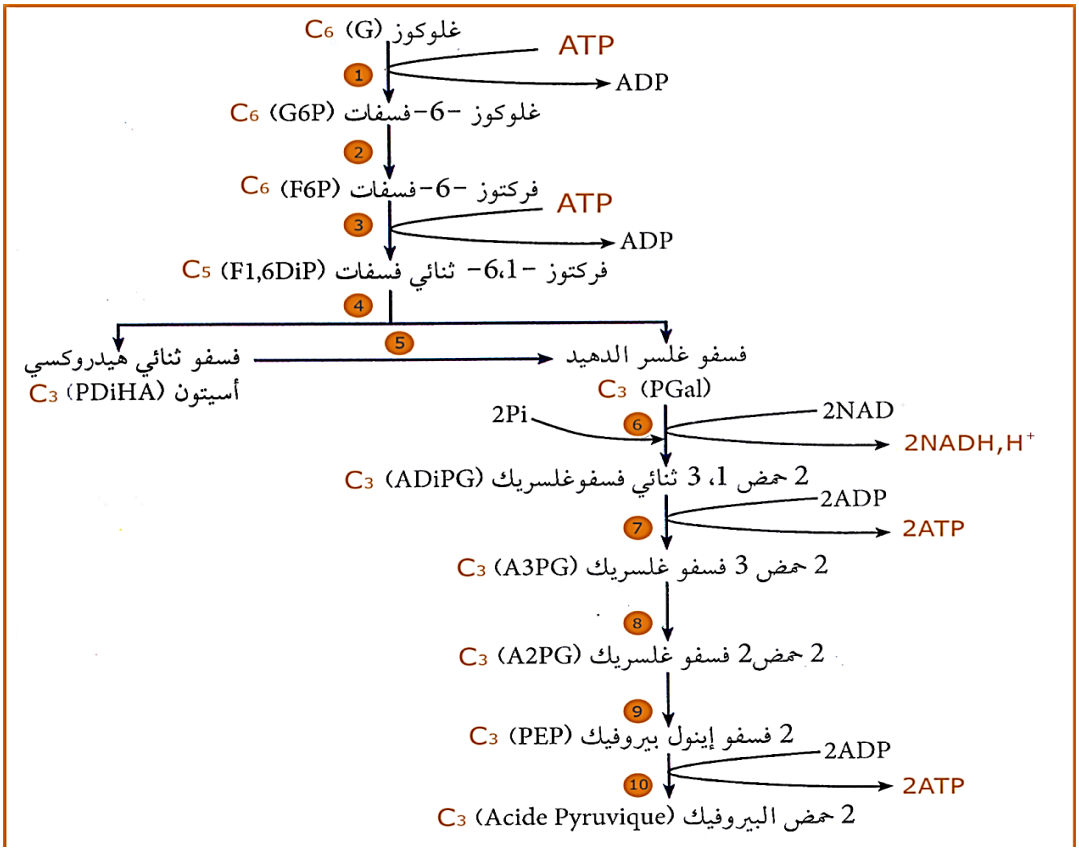
الشكل(22): مافوق بنية الميتوكوندري أ: رسم تخطيطي ب: صورة بالمجهر الالكتروني

4.3.1. آلية التنفس:

1/ التحلل السكري Glycolyse

يحدث التحلل السكري في العصارة الخلوية عن طريق تقسيم الجلوكوز إلى نوعين مختلفين صغيرين من السكريات، واللذان يتأكسدان لينتجا البياروفات .Pyruvate– قد يحدث التحلل السكري بشكل هوائي أو غير هوائي.

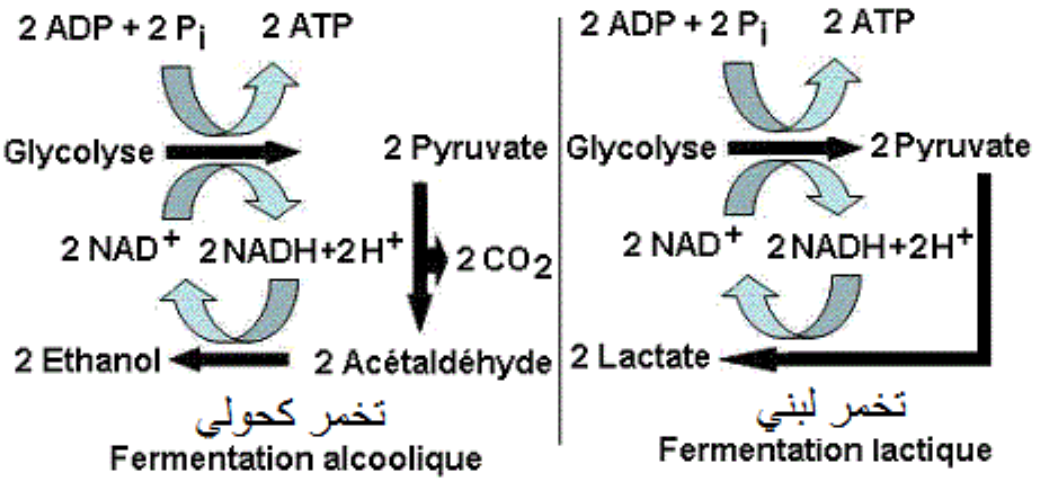
خلال عملية التحلل السكري، يتم فسفرة جزيء واحد من السكر عن طريق جزيء ATP لإنتاج جلوكوز–6–فوسفات، والذي يُعاد ترتيبه ليعطينا فركتوز–6–فوسفات. تتم فسفرة هذا الجزيء مجددًا ليصبح فركتوز–1،6– ثنائي الفوسفات. في الخطوة المقبلة، يُقسم هذا السكر لجزيئين مكونين من ثلاث ذرات كربون. تحوّلُ هذه الذرات إلى بيروفات عن طريق تفاعل الاختزال، ينتج هذا التفاعل جزيئين من الـ NADH,H و جزئتين من ATP



الشكل (23): مخطط يوضح مراحل التحلل السكري

التخمر Fermentation

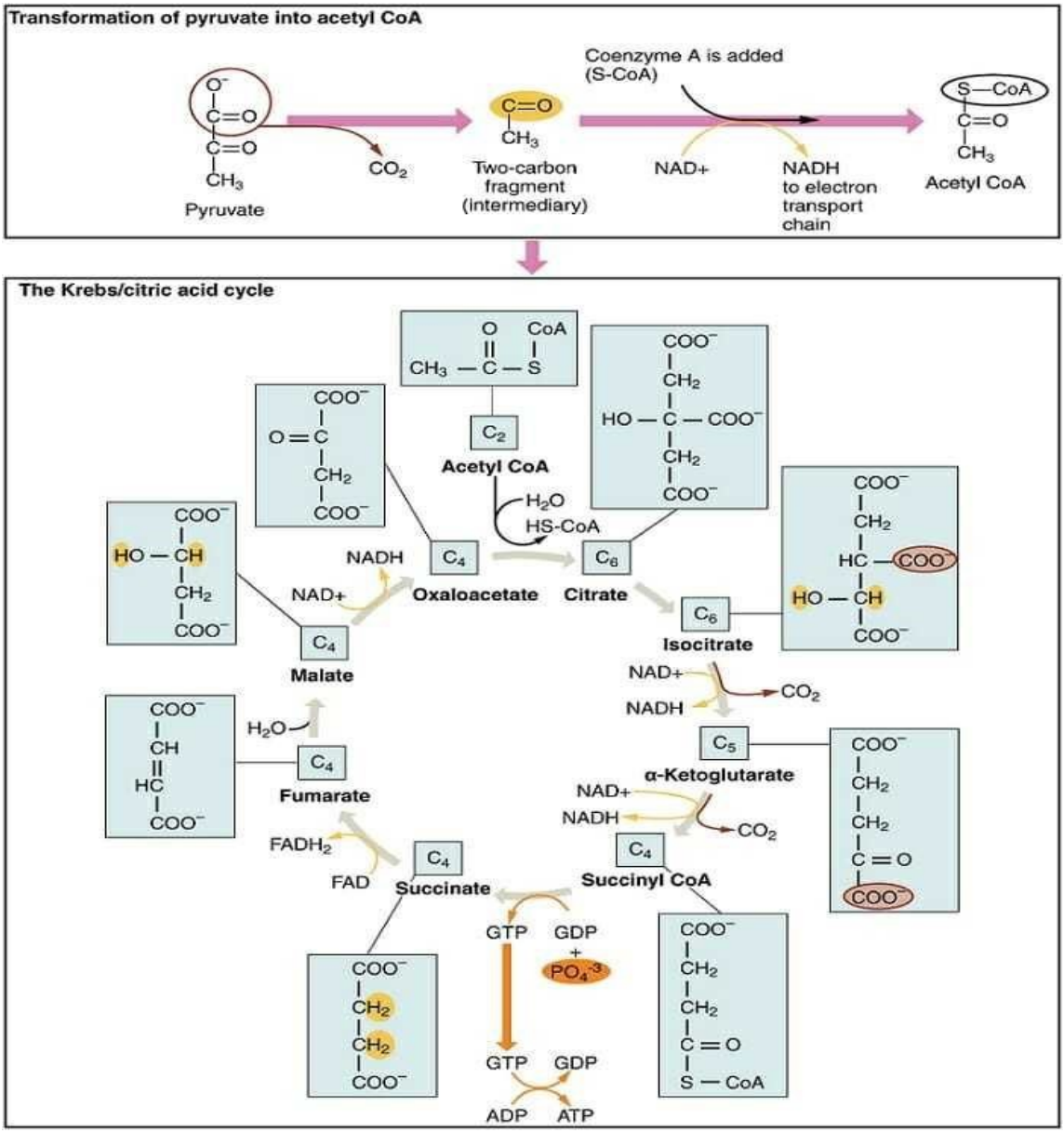
كثير من الكائنات الدقيقة كذلك بعض النباتات الراقية تستطيع هدم السكر في غياب الاكسجين و تستعمل الطاقة الناتجة منه في النمو و ابسط صور التخمر هو التخمر اللبني حيث يتحول حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك و لا يعرف هذا النوع من التخمر عند النبات الراقية لكنه منتشر في الكائنات الدقيقة، وتستطيع الكثير من انسجة النباتات الراقية القيام بعملية التخمر الكحولي و فيه يتحول حمض البيروفيك إلى استيالدهيد و يتم نزع CO2 بتأثير انزيم Carboxylase ثم يختزل الاستيالدهيد إلى كحول ايثانول في وجود انزيم Alcohol dehyrogenase ، و لا ينتج عن التخمر سوى جزيئتين من ATP



2/دورة حمض الستريك (حلقة كريبس Cycle de Kreps)

في وجود الأكسجين، يدخل مركب البايروفات الميتوكوندري ثم يُحوَل إلى أسيتيل مرافق للإنزيم أ (Acetyl Coenzyme A.) يحفّز هذا التحول عن طريق عدد من الإنزيمات، منتجًا الـ NADH و محررًا ثاني أكسيد الكربون كناتج نهائي. ثم تدخل مجموعة الأسيتيل دورة حمض الستريك عن طريق 8 خطوات محفّزة بالكامل بعدد من الإنزيمات، والتي تبدأ بمركّب الستريت وتنتهي بمركّب أوكسلات الأسيتيت.(oxaloacetate)

تحدث دورة حمض الستريك أو دورة كريبس داخل الميتوكوندري. تحول هذه العملية البايروفات إلى ثاني أكسيد الكربون عن طريق تفاعلات الأكسدة. كما تنتج هذه الدورة NADH,H ، والذي ينقل الإلكترونات الناتجة إلى المرحلة النهائية في عملية التنفس الخلوي. كما تُنتِج هذه الدورة الـATP .



الشكل (24): تفاعلات حلقة كريبس مع المرحلة التحضيرية

3/ الفسفرة التأكسدية phosphorylation oxydative

تتكون الأكسدة الفوسفورية من خطوتين اثنتين: سلسلة النقل الالكتروني الإلكترونات و عملية انتاج الطاقة حيث تعتب أكبر منتج لـ ATP في عملية التنفس الخلوي. تستخدم سلسلة تبادل الإلكترونات الناتجة في الخطوات السابقة والمحمولة عن طريق الـ NADH,H و FADH2 ، لتحول إلى جزيء ماء عن طريق دمج أيونات الهيدروجين والأكسجين. تحدث هذه العملية في الغشاء الداخلي من الميتوكوندريا.

تتكون سلسلة النقل الإلكترونات من 5 نواقل التي تنقل الإلكترونات المحررة من ال NADH.H2 و FADH2عن طريق سلسلة من تفاعلات الاختزال و صولا إلى الاكسجين.

تنتج الـ ATPعن طريق إنزيم يسمى بالـ ATP Synthase باستخدام الفوسفور غير العضوي. يستعمل هذا الإنزيم فرق التركيز الناتج عن أيونات الهيدروجين و التي تعاود الدخول للطبقة الداخلية من الغلاف لمعادلة هذا الفرق في التركيز لإنتاج الـATP

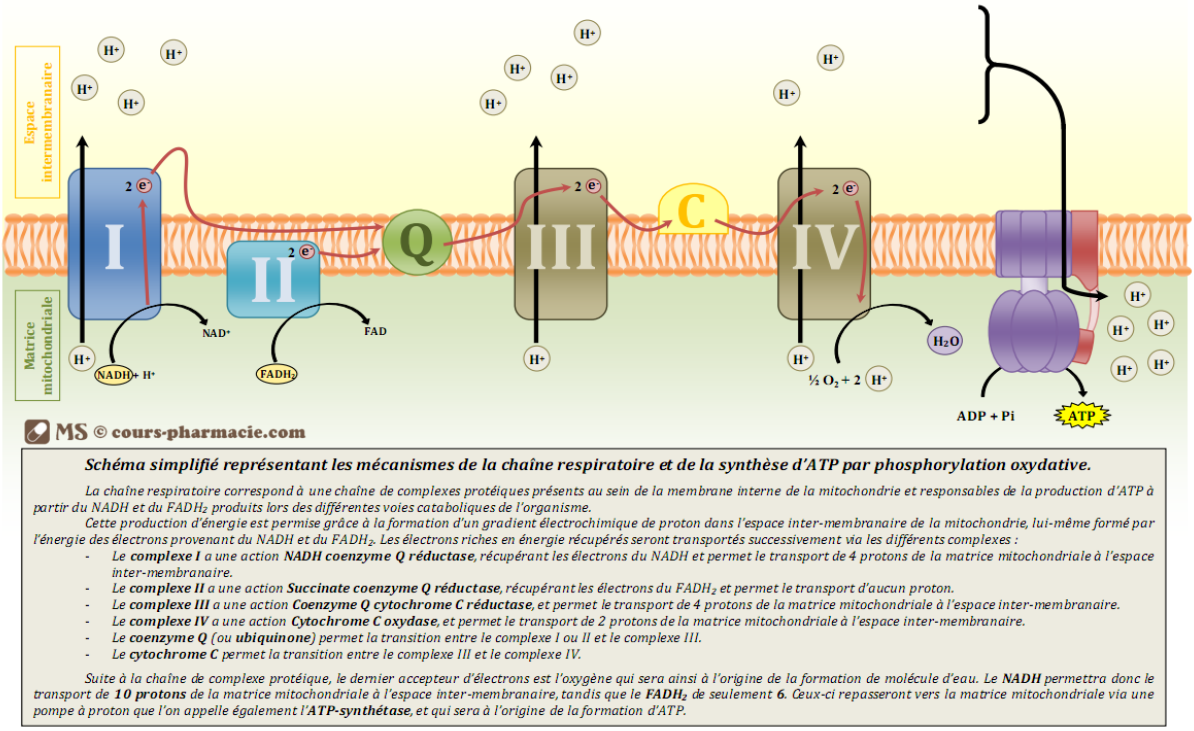


Schéma simplifié représentant les mécanismes de la chaîne respiratoire et de la synthèse d'ATP par phosphorylation oxydative.

La chaîne respiratoire correspond à une chaîne de complexes protéiques présents au sein de la membrane interne de la mitochondrie et responsables de la production d'ATP à partir du NADH et du $FADH_2$ produits lors des différentes voies cataboliques de l'organisme.

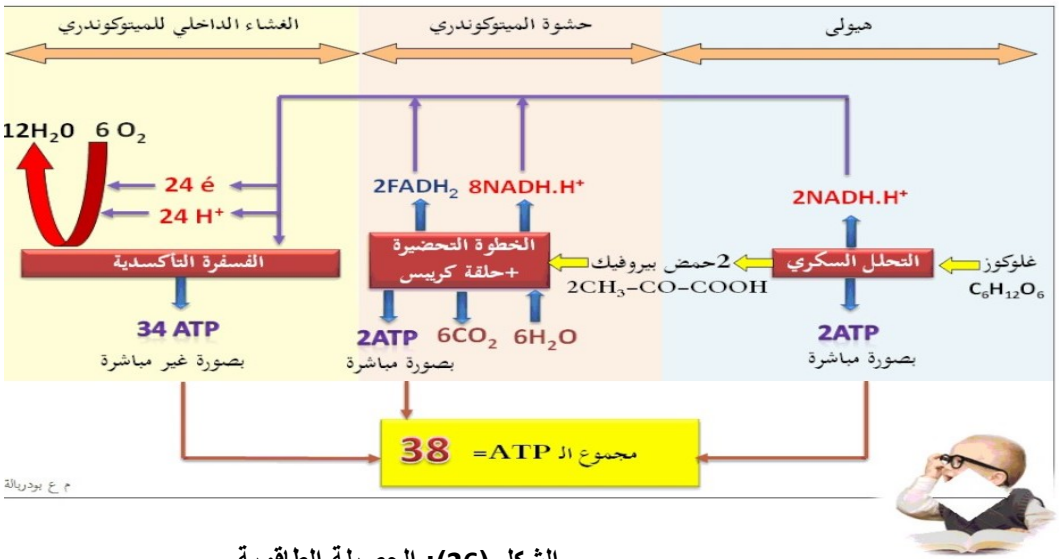
Cette production d'énergie est permise grâce à la formation d'un gradient électrochimique de proton dans l'espace inter-membranaire de la mitochondrie, lui-même formé par l'énergie des électrons provenant du NADH et du $FADH_2$. Les électrons riches en énergie récupérés seront transportés successivement via les différents complexes :

- *Le **complexe I** a une action **NADH coenzyme Q réductase**, récupérant les électrons du NADH et permet le transport de 4 protons de la matrice mitochondriale à l'espace inter-membranaire.*
- *Le **complexe II** a une action **Succinate coenzyme Q réductase**, récupérant les électrons du $FADH_2$ et permet le transport d'aucun proton.*
- *Le **complexe III** a une action **Coenzyme Q cytochrome C réductase**, et permet le transport de 4 protons de la matrice mitochondriale à l'espace inter-membranaire.*
- *Le **complexe IV** a une action **Cytochrome C oxydase**, et permet le transport de 2 protons de la matrice mitochondriale à l'espace inter-membranaire.*
- *Le **coenzyme Q** (ou **ubiquinone**) permet la transition entre le complexe I ou II et le complexe III.*
- *Le **cytochrome C** permet la transition entre le complexe III et le complexe IV.*

*Suite à la chaîne de complexe protéique, le dernier accepteur d'électrons est l'oxygène qui sera ainsi à l'origine de la formation de molécule d'eau. Le **NADH** permettra donc le transport de **10 protons** de la matrice mitochondriale à l'espace inter-membranaire, tandis que le **$FADH_2$** de seulement **6**. Ceux-ci repasseront vers la matrice mitochondriale via une pompe à proton que l'on appelle également l'**ATP-synthétase**, et qui sera à l'origine de la formation d'ATP.*

الشكل(25): الفسفرة التأكسدية

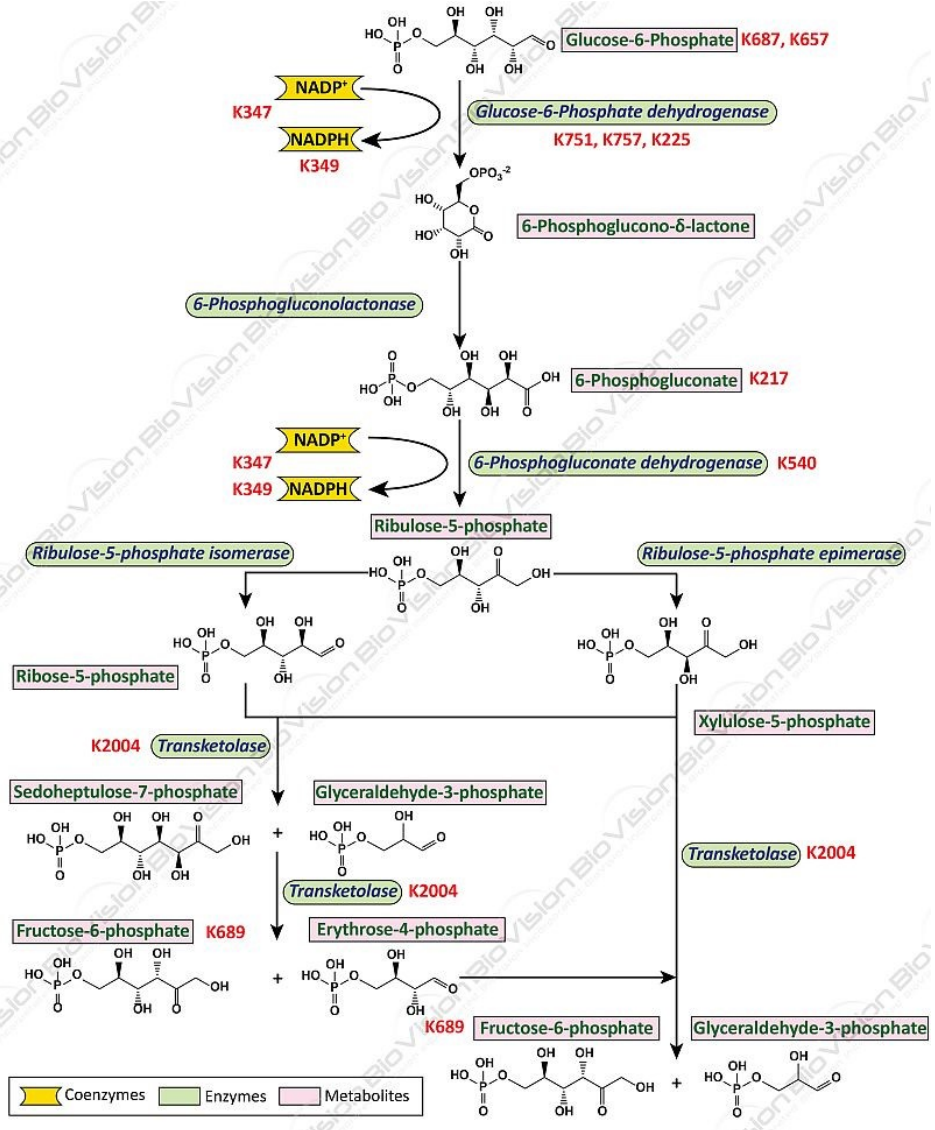
الحصيلة الطاقوية



الشكل (26): الحصيلة الطاقوية

5.3.1. الطرق البديلة للتنفس :

لوحظ ان بعض الانسجة النباتية يتم فيها التنفس رغم استعمال المعيقات أو المثبطات الخاصة بعملية الجلكزة مثل خلات الايودين و الفلورين و باستعمال المواد المشعة تم التأكد من وجود دورة اخرى لاكسدة الجلوكوز تختلف عن الجلكزة اطلق عليها دورة فوسفات البنتوز أو دورة الهكسوزات احادية الفسفرة و قد تم توضيحهما العالمان Horecher & Rack و فيها يتأكسد سكر الجلوكوز 6 فوسفات مباشرة دون عملية الجلكزة اللاهوائية بنزع ذرات الهيدروجين ليتحول لحمض الجلوكونيك الذي يتأكسد بدوره و ينفرد ثاني اكسيد الكربون لينتج سكر الريبولوز و يلاحظ أن المرافق الانزيمي NADPH يتم اكسدته بواسطة الاكسجين الجوي عن طريق الانزيمات الطرفية المعروفة بالسيتوكروم و تتم هذه الدورة جنبا إلى جنب مع الجلكزة و لكن بنسب مختلفة تبعا لنوع و عمر النسيج حيث تزداد نسبة حدوث تلك الدورة عند تقدم النسيج في العمر، و تعتبر هذه الدورة مصدرا مثاليا لانتاج الكربوهيدرات الثلاثية الرباعية و الخماسية و السداسية لاستغلالها في عمليات حيوية اخرى **(الشكل 27)**.



الشكل 27: دورة فوسفات البنتوز

6.3.1. العوامل الخارجية المؤثرة على التنفس:

1- درجة الحرارة:

إيجاد تنفس النبات أف يكوف منعدما في درجات الحرارة القريبة من الصفر حيث تكوف شدة التنفس خفيفة في درجة الصفر ثم تزداد بعد ذلك حتى تصل الى الدرجة العظمى ثم تبدأ شدة العملية باالنخفاض بشكل سريع بعد ذلك.

و قد تبين أن تأثير درجة الحرارة على عملية التنفس شبه تأثيرها على التفاعلات الكيميائية

2- نسبة O2 في الهواء:

تؤثر نسبة O2 حتى يصل إلى نسبة عظمى عندما تكوف نسبة هذا الغاز كنسبته في الجو تقريبا، كيعتبر O2 ضروري لتنفس كل النباتات

3- تأثير تركيز CO2:

تنخفض سرعة التنفس إذا زاد تركيز CO2 في الجو المحيط بالأنسجة المتنفسة بزيادة كبيرة

4- تركيز مادة التنفس

تركيز المادة الذائبة المستعملة في التنفس مثل الغلوكوز و يزداد التنفس بزيادة الاضاءة لزيادة محتواها من السكريات

5- المحتوى المائي للانسجة

يؤثر المحتوى المائي للانسجة في زيادة معدل التنفس و هذا حسب نسبته داخل النسيج و حسب حالته ان كان مرتبط او حر

6- الضوء

بينت النتائج دراسات كثيرة ان الضوء لا يؤثر كثيرا على تنفس الفطريات و النباتات عديمة اليخضور بينما يؤثر على النباتات الخضراء و هذا لتأثير بتركيب السكريات

7- اضافة مواد كيميائية معينة

بعض المواد تعتبر مثبطة لاحدى عمليات التنفس

8- العناصر المعدنية

تتطلب التفاعلات الكيميائية في التنفس وجود عناصر معدنية كمساعدات انزيمية مثل Fe، Cl، Mg ، Mn

2. التغذية المعدنية

1.2. مقدمة

تعرف التغذية Nutrition بأنها عملية إمداد النبات وامتصاصه للمغذياتNutrients اللازمة للمحافظة على حياته ونمو . ولقد شغل موضوع امتصاص العناصر المغذية ودخولها النبات اهتمام العديد من الباحثين والعلماءم وقد قدمت مجموعة من النظريات التي تفسر آلية امتصاص العناصر المغذية. ولقد كانت أغلب النظريات التي ظهرت خلال القرن التاس عشر ومطل القرن العشرين تفترض أن امتصاص العناصر المغذية يتم بآليات فيزيائية وحسب. واعتبارا من منتصف القرن العشرين تقريباً بدأ العلماء بالربط بين الامتصاص الأيوني والعمليات الاستقلابية الجارية ضمن الخلية النباتية، معتمدين في ذلك على تقنية النظائر المشعة

تتكون التربة من ثلاثة أطوار هي الطور الصلب Solid phase م والطور السائل Liquid phase م والطور الغازي Gaseous phase ، ومن المؤكد أن هناك تداخلاً واختلاطاً شديداً بين المكونات الأربعة للتربة المكونات المعدنية، المادة العضوية، ماء التربة، هواء التربة، مما يؤدي إلى حدوث العديد من التفاعلات داخل المكون الواحد وبين هذ المكونات الأمر الذي يقود إلى جملة من المتغيرات التي تنعكس في النهاية على نمو النبات سواء بطريقة مباشرةم أو غير مباشرة.

يشكل الطور الصلب و الذي يعتبر الخزان الرئيسي للعناصر المغذية من المواد المعدنية و العضوية و التي لا تتواجد بصورة منفردة و انما بصورة مركبات كيميائية بعضها معدني و البعض الاخر عضوي

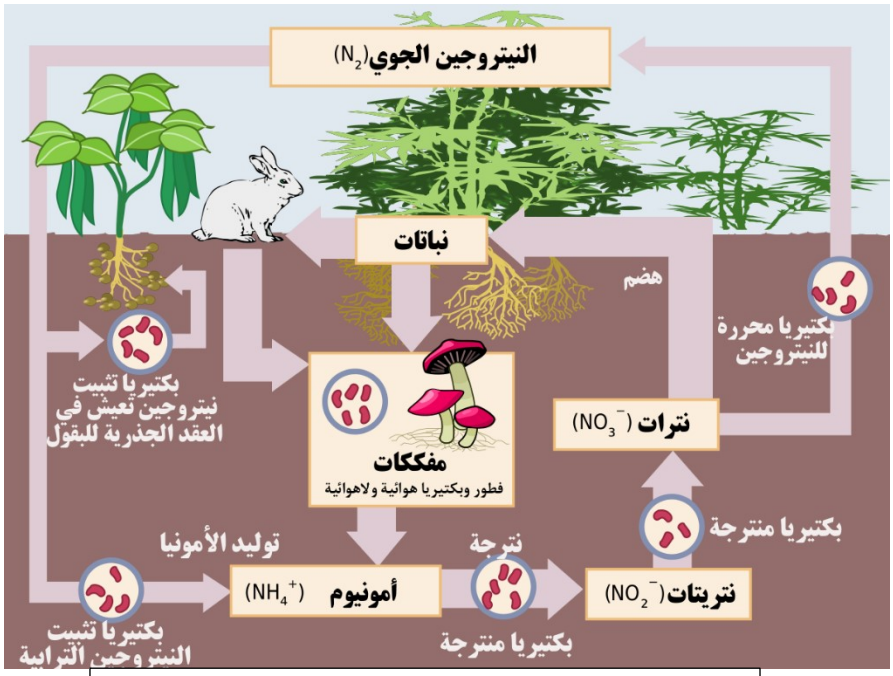
أمكن معرفة العناصر اللازمة لتغذية النبات وذلك عن طريق استخدام المزارع الرملية والمائية .ووجد أن العناصر التي ثبت أن النبات يعاني نقصاً في النمو عند غياب واحد أو أكثر منها هي: الكربون ، الهيدروجين، الأكسجين، النيتروجين ،الفوسفور البوتاسيوم ، الكبريت، الكالسيوم ،المغنسيوم ، الحديد .وتسمي بالعناصر الكبرى .هذا بالإضافة إلي بعض العناصر الأخرى الأساسية لحياة النبات ولكنه يحتاجها بكميات بسيطة جداً ومنها :البورون ، المنجنيز ،الزنك، النحاس ، الموليبيديوم، الكلور ويطلق عليها العناصر الصغرى

2.2. التغذية الأزوتية

يعد النتروجين أحد أهم وأكثر العناصر الغذائية الأساسية طلباً من قبل النباتم لكن هذا العنصر نادر الوجود في الصخور والفلزات المكونة للتربة، كما أنه يتعرض للفقد من التربة بكميات ملموسة وبطرق شتى مما يفاقم من مشكلة هذا العنصر في التربة.

2.3. دورة النتروجين

يطلق على التداخل بين الأشكال المختلفة للنتروجين في التربة والنبات والحيوان والغلاف الجوي تعبير دورة النتروجين Nitrogen Cycle



الشكل 28: دور النتروجين في الطبيعة

يصل النتروجين التربة الزارعية من خلال الأسمدة المعدنية التجارية، وبقايا ومخلفات المحاصيل والسماد العضوي، والنترات والأمونيوم المحمولة بمياه الأمطار والثلوج. إضافة إلى ذلك تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة أن تضمن النتروجين الجوي في

مركبات متاحة للنبات. مقابل ذلك تفقد التربة النتروجين نتيجة الإزاحة من قبل النباتات النامية ، وعن طريق الغسل والانجراف و بأشكال غازية مختلفة

يتحول النتروجين المضمن في مركبات عضوية إلى مركبات آمينية بسيطة $R-NH_2$ أولا م ومن ثم إلى أمونيوم NH_4^+ وأخيرً إلى نترات NO_3- و تتعرض النترات المتشكلة للإمتصاص الحيوي من قبل النبات أو الكائنات الحية الدقيقة، أو للفقد بالغسل أو التحول إلى غاز والفقد من التربة بعملية عكس النترجة Denitrification ، ويطلق على التحولات التي تقود إلى تحول النتروجين من صورة عضوية إلى صورة معدنية اسم معدنة النتروجين Nitrogen Mineralization في حين تدعى العملية التي يتحول من خلالها النتروجين من صورة معدنية إلى صورة عضوية اسم الوقف أو التسكين الحيوي للنتروجين Nitrogen Immobilization .وتجدر الإشارة إلى أن دورة النتروجين في التربة تكون مرافقة عموماً لدورة الكربون فيها.

محتوى التربة من النتروجين

يتراوح محتوى الطبقة السطحية للترب المعدنية من النتروجين بين (0,02-0,5 %) .ويتأثر محتوى التربة من النتروجين بمجموعة من العوامل أهمها: المناخ (Cl) م الغطاء النباتي (V) م الطبوغرافيا (T) مادة الأصل (P) م وعامل الزمن) (t) وتعد هذ العوامل غير مستقلة في تأثيرها بل متداخلة، وتحدد محصلة هذا التداخل محتوى التربة الزارعية من النتروجين.

يكون الجزء الأعظم من نتروجين التربة مضمناً في مركبات عضوية إذ يقدر محتوى المادة العضوية في التربة من النتروجين ب (5%) . لذلك فإن توزع النتروجين في التربة يكون عادة مترابط أو متلازم مع توزع المادة العضوية فيها.

تنحصر العوامل المؤثرة في محتوى التربة من المادة العضوية إلى الغطاء النباتي، الطوبوغرافيا، المناخ ، نسيج التربة و عمق قطاع الأرض .

3.1. صور النتروجين في التربة

الصورة العضوية

و تشكل حوالي 95-98%من محتوى التربة الكل، يوجد النتروجين في هذه الصورة على شكل مجموعة الأمين NH2- التي تدخل في تكوين الحموض الآمينية المختلفة والبروتينات وكثير من المركبات العضوية مثل الأحماض النووية والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية، المتروجين العضوي في التربة 20-40%أحماض امينية، 5-10% سكريات امينية، 5-8% أمونيا

مرتبطة بشكل غير قابل للتبادل ، الجزء المتبقي من النتروجين العضوي يكون مضمنا في مركبات عطرية مختلفة ذات اوزان جزيئية ضخمة و يعتقد أن هذا الجزء لديه دور مهم في تكوين الدبال

- **الصورة المعدنية**

و تتواجد بنسبة 5% من المحتوى الكلي للتربة ، ويمكن أن يوجد النتروجين المعدني على شكل أمونيوم $NH4+$ في محلول التربة أو مدمصا على سطح غروياتها بشكل قابل للتبادل أو مدمصا على السطوح الداخلية لبعض فلزات الطين بشكل غير قابل للتبادل، كما يوجد النتروجين المعدني في التربة على شكل أيونات النترات $NO3-$ و نتريت $NO2$ ذائبة في محلول التربة

- **الصورة الغازية**

يوجد النتروجين في الحالة الغازية في الهواء الأرضي على شكل نتروجين جزيئي$N2$ و أكاسيد نتروجينية مختلفة NO اوكسي نتريك ، $N2O$ اكسيد النتروز ، $NO2$ ثاني اكسيد النتروجين بالاضافة الى النشادر $NH3$

3. أدوار مختلف العناصر

1.3. شروط العنصر الأساسي :

يكون العنصر أساسياً في تغذية النبات في الحالات التالية:

- لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته كاملة في غياب هذا العنصر .
- لا يمكن تعويض غياب هذا العنصر بعنصر آخر .
- لابد وأن يكون له دور مباشر في التحولات الغذائية ويكون تأثره مباشر علي النبات.
- لابد وأن يكون الإحتياج لهذا العنصر واسع الإنتشار وعلي مستوي عدد كبير من النباتات والأنواع .

2.3. أهمية العناصر المعدنية للنبات:

- تلعب دوراً مهماً في الحفاظ علي الضغط الإسموزي للخلايا .
- تدخل في تركيب مكونات الخلايا .
- تلعب دورا في تنظيم درجة PH في الخلية وذلك بتفاعلها مع الأحماض الموجودة بالخلية .
- تلعب دوراً في إحداث التضاد وحماية الخلية من السمية

- تنشيط الإنزيمات مثل العناصر الصفري .
- تعمل كمصادر للطاقة .

3.2. الدور الذي تقوم به العناصر المعدنية في حياة النبات وأعراض نقصها

أولا :العناصر الكبرى

النتروجين :

- يدخل في تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات والبروتوبلازم .
- يدخل في تركيب الكلوروفيل والقلويدات والإنزيمات والأحماض النووية .
- يمتص في صورة نشادر أو أمونيا ويضاف للمحاصيل ما عدا البقوليات .
- من أهم أعراض نقصه إصفراراً الأوراق ونقص النمو وصغر حجم السوق والجذور .
- الأوراق السفلي أكثر إصفراراً من العليا في حالة نقص العنصر كما يقل معدل التنفس والبناء الضوئي.

- **الفوسفور**

- يشترك في تركيب المركبات الغنية بالطاقة .
- يدخل الفوسفور في تركيب مشتقات الدهون والبروتينات النووية ويعمل كمرافق إنزيمي لبعض الإنزيمات.
- يتواجد بنسبة عالية فى البذور والثمار .
- من العناصر المتحركة داخل النبات مثل النتروجين ولذلك يوجد بكثرة في الأنسجة المرستيمية .
- يعمل الفوسفور علي الإسراع في عملية الإزهار بينما النتروجين يؤخر الإزهار .
- من أعراض نقصه :صغر حجم النبات والأوراق والتي تأخذ لوناً قاتماً وقد يظهر اللون القرمزي علي الأعناق والعروق وقد تظهر بقع قرمزية أو بنية علي نصل الورقة وهذا اللون يرجع لتراكم صبغة الأنثوسيانين.
- غالباً يوجد في صورة غير صالحة وغير ذائبة في الأراضي المصرية حيث الوسط القلوي أما في الأراضي الحمضية فيمكن الإستفادة بالفوسفور الموجود بها

ج. البوتاسيوم :

- من العناصر المتحركة ويوجد بنسبة عالية في الأطراف النامية لكل من الجذر والساق والأوراق .
- له دور هام في بناء السكريات والنشا ورفع الضغط الإسموزي للخلايا .
- منظم لعملية فتح وغلق الثغور .
- من أهم أعراض نقصه :إحتراق حواف الأوراق وتشتد هذه الأعراض علي الأوراق السفلية .ويظهر النبات ضعيفاً وقصيراً وأوراق أشجار الفاكهة تتلون باللون الإرجواني وتحترق حوافها والأوراق المسنة مجعدة ومكرمشة.

د. الكبريت :

يدخل في تكوين البروتينات والأحماض الأمينية سستين وميثيونين وجلوتامين والمرافقات الإنزيمية أستيل كو أ.

- يدخل في تكوين السيتوكروم وفيتامين الثيامين والبيوتين .
- يدخل في تكوين المواد الطيارة مثل زيت الخردل والثيوكبريتات في البصل والثوم .
- له علاقة ببناء الكلوروفيل وتنشيط إنزيم إختزال النترات .
- أعراض نقص الكبريت مثل النتروجين إلا أنها تظهر علي الأوراق الحديثة .

هـ. الكالسيوم :

- يدخل في تركيب الصفيحة الوسطي للخلية مع المواد البكتينية .
- ضروري لعمليات الإنقسام الغير مباشر .
- يعادل التأثير السام لحمض الأوكساليك ويترسب في صورة بللورات من أوكسالات الكالسيوم .
- له دور هام في عمليات تحويل النشا إلي سكريات والعكس .
- من العناصر الغير متحركة ساكن في النبات ولذلك تبدو أعراض نقصه علي الأوراق العليا والقمة النامية.
- يتحكم في النفاذية الإختيارية للغشاء الخلوي .
- منظم لعملية التنفس وتكوين الميتوكوندريا ومنشط لإنزيمات الفوسفاتيز والكينيز .
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي ظهور أعراض التسمم بالمغنسيوم لزيادة إمتصاص النبات للعنصر الأخير.

و. المغنيسيوم :

- يدخل في تكوين الكلوروفيل .
- له دور هام في عملية البناء الضوئي وبناء الكربوهيدرات وبدونه لا تحدث عملية البناء الضوئي .
- .ينشط الإنزيمات المصاحبة لتمثيل الأحماض النوويةRNA & DNA
- وجوده ضروري لتنشيط إنزيمات كالفن وخاصة RUBP- PEP-casboxylase
- وكذلك ينشط إنزيمات البروتين Carboxylase. .
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي إصفرار النصل بينما تظل العروق خضراء .

س. الحديد:

- يعتبر الحديد عنصراً أساسي ولكن بتركيزات منخفضة .
- مهم جداً لتكوين الكلوروفيل ولو أنه لا يدخل في تركيبه .
- يدخل في تركيب إنزيمات الأكسدة) الأوكسيديزات والبيروكسيديزات (والسيتوكروم .
- من أهم أعراض نقص هذا العنصر :إصفرار الأوراق الحديثة بينما الأوراق المسنة تبدو طبيعية
- وهذا يدل علي أن الحديد من العناصر الساكنة غير المتحركة في النبات.
- تكثر أعراض نقص الحديد في الأراضي القلوية فيوجد في صورة غير صالحة للإمتصاص ويعمل

وجود النحاس والمغنسيوم علي خفض معدل إمتصاص الحديد وذلك لحدوث ظاهرة التضاد.

ثانيا :العناصر الصغرى

أ. **البورون:**

- له دور مهم في تكوين الهرمونات وأيض الدهون وهو عنصر ساكن .
- يعمل كمنظم لمعدل الإمتصاص وفقد الماء وإمتصاص النتروجين .
- له دور مهم في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية.
- نقصه يؤدي إلي تشوه الأطراف النامية وموت قواعد الأوراق .وتشقق السيقان وتصبح الأوراق قصيرة وسميكة وسهلة التكسير وتتلف الثمار ويظهر عن نقصه أيضاً ظاهرة تعفن القلب في بنجر السكر والقلب البني في اللفت وتشقق ساق الكرفس.

ب. النحاس:

- يدخل في تركيب كثير من إنزيمات الأكسدة والإختزال.
- هذا العنصر سام للنبات ولكن ظاهرة التضاد وخاصة في التركيزات المنخفضة تخفف كثيراً من حدة السمية لهذا العنصر.
- كثيراً ما استخدم كمبيد فطري وكذلك للتخلص من الطحالب في المياه الراكدة .
- نقصه يؤدي إلي إصفرار الأوراق في النجيليات وذبولها وعدم ظهور الأعراض علي الأوراق السفلي.

ج. الزنك :

- عامل مساعد في تفاعلات إنزيمات الأكسدة والإختزال .
- عامل مساعد في تفاعلات الأوكسينات .
- يلعب دوراً هاماً في تكوين الأحماض النووية والبروتينات .
- تظهر أعراض نقصه في أشجار الفاكهة حيث تتشوه الأوراق وتصبح صغيرة ورفيعة والساق قصيرة وتسقط الأزهار قبل تفتحها.

هـ .الموليبيديوم

- يلعب دوراً هاماً في تحول النترات إلي أمونيا داخل الخلية تمهيداً لعملية بناء الأحماض الأمينية والبروتينات.
- مهم في تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة بكتيريا الرايزوبيوم .
- من أعراض نقصه إحتراق الأوراق) والتي تتشابه مع أعراض نقص كل من النحاس والزنك (فتظهر بقع بنية علي الأوراق وتموت حوافها وسقوط الأزهار.

و. المنغنيز:

- عامل مساعد في تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي .
- يدخل في تركيب الإنزيمات ويعمل كمرافق إنزيمي لإتمام عمليات الأكسدة والإختزال .
- يساعد في عملية إنقسام البلاستيدات الخضراء .
- أهم أعراض نقصه إصفرار الأوراق مع بقاء العروق خضراء .

س. الكلور:

- عامل مساعد في عملية التحلل الضوئي للماء في تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي .
- أعراض نقصه تشبه إلي حد كبير أعراض نقص المنجنيز .

عناصر اخرى :

هذا بالإضافة إلي بعض العناصر الأخرى التي قد يحتاجها نبات معين فلقد وجد بعض العلماء أن:

- عنصر الصوديوم يكون أساسياً لنمو بعض الطحالب البحرية وخاصة الطحالب الخضراء المزرقة وفي النباتات الراقية يحل الصوديوم محل البوتاسيوم.
- عنصر السليكون يكون مهماً لنمو نباتات الأرز والبنجر والشعير وعباد الشمس .
- الألمونيوم يحسن نمو بعض النباتات إلا أنه معروف بسميتة أكثر من نفعه .

4. امتصاص و نقل العناصر المعدنية و دور الماء في التبادل الايوني

1.4. امتصاص و نقل العناصر المعدنية

يؤدي الماء دوراً مهماً في جميع الكائنات الحية؛ لأنه الأكثر توافراً فيها، ويوجد بكميات قد تصل إلى أكثر من 95% من الوزن الرطب للكائن، كما يسهم في غالبية الأنشطة الفيزيولوجية؛ إضافة إلى دوره الكبير في جميع الأحياء؛ إذ يعدّ الوسيلة الرئيسة التي تعمل على إذابة معظم المواد فيه، وهذا ما يحدد البنية الأساسية للسيتوبلازما (الهيولى) بنسب تتفاوت مع طبيعة الكائن الحي وبنيته.

تشمل العلاقات المائية لخلايا النبات معرفة النظم والآليات التي تتحكم بامتصاص الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه من التربة وحركته من خلية إلى أخرى؛ ومن ثم دراسة الفرضيات التي توضح طريقة نقله وصعوده انطلاقاً من الجذر فالساق فالأوراق؛ حيث التركيب الضوئي وبناء الغذاء اللازم لحياة النبات، وهذا ما يعرف في الفيزيولوجيا النباتية باسم الامتصاص والنقل في النبات

1.1.3.امتصاص الماء من التربة:

يَمتص النبات الماء والمواد المنحلة عبر أي جزء معرَّض له، لكنَّ المجموع الجذري هو المسؤول الرئيس عن الامتصاص من التربة؛ لأنه شديد التفرع؛ ويحمل الأوبار الجذرية الماصَّة التي تبدو كشعيرات رفيعة تعمل على زيادة السطح الامتصاصي وتتماسك مع جزيئات التربة **(الشكل 29)**. وما الوبرة الواحدة إلا امتداد لإحدى الخلايا الحية لبشرة الجذر التي تطاول فيها الغلاف السلولوزي

الرقيق؛ وبداخلها فجوة كبيرة تسهم على نحو أو آخر في امتصاص الماء عبر غشاء نصف نفوذ semipermeable membrane من محلول أقل تركيزاً hypotonic إلى محلول أكثر تركيزاًhypertonic ، وهذا ما يعرف بالتناضحية (الحلولية) .osmosis تتحكم النفوذية التفاضلية للغشاء البلازمي في الوبرة الماصَّة لدى امتصاص المواد الذائبة؛ والتي تكون بشكل محلول مائي، ونتيجة للامتصاص تمتلئ بشرة الجذر قبل حركة هذا المحلول عبرها إلى النسج الداخلية للجذر.

الشكل29 جذر الفتي الناتج من إنتاش البذرة وعليه العديد من الأوبار الجذرية الماصة

يعدّ الماء مذيباً جيداً؛ ووسطاً ناقلاً للأملاح المعدنية الممتصة ولنواتج التركيب الضوئي؛ ومنظماً لدرجة حرارة النبات، كما تتم فيه معظم تفاعلات الخلية. إضافة إلى ذلك تتأثر درجة امتصاص الجذر للماء بعوامل كثيرة منها: تركيز محلول التربة، ومحتواها المائي والملحي، ودرجة حرارتها وتهويتها، وغير ذلك. إضافة إلى العوامل الخارجية المحيطة بالنبات من رطوبة ورياح وضوء وعمليات نتح الماء من الجهاز الإعاشي والورقي، والتي تؤثر سلباً أو إيجاباً في امتصاص الجذور للماء. تبين أن الفطريات الجذرية أو الميكوريزا mycorrhiza في بعض النباتات المالكة لها تُمكِّن الخلايا الجذرية والأوبار الماصة من إمداد الماء والمعادن في جميع مناطق الجذر، ما يوفر مساحة واسعة لامتصاص المزيد من المحلول المائي.

2.1.3.حركة المحلول الممتص إلى الخشب

تتشرب الأغلفة الرقيقة لخلايا الأوبار الماصة الماء حتى درجة الإشباع، ومن ثم تتشربه أغلفة خلايا البشرة غير المشبعة. وهكذا يستمر دخول الماء والأملاح المعدنية إلى الخلايا البرنشيمية للقشرة cortex رقيقة الأغلفة الواحدة تلو الأخرى، وصولاً إلى الأدمة الباطنة endodermis فالمحيط الدائر pericycle فالخشب (الزيلم)xylem ، حيث يدخل الماء إلى أوعيته بقوة دافعة تنشأ من الفرق بين ضغط محلول التربة وضغط محلول الماء والأملاح المنحلة فيه (النسغ الناقص)، وهو الضغط الجذري.

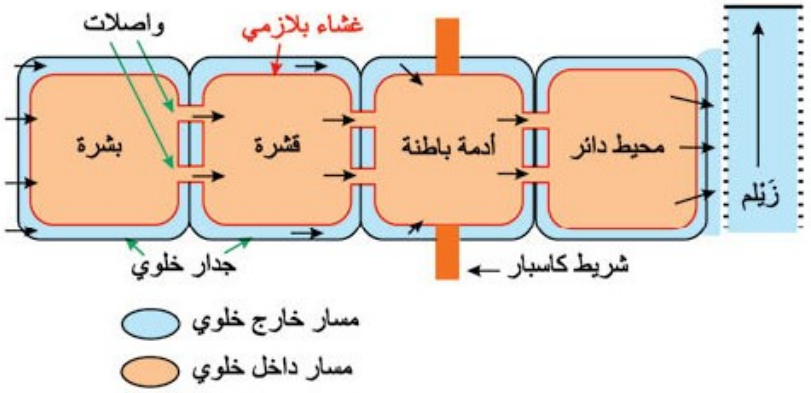
يتحقق انتقال المحلول المائي آنف الذكر بآلية حلولية بسيطة تعتمد مبدأ الامتصاص السلبي passive absorption التي تحدث نتيجة تأثير قوة فيزيائية لا تحتاج إلى طاقة خارجية. وهكذا ترتفع قيمة جهد (أو كمون) الماء water potential في التربة مقارنة بقيمة جهده في خلية الوبرة الماصة فينتقل إليها، ممّا يؤدي إلى امتلائها، فترتفع فيها قيمة ضغط الامتلاء، وهذا يعمل على ارتفاع قيمة ضغط الماء فيها مقارنة بالخلية المجاورة فيدخل الماء إليها، وبالطريقة ذاتها يستمر دخول الماء من خلية إلى أخرى في القشرة حتى يصل إلى الأدمة الباطنة.

3.1.3. مسارا الماء في خلايا الجذر:

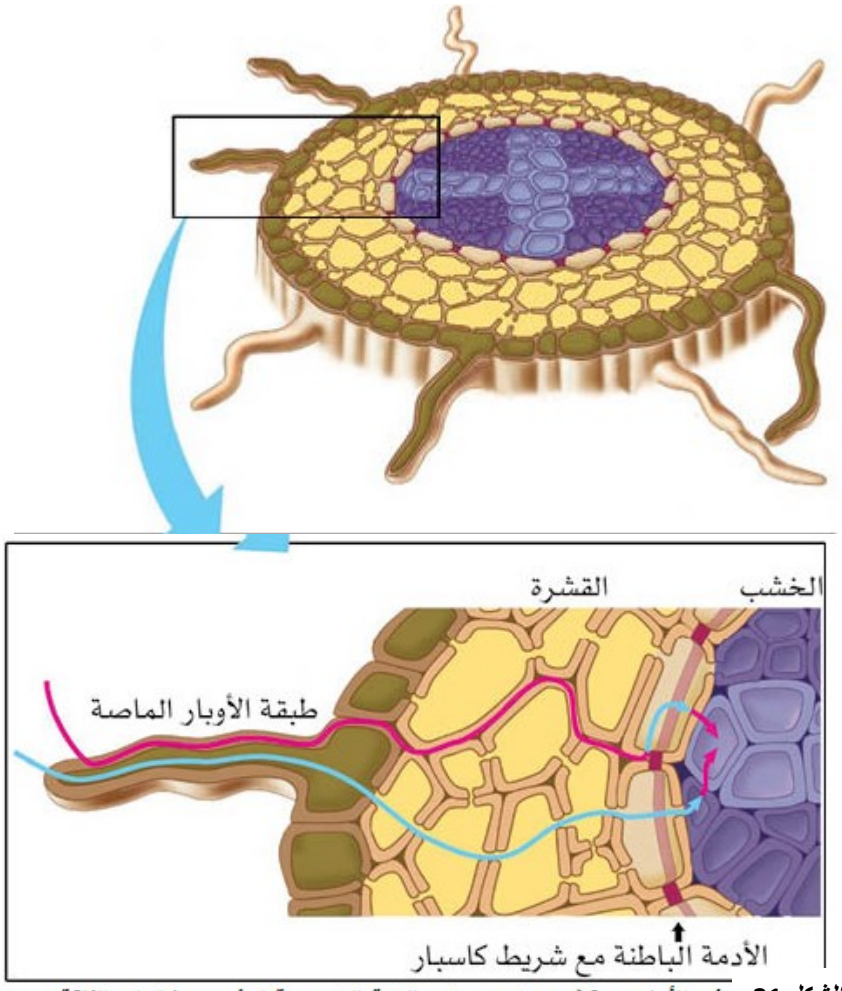
ينتقل الماء والمحلول المذاب فيه من الوبرة الماصة إلى الخشب وفق مسارين هما:

1. **مسار أو طريق خارج خلوي : extracellular route (apoplast)** ينتقل النسغ من خلال جدران الخلايا المتجاورة العائدة إلى الجذر على نحو مستمر؛ من دون الدخول عبر أي غشاء بلازمي خلوي، وذلك انطلاقاً من خلايا الوبرة الماصة؛ فخلايا البرنشيم القشري؛ وصولاً إلى المحيط الدائر؛ ما عدا شريط كاسبار Casparian strip المترسب على جدران خلايا الأدمة الباطنة، وهو حزام شمعي waxy مكون من الفلين أو السوبيرين suberin حيث يمنع مرور الماء والمعادن من خلاله، ومع ذلك فهو يعمل ممراً انتخابياً ينظم عملية المرور إلى الأوعية الخشبية، ويحد من عودة الماء بالطريق المعكوس باتجاه الأوبار الجذرية.

2 – **مسار أو طريق داخل خلوي : intracellular route (symplast)**في هذه الحالة ينتقل النسغ انتقائياً من خلية إلى أخرى عبر الخيوط السيتوبلازمية الموجودة داخل نسج الجذر، فهو نظام بروتوبلاست مترابط ومتكامل تشترك فيه الخلايا المتجاورة عن طريق هذه الخيوط، حيث ينتقل النسغ بوساطتها بصورة أبطأ نسبياً من المسار الأول (الشكلان 30، 31).



الشكل 30 شكل تخطيطي يوضح مساري حركة الماء في الجذر



الشكل 31 في الأعلى– مقطع عرضي يوضح البنية التشريحية لجذر من ثنائيات الفلقة في الأسفل . قطاع من المقطع العرضي للجذر يوضح المسارين خارج الخلوي (الأحمر) وداخل الخلوي (الأخضر) للنسغ الممتص من الوبرة وصولاً إلى الخشب.

تجدر الإشارة إلى وجود مساعد إضافي لامتصاص الماء والأملاح المعدنية لدى بعض النباتات؛ وذلك بتعايشها مع الفطريات لإعطاء فطريات جذرية، حيث تشكل شبكة حول الجذر، أو تتغلغل داخل خلاياه فتؤدي إلى إيجاد مساحة كبيرة جداً قادرة على امتصاص إيونات الأملاح المعدنية والماء من التربة بشكل يفوق الجذور العادية.

4.1.3.انتقال الماء أو صعود العصارة:

ينتقل محلول النسغ الناقص) عصارة الزيلم –(xylem sap الذي يتكون أساساً من الماء وحمض الكربون وبعض العناصر المعدنية والمغذِّيات المنحلة فيه– صاعداً بوساطة أوعية الزيلم– التي وصل إليها في أثناء الامتصاص– إلى الأجزاء العلوية للنبات وخاصة الساق والأوراق.

5.1.3.نقل النسغ الناقص إلى الأعلى:

بغمس نهاية مقطوعة لغصن نباتي يحمل زهرة بيضاء في وعاء يحوي ماء أحمر اللون، يُلاحظ تلون الزهرة بلون ماء الوعاء، وبإجراء مقطع عرضي في الغصن النباتي يبدو واضحاً وجود اللون الأحمر للماء ضمن أوعية الخشب الناقلة؛ دليل تحركه صاعداً فيها.

قد يكون من الصعب تقديم تفسير مبسط يوضح آلية حركة الماء وصعوده باتجاه الأجزاء العلوية للنبات، وفي الواقع إن ظاهرة الانتشار واختلاف التركيز بين الخلايا لا تقدم وحدها تفسيراً لانتقال الماء إلى مسافات مرتفعة وطويلة. إن هذه الظواهر تحقق نقل النسغ إلى مسافات قصيرة، فمثلاً يتحرك الجزيء الواحد عبر الخلايا النباتية الطبيعية نحو (50) مكرومتراً بمدة زمنية تستغرق نحو 5.2 ثانية؛ لذا فإن انتقال الجزيئات إلى مسافة متر واحد قد يستغرق عدة سنوات؛ وبذلك لا بد من تقديم تفسير انتقال النسغ داخل النباتات والأشجار الباسقة التي يزيد ارتفاع بعضها على 100 متر. وتشير الدراسات في هذا المجال إلى وجود عدد من الآليات المفترضة لتفسير انتقال الماء أو صعود عصارة الخشب إلى الأجزاء العلوية للنباتات، يُذكر فيما يأتي بعض منها:

1 –نظرية الضغط الجذري:root pressure

تفترض هذه النظرية أن الضغط الناشئ في الجذر– نتيجة لامتصاص الماء من التربة وتراكمه في الأوعية الخشبية– يعمل على دفعه من الأسفل باتجاه الأعلى، وبذلك يكون ضغط الماء داخل الساق موجباً، وما يؤكد وجود مثل هذا الضغط خروجُ الماء من الجزء المقطوع لساق نبات بالقرب من سطح الأرض، وهذه هي ظاهرة الإدماء bleeding التي تلاحظ لدى تقليم أشجار بعض النباتات – مثل كروم العنب– والتي يستفاد منها في قياس شدة الضغط الجذري لدى ربط مقياس المانومتر manometer بالنهاية المقطوعة للساق.

تقدم ظاهرة الإدماع gutting دعماً إضافياً لنظرية الضغط الجذري، وتتمثل بخروج قطرات مائية من أطراف أوراق بعض النباتات في الصباح الباكر؛ وبوجود جو دافئ ورطوبة ليلية عالية كما في النجيليات، فالماء الذي يواجه ضغطاً جذرياً في نباتات كهذه لن يجد سبيلاً للخروج من نسجها إلا عن طريق فتحات موجودة في أطراف الأوراق تسمى المسامات المائيةhydathode ، وعلى ما يبدو فإن الجذور تنشط بامتصاص الأملاح المعدنية ليلاً وتدفعها إلى الخشب، ويلي ذلك تحرك الماء باتجاه الأوعية الخشبية بقوة مولداً ضغطاً بداخلها، وهذا يولد قوة ضاغطة على الأوراق ينتج منها ظاهرة الإدماع.

يكون الضغط الجذري فعالاً عندما لا يتعدى التركيز الحلولي لمحلول التربة (1–2) بار (ضغط جوي)، وهذا هو مقدار الضغط الذي يُميز معظم النباتات؛ على الرغم من ارتفاع قيمته في بعضها مثل كروم العنب (6) بار، والبندورة (7) بار. ومع ذلك تشير الدراسات إلى أن الضغط الجذري غير ثابت ويرتبط بعوامل كثيرة منها:

آ . توفر الماء في التربة؛، إضافة إلى درجة حرارتها وتهويتها.

ب . عمر النبات: إذ يزداد ترسب الخشبين (الليغنين) lignin والسوبيرين (الفلين) suberin في خلايا الجذور المعمرة فيقل ضغطها الجذري؛ والعكس تماماً بالنسبة إلى الجذور الفتية.

جـ . اختلاف الزمن بحسب ساعات اليوم؛ واختلاف الشهور بحسب فصول السنة.

تتضمن قوة الضغط الجذري في دفع الماء وصعوده عدة قوى أهمها:

–قوة التشرب :imbibition تبدو جدران الأوعية الخشبية قادرة على تشرب الماء، لكونها سلولوزية التركيب، ذات طبيعة غروية.

–الخاصة الشعرية :capillarity تعني صعود الماء في الأنابيب الرفيعة من أقطار 2 –5 مم، وهذا متوافر في الأوعية الخشبية الناقلة حيث تقل أقطارها عن هذه الأرقام.

هنالك عدة عيوب لنظرية الضغط الجذري من أهمها:

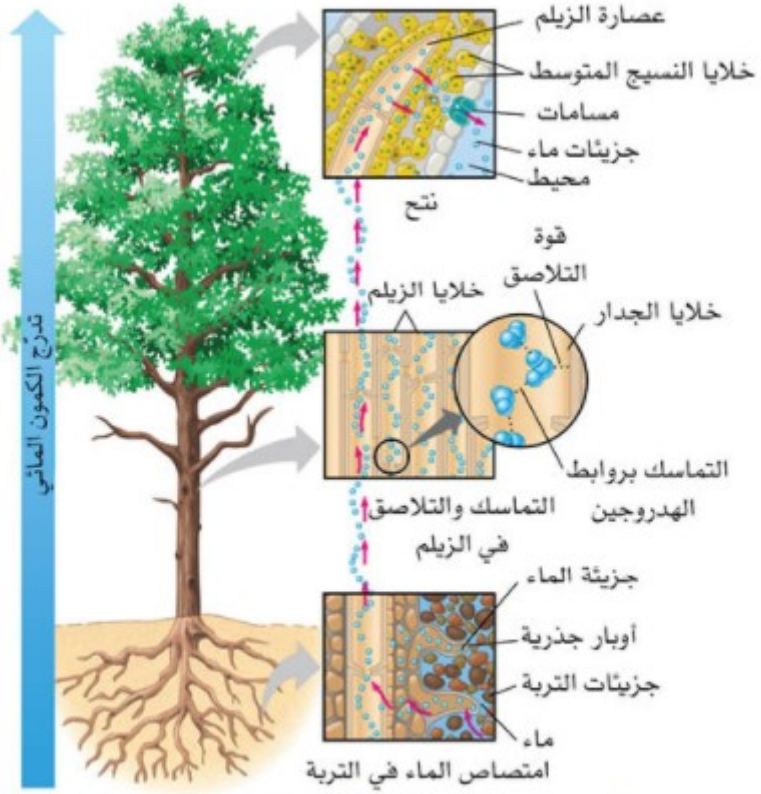
. لا يتجاوز أقصى ضغط جذري في معظم الأحوال (3) بار.

. لا يلاحظ ضغط جذري في الكثير من نباتات عاريات البذور كالصنوبر.

. يُعدّ تأثير خاصة التشرب في صعود العصارة محدوداً جداً، كما أن الماء لا يرتفع ضمن أضيق الأنابيب أكثر من 150 سم.

. تكون الفعالية القصوى للضغط الجذري (لدى النباتات متساقطة الأوراق) في فصل الربيع؛ إذ تكون الأوراق فتية وغير مكتملة النمو، في حين تتراجع هذه الفعالية بشدة في فصل الصيف عندما يكتمل نمو النبات.

مما سبق يبدو واضحاً أن لهذه النظرية الأولوية في مجال رفع العصارة لدى بعض النباتات؛ لكنها غير قادرة على تفسير صعود النسغ الناقص إلى أعالي الأشجار الباسقة.



الشكل 32 مخطط يوضح امتصاص النسغ وانتقاله في النبات ربطاً بالنظريات المطروحة

2 . نظرية التماسك والشد: cohesion – tension theory

تمثل هذه النظرية القوة المحركة الرئيسة لانتقال النسغ الناقص من الجذر إلى الأوراق، وتعتمد على ثلاث قوى مهمة وهي: قوة تماسك جزيئات الماء وارتباطها بعضها ببعض داخل الأوعية الخشبية، وقوة تلاصقها adhesion مع جدران الأوعية، وقوة الشد الناتجة من النتحtranspiration ؛ وخروج الماء بالنتح المسامي stomatal من الأوراق بصورة رئيسة (50 – 97 %)؛ أو بالنتح القشيري cuticular من البشرة (2 – 10 %)؛ أو بالنتح العديسي lenticular من العديسات في قلف الأشجار بنسبة قليلة جداً (1 %). هذه القوى الثلاث تعمل مجتمعة على شد عمود الماء وسحبه من الأعلى، ليجري من الجذر عبر الساق باتجاه الأوراق؛ مجتازاً مسافات مرتفعة قد تصل على ما يزيد على 100 م.

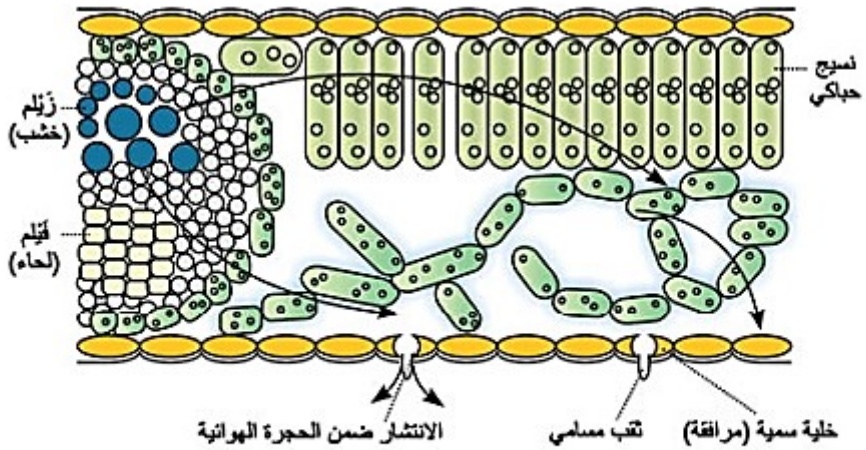
تعمل قوة التماسك على جعل عمود الماء متصلاً داخل الوعاء الخشبي، كما أن قوة التلاصق تجعله معلقاً باستمرار بجدران الوعاء؛ ومقاوماً للجاذبية الأرضية. بهذا الشكل لا يمكن لعمود الماء أن ينقطع بالفقاعات الهوائية؛ لأن تسلل الهواء إلى الأوعية– لسبب أو لآخر– سيؤدي إلى موت النبات آجلاً أو عاجلاً. والملاحظ أن أثر هاتين القوتين لن يكون مجدياً إلا في الأنابيب الشعرية التي

يكون قطرها بنحو 5 مم؛ إذ تبلغ قوة ضغطهما نحو (20) بار. وبما أن قطر الأوعية الخشبية في النبات أقل بكثير من 5 مم فإن ضغط قوتي التماسك والتلاصق ضمن أوعيته قد يزيد على (300) بار.

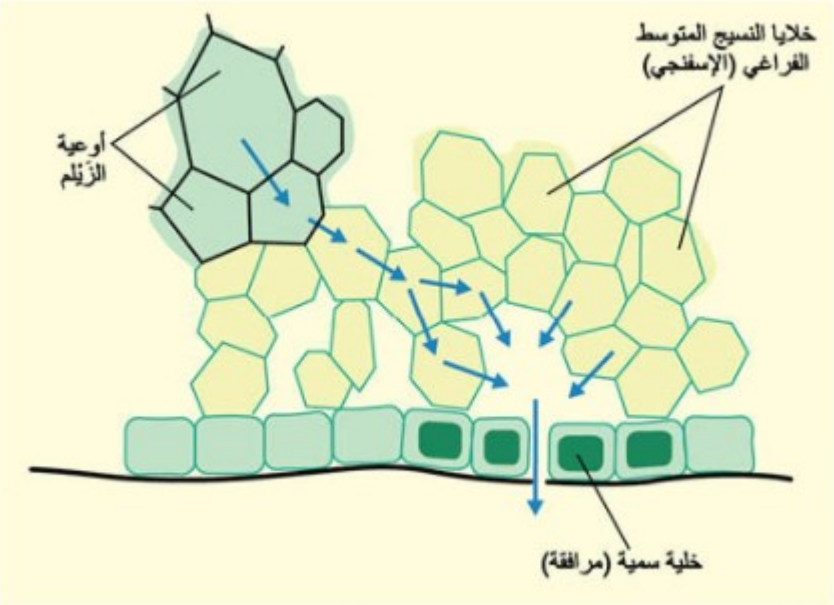
يمكن تشبيه قوة شد الماء أو سحبه بالعملية ذاتها التي يلجأ إليها الإنسان لدى تناوله السوائل من خلال «المصاص». وهكذا تعتمد قوة الشد على سحب النسغ الناقص الموجود في الأوعية الخشبية إلى أعلى الجذر والساق والأوراق بفضل النتح، لذلك تسمى الامتصاص السلبي، وهو عكس الضغط الجذري الذي يدفع الماء من الأسفل إلى الأعلى، فالامتصاص إيجابي

. النتح ودور الأوراق في سحب عصارة الخشب:

يستقر النسغ الناقص في الأوراق التي تمثل المرحلة النهائية والقوة المحركة له في النبات، وتتكون الأضلاع أو العروق الورقية من الحزم الناقلة، وأهم ما فيها أوعية الخشب واللحاء. ومع وصول الماء إلى الورقة عن طريق أوعيتها الخشبية يبدأ بالتسرب من خلال نسيجها المتوسط mesophyll (الشكل33)، فيمتلئ النسيج الفراغي الإسفنجي بالماء؛ لكونه يضم فجوات عصارية كبيرة، ثم يتحرك الماء باتجاه المسام التي تتضمن حجرات سمية واسعة، مما يقود إلى زيادة البخر بفضل الحرارة الناجمة عن أشعة الشمس (الشكل 34). ونظراً لانتشار المسامات الكثيرة –وخاصة على البشرة السفلية لأوراق ثنائيات الفلقة– تتزايد عملية النتح بمعدلات تتفاوت بحسب النوع النباتي، وتبعاً للعوامل الداخلية والخارجية المختلفة.



الشكل 33 دخول الماء إلى النسيج المتوسط في الورقة النباتية من الحزمة الناقلة فيها



الشكل 34 تبخر الماء من المسام بعد امتلاء الحجرة السمية به

يساعد النتح الورقي في بعض النباتات – كالسنط الأسترالي Australian acacia ، والسيكويا – Sequoia semipervians على إيجاد قوة سحب للماء سالبة وشديدة تعمل على تحقيق جريانه في الخشب بسرعة كبيرة قد تصل إلى (15) متراً في الساعة، ويسهم في نجاح هذه الحركة خاصتا تماسك جزيئات الماء وتلاصقها، وبالتالي يحقق صعوده فيها إلى مسافات تتجاوز 130 متراً.

تم مؤخراً تطوير منهجية تجريبية حديثة لتصوير آلية تدفق النسغ الناقص وصعوده في الأوعية الخشبية لنبات الأرز Cedrus باستخدام تقنية التصوير بأشعة X السنكروترونية synchrotron X – ray imaging technique ، وفي الواقع مكَّنت هذه التقنية من تتبع الأوعية الخشبية النباتية وتمييز الثقوب الموجودة على جدرانها؛ إضافة إلى إجراء تحليل تجريبي حول امتصاص الماء وصعود النسغ فيها؛ ولاسيما أنها تمثل عملية تدفق هدروليكي hydraulic ، وقد أظهرت الدراسة الفيزيائية الأساسية للنتح النباتي باستخدام تقنيات التصوير الضوئي المتقدمة امتصاص كميات كبيرة من الماء عن طريق عملية التركيب الضوئي photosynthesisالتي تؤدي إلى تجمع السكاكر في الأوراق؛ مما يؤدي إلى اختلال تركيز الماء فيها والمساهمة في عمليات البخر والنتح.

6.1.3.انتقال النسغ الكامل:

يتشكل النسغ الكامل– أو ما يسمى عصارة اللِحاء –phloem sap في الأوراق النباتية نتيجة لعملية التركيب الضوئي؛ وقد جمعت عينات من النسغ الكامل بوساطة حشرات المن التي تتغذى به، وتم تعرف تركيبه الكيميائي بعد إجراء عملية التحليل، فتبين أنه

يتكون بصورة رئيسة من الماء والهرمونات والسكريات والدسم وغير ذلك. وينتقل النسغ هابطاً بأوعية اللِحاء باتجاه الأسفل لتغذية الساق والجذر؛ وباتجاه الأعلى لتغذية البراعم والأزهار والثمار وغير ذلك.

تم إثبات حركة النسغ الكامل وانتقاله بالاتجاهين بتقديم جزيئة CO_2 المحتوية على الكربون المشع في نبات الفول في أثناء عملية التركيب الضوئي، وبمتابعة مسار حركة السكاكر المتشكلة في النبات والحاملة للكربون المشع تبين أنها تنتقل من أماكن صنعها في الأوراق بالاتجاهين: أعلى النبات وأسفله.

تعاني عصارة اللِحاء تبدلات مهمة على الرغم من أنها تسهم على نحو أو آخر في الحفاظ على النشاط النباتي وتغذيته لدى تحركها وانتقالها داخل الأعضاء المختلفة للنبات، ونتيجة للتبدلات تتحلل مكونات العصارة وتنفصم عناصرها؛ لتتشكل ارتباطات جديدة معطية مكونات متنوعة مثل السكاكر والنشاء والصموغ ومنتجات نباتية أخرى.

وإلى جانب وظيفة تغذية الأعضاء النباتية بمكونات العصارة تتحقق وظيفة ادخار الغذاء المنقول في اللِحاء بأشكال مختلفة منها:

-بشكل سكروز :saccahrose وهو سكر ثنائي يتم ادخاره بكثرة في درنات الشوندر السكري وقصب السكر، لذلك يسمى سكر القصب.

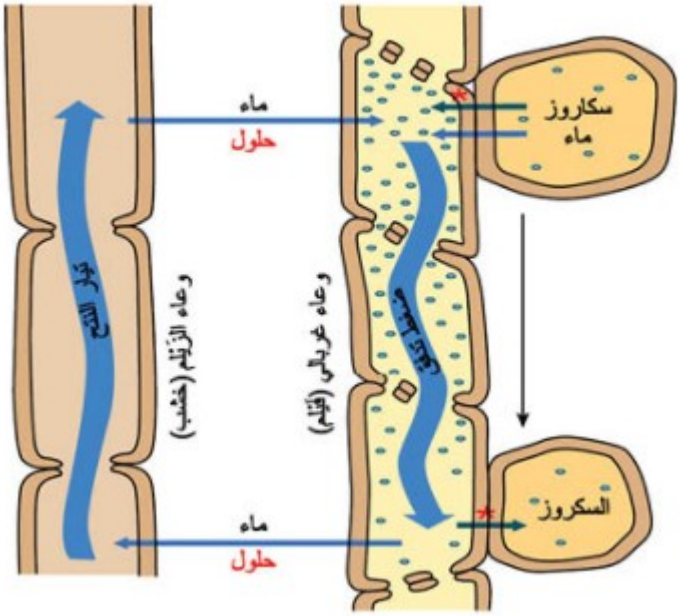
-بشكل نشاء :starch وهو عديد السكريد، يدخر في درنات البطاطا وغير ذلك.

-بشكل مركبات معقدة: كالدهونfats ، والبروتينات، والسكريات، كما في بعض البذور.

ثمة فرضيتان لتفسير آلية نقل النسغ الكامل في النبات:

1 - فرضية تدفق الكتلة الحلولية:

إن ارتفاع تركيز الغذاء المصنَّع في خلايا الورقة بسبب تراكمه فيها - مقارنة بالتركيز المنخفض لخلايا الجذر- يؤدي إلى نشوء قوة تدفع الغذاء من أوعية الورقة ونسج اللِحاء فيها إلى خلايا الجذر بسبب اختلاف الضغط الحلولي، وبالنتيجة يتولد ضغط تدفق pressure flowداخل الأوعية الغربالية sieve tubes ؛ يساعد على دفع مكونات الغذاء إلى أماكن الاستهلاك والتغذية أو الادخار(الشكل 34).



الشكل (35) مخطط فرضية الضغط التدفقي عبر أوعية الغربال في اللِحاء

2 – فرضية الدوران السيتوبلازمي:

يعرف للسيتوبلازما حركة دورانية داخل الأوعية الغربالية تحمل معها جزيئات المواد المنحلة؛ ناقلة إياها من خلية إلى أخرى عبر الصفائح الغربالية .sieve plates بهذا الأسلوب تتحرك جزيئات السكروز داخل اللِحاء حركة دائرية باتجاه حركة الهيولى، ثم تنتقل إلى الأوعية الغربالية محمولة على الخيوط السيتوبلازمية عبر الواصلات plasmodesmata المتوضعة على جدران الأوعية. وتسهم الخلايا المرافقة companion cells في اللِحاء المزودة بالأدينوزين ثلاثي الفسفات ATP في عملية النقل النشط active transportللسكريات إلى أماكن التغذية والادخار. ويرى معارضو هذه النظرية أن الحركة الدورانية السيتوبلازمية لا تلاحظ إلا في الأوعية الغربالية الناضجة ومكتملة النمو.

2.4. التبادل الأيوني The Ion Exchange –

يمثل التبادل الأيوني أحد أهم الظواهر المميزة للكثير من التفاعلات العكوسة التي تحصل في التربة، ويتم خلاله تبادل الأيونات بين الطور الصلب والطور السائل للتربة. فإذا تم التبادل بين الأيونات موجبة الشحنة سمي بالتبادل الكاتيوني ، واذا حدث بين الأيونات سالبة الشحنة سمي بالتبال الأنيوني.

❖ التبادل الكاتيونيCation Exchange – –

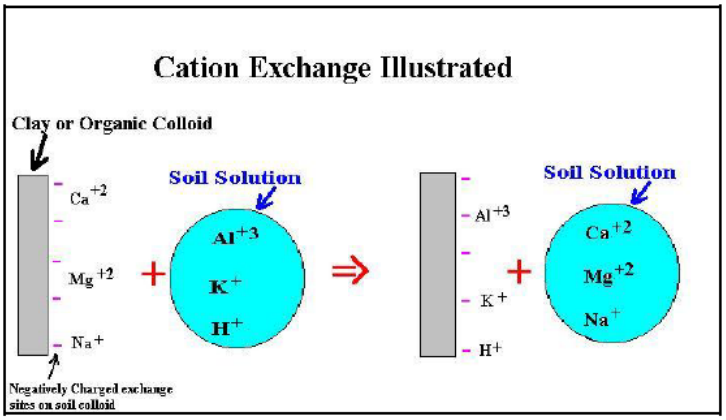
تجذب الشحنات السالبة لغرويات التربة إليها الكاتيونات المختلفة الموجودة في محلول التربة مثل: K^+ , $Al^{3,}$, ^{2+}Mg , Ca^2 بقوى جذب إلكتروستاتيكية لتصبح هذ الكاتيونات في تماس مباشر مع السطح الغروي وملازمة له وهذا ما يعرف بالادمصاص الامتزاز . Adsorption)، إلا أنه يمكن استبدال هذ الكاتيونات ت واحلال كاتيونات أخرى مكانها م المحافظة على تعادل السطوح كهربائيأً وهذا ما يعرف بالتبادل الكاتيوني . Cation Exchange ويطلق على العملية المرافقة لعملية الادمصاص والمعاكسة لها والتي تقود إلى تحرر الكاتيونات المدمصة إلى الطور السائل للتربة بالإ زاحة)الانتزاز . Desorption) ويتصف التبادل الأيوني بكونه تفاعل موزونStoichiometric reaction كونه يحد بمقادير متكافئة كيميائيأً فأيونين من البوتاسيوم مثلاً يتبادلان م أيون واحد من الكالسيوم.

$$CaR + 2K^+ \rightleftharpoons (K)_2R + Ca^{2+}$$

(الطور الصلب) (محلول التربة) (الطور الصلب) (محلول التربة)

(R) تعبر عن السطح المبادِل لغروي التربة.

كما يتصف التبادل الأيوني بكونه تفاعل عكوس فعلى الرغم من الاصطفائية التي تتمتع بها غرويات التربة تجد ان الكاتيونات الموجودة في محلول التربة وبخاصة الثنائية التكافؤ والثلاثيتهم فإنه يمكن أن تستبدل معظم هذ الكاتيونات بكاتيونات أخرى في شروط محددة من التركيز الأيوني والفعالية الأيونية والـ Ph تتباين قوة جذب السطوح الغروية سالبة الشحنة للكاتيونات تبعاً لتكافؤ الكاتيون وقطر الأيون والقطر المائي.

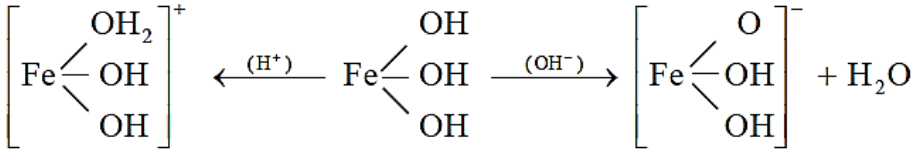


الشكل 36 : استبدال الكاتيونات المدمصة على سطوح غرويات التربة بأخرى مكافئة لها من محلول التربة

❖ التبادل الأنيونيAnion Exchange

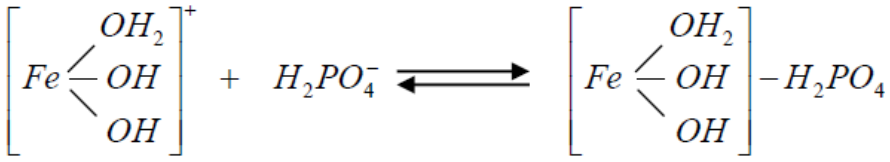
من المعروف أن الشحنة السائدة لغرويات التربة هي الشحنة السالبة في الظروف الطبيعية، ولكن هذا لا ينفي أبداً امتلاك التربة لشحنات موجبة تنشأ لبعض غرويات التربة Amphoteric nature أساساً نتيجة للطبيعة المزدوجة العضوية منها والمعدنية

كازدواجية أكاسيد الحديد والألمنيوم والمنغنيزم وازدواجية بعض فل ا زت الطين كالكاؤولينيتم كما ازدواجية بعض مكونات المواد الدبالية. فأكاسيد الحديد المائية مثلاً تكتسب شحنات موجبة في الوسط الحامضيم وشحنات سالبة في الوسط القلوي:



وينتج عن امتلاك هذ الهيدروكسيدات لشحنات سطحية موجبة من انجذاب لبعض الأنيونات من محلول التربة مثل

Cl^- , NO_3^- , $H_2PO_4^-$ و غيرها

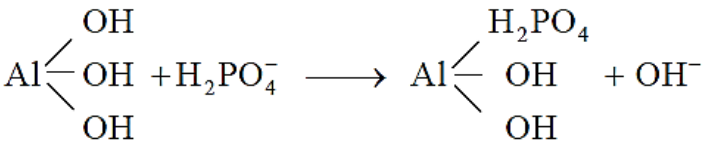


ويمكن احلال الأنيون المدمص على السطح المبادِل الغروي التربة بأنيون آخر من محلول التربة بعملية تبادل أنيوني:

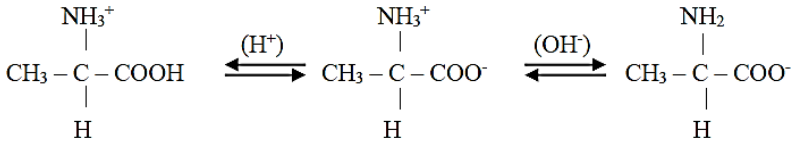
RNO_3 (الطور الصلب) + Cl^- (محلول التربة) $\rightleftharpoons$ RCl (الطور الصلب) + NO_3^- (محلول التربة)

حيث (R) تعبِّر عن السطح المُبادِل لغروي التربة.

وبالإضافة إلى ما سب م يمكن للغرويات المعدنية أن تدمص الأنيونات عن طري إحلالها مكان مجموعة هيدروكسيل أو أكثر سطحية:



ويتيح امتلاك بعض المواد العضوية الأمفوتيرية كبعض الأحماض الآمينية لمجموعات كربوكسيلية وأمينية المقدرة على التواجد على شكل كاتيون أو أنيون أو على شكل أيوني مزدوجZwitterion وذلك تبعاً pH التربة. إذ تكتسب شحنة سطحية موجبة في الوسط الحامضي وسالبة في الوسط القلوي:



و يعتقد أن الفوسفات من أكثر الأنيونات ميلاً للادمصاص على السطوح الغروية موجبة الشحنة في التربة، وأن النترات والكلور من أضعفها ادمصاصاً على هذ السطوح.

ويمكن وضع الأنيونات السائدة في التربة من حيث شدة ادمصاصها على سطوح الغرويات موجبة الشحنة في التربة وفقا الترتيب التالي:

$$HPO_4^{2-} > MoO_4^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$$

ويطلق على كمية الأنيونات المدمصة المتبادلة(مقدرة بالميلي مكاف في غرام تربة جافة 100 تعبير سعة التبادل الأنيوني Anion Exchange Capacityويرمز لها اختصارا .(AEC)

قائمة المراجع

1. دياب ابوخرمة. الفيزيولوجيا النباتية . **1991**. ديوان المطبعات الجامعية بن عكنون الجزائر
2. حشمت سليمان,، أحمد الدسوقي. أساسيات فسيولوجيا النبات. **2008**. مكتبة جزيرة الورد . القاهرة
3. مصطفى حداد.، محمد عامر. التشكل النباتي . **1998**. ديوان المطبوعات الجامعية. الجزائر
4. فؤاد رزاق البركي. تربية و تحسين النبات . **2020**. مطبعة الناشر النجف الأسود العراق
5. محمود عودة.، سمير شمشم . خصوبة التربة و تغذية النبات.**2011**. منشورات جامعة البعث ، مديرية الكتب و المطبوعات الجامعية
6. عبد العظيم كاضم محمذ.، مؤيد أحمد يونس. أساسيات فسيولوجيات النبات. **1991**. المطبوعات الجامعية بغداد
7. عماد الدين وصلي. منظمات النمو و الازهار و استخداماتها في الزراعة . **1995**. المكتبة الاكاديمية الناشر الطبعة الأولى
8. حسين السعيد.، اسماعيل ندى. **1955**. فسيولولجيا النبات. مكتبة انجلو المصرية القاهرة
9. بسام طه ياسين. فسيولوجيا النبات. **2001**. دار الكتب القطرية ، الدوحة قطر
10. عبد المنعم محمد الأعسر. أسس الكيمياء الحيوية .**2011**. المجلد الأول المكتبة الاكاديمية الناشر

11. Jean Francois Morot-Gaudry et Roger Prat . Biologie Végétale: Croissance et Développement. **2012**.2 é édition, Dunod ParisPublisher
12. William G. Hopkins. Physiologie végétale. **2003**. De Boeck Supérieur
13. Paul Mazliak.**2001**. Physiologie végétale – cour et T.P.
14. Jean-François Morot-Gaudry. Assimilation de l'azote chez les plantes. **1997**. Aspects physiologique, biochimique et moléculaire. INRA Paris
15. Per Lea, Richard C. Leegood .**1999**. Plant Biochemistry and Molecular Biology, 2nd Edition.wiley .ISBN: 978-0-471-97683-7 /384 Pages