الجمهورية الجزائرية الديمووقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة 1 الإخوة منتوري

كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم بيولوجيا النبات و البيئة

محضرات في فيزيولوجيا النبات المعمقة

advanced plant physiology course

Master 1

Coefficients : 3

Crédits : 7

Pr Chougui Saida

2019-2020

Summary

Chapter 1 : soilless culture -

Chapter 2 : water nutrition

Chapiter 3 : mineral nutrition

Chapter 4 : nitrogen nutrition

Chapter 5 : carbon nutrition

Chapter 6 : the comparison between carbon nutrition in plants C3, C4, CAM

Chapter 1

الزراعه بدون تربةsoilless culture

تعريف

يُعنى بالزراعه بدون تربه soilless culture انتاج النباتات باى طريقه غير زراعتها فى التربه الزراعيه، علما بان مفهوم التربه الزراعيه يتضمن الاراضى المعدنيه التى بها نسبه ولو قليله من السلت او الطين و الارض العضويه ايا كانت نسبه الدبال بها.

وعلى ذلك فإن الزراعه بدون تربه تتضمن الانتاج فى كافة اوساط الزراعه التى لا تكون التربه إحدى مكوناتها، ويدخل ضمن ذلك مزارع الرمل الخالص والحصى والبيت و الفيرميكيوليت و البرليت والمخاليط وجميع اوساط الزراعه الصلبه الاخرى كبالات القش والصوف الصخرى وغيرها (Raviv and Lieth, 2008). وكذلك المزارع التى لا يوجد فيها وسط صلب لنمو الجذور و المسماه بالمزارع المائيه Hydroponics وجميع هذه المزارع تسقى دائما بالمحاليل المغذيه المجهزه صناعيا.

والجدير بالذكر ايضا ان مفهوم المزارع المائيه يمكن ان يتسع ليشمل ايضا المزارع الهوائيه Aeroponics حيث تبقى الجذور عالقه فى الهواء فى حيز مغلق ويرش المحلول المغذى على جذورها باستمرار وكلمة الزراعه المائيه Hydroponics أشتقت بواسطة العالم (Gericke,1936) وذلك من كلمة (Hydro) ويعنى الماء ، وكلمة (ponos) ويعنى عمل أى "عمل الماء".

مزايا الزراعه بدون تربه:

1 - الكفاءه العاليه فى استخدام المياه

2 - الكفاءه العاليه فى استخدام الاسمده

3 - الكفاءه العاليه لإنتاجيه هذه النظم لإمكانيه عمل تكثيف رأسى فى بعض هذه النظم فيؤدى ذلك الى رفع الإنتاجيه

4 – تستخدم لحل مشاكل التربه مثل ارتفاع مستوى الماء الارضى وإنتشار الأمراض والآفات

5 - عدم اللجوء لعملية التعقيم ومما يوفر نفقات إعداد وتجهيز التربه

6 - الكفاءه العاليه لهذه النظم فى انتاج المحاصيل فى اوقات ارتفاع أسعارها

7 - انتاج محاصيل خاليه من العناصر الثقيله

8 - إمكانيه الاستفاده منها فى المجال البحثى خاصة فى تجارب التغذيه ووظائف الجذور

9 - إستخدامها فى إكثار النباتات حيث تعتبر مزارع الانسجه طريقة إكثار بواسطة البيئات المغذيه.

10- منتجات الزراعه بدون تربه لها الرياده فى كثير من الصفات عن منتجات الحقل المكشوف

11 - بالزراعه المائيه فإنه لاحاجه لعمل دوره زراعيه

12 - الزراعه المائيه تعتبر حل جيد لتوفير الطعام الطازج لمحطات الفضاء

عيوب الزراعه بدون تربه:

1 - ضرورة توفير كافة مستلزمات النمو قبل الزراعه لضمان الحصول على إنتاج جيد.

2 - فى هذه النظم تتغير الـ pH بسرعه كبيره عن الزراعات التقليديه وذلك نتيجه امتصاص الجذور للعناصر المختلفه.

3 - يؤدى خلل فى النظام الى عواقب وخيمه لان كل شئ يتم بصوره آليه غالباً.

4 - عدم وجود اى كائنات دقيقه مضاده ومنافسه للكائنات الدقيقه المرضيه مثلما يوجد فى التربه العاديه.

5 - يمكن ان تتلوث المزارع المائيه المغلقه بسهوله بالكائنات المرضيه(Van Os,1999).

6 - التكلفه المرتفعه نسبيا للانتاج بهذه الطريقه (Johnson,1979).

أقسام الزراعه بدون تربه:

وتقسم المزارع بدون تربه على حسب عدد مرات استخدام المحلول المغذى الى:-

النظم المفتوحه: open systems

النظم المغلقه: closed systems

كما تقسم الزراعه بدون تربه بطريقه اخرى الى الاقسام الثلاثه الآتيه:-

الزراعه باستخدام البيئات substrate culture

الزراعه المائيه Hydroponic

الزراعه الهوائيه Aeroponic

1- الزراعه باستخدام البيئات substrate culture

بدا استخدام الاوساط الزراعية المختلفة غير التربة منذ عهد قديم لتربية الاشتال ثم ازدادت اهمية الاوساط الزراعية مع تطور البيوت الزجاجية ومع تطور الزراعة بدون تربة ازدادت انواع الاوساط الزراعية المستخدمة وبدأت عليها الدراسات والابحاث المختلفة ونشات لها شركات ومصانع خاصة

الخصائص العامة للأوساط الزراعية

- **خالية من الاصابات المرضية وبذور الاعشاب**
- **لها قابلية الاحتفاظ بالماء**
- **جيدة الصرف والتهوية**
- **خالية من الاملاح الضارة**
- **سهلة التداول والتناول**
- **متوفرة بسعر معقول**
- **خفيفة الوزن**
- **قابلية الخلط**
- **قابلة للتعقيم**

انواع البيئات التى يمكن استخدامها فى الزراعه بدون تربه:-

- **البيئات العضويه** : (البيتموس، قشور الارز، ألياف جوز الهند، قلف الاشجار، نشارة الخشب)

1- **معدنية محولة :** الصوف الصخرى، كرات البولسترين ، الخفـاف

معدنية نقية: ا لرمـل ، البرلـيت ، الفيرموكيوليت

أولاً: البيئات العضوية

*** البيت موس**

يعتبر البيت موس من أكثر البيئات شيوعاً و يستخدم بصورة كبيرة على مستوى العالم.وهو عبارة عن مادة عضوية متحللة توجد فى المناطق الرطبة من العالم على مساحات كبيرة تعرف بمناجم البيت موس . و قد يستخدم بصورة مفردة كما هو أو يخلط ببعض البيئات الأخرى مثل الفيرموكيوليت أو البرليت أو الرمل .

ومن مواصفات البيت الموس التالى

- ❖ قدرته الكبيرة على إمتصاص الماء تبلغ تقريباً 8 أمثال وزنه بعد التشبع و صرف الماء الزائد
- ❖ يتميز بإنخفاض درجة الحموضة له .
- ❖ نسبه المادة العضوية به مرتفعة حوالى (94 - 99 %).
- ❖ يعتبر البيت موس عالى المسامية (95-98 %)

* قشور حبوب الأرز

و هى عبارة عن قشور حبوب الأرز .

ومن مواصفات البيت الموس التالى

- ❖ خفيفة الوزن جداً .
- ❖ توفر التهوية اللازمة لنمو جذور النباتات المختلفة فعند خلطها مع بيئة سيئة التهوية تقوم بتحسين التهوية و الصرف لها.

* ألياف جوز الهند

ألياف جوز الهند من البيئات التى دخلت حديثاً كأحد أوساط الزراعة بدون تربة وهى تستخرج من قشور ثمار جوز الهند .

ومن مواصفات البيت الموس التالى

- ❖ **إمكانية استخدامها لأكثر من عام دون حدوث أى تغير فى صفاتها الطبيعية .**

- **بطيئة التحلل فلا تهدم سريعاً .**
- **لها القدرة على الاحتفاظ بالماء .**
- **لها القدرة على توفير التهوية الجيدة في البيئة**

2 - البيئات الغير عضوية

- **معدنية محولة :**

الصوف الصخري

عبارة عن ألياف مصنوعة من المعادن الطبيعية أو الاصطناعية. يستعمل الصوف الصخري بكفائة عالية في تطبيقات العزل الحراري والعزل الصوتي ومنع انتشار الحريق حيث يوفر جميع هذه المزايا في وقت واحد وذلك لتميزه بمعامل توصيل حراري منخفض جداً ولقدرته العالية على امتصاص الموجات الصوتية الساقطة عليها يمكن استخدام الصوف الصخري الغير عازل بإعتباره وسيلة متزايدة على الزراعة المائية والبستنة . ألياف الصوف الصخري تسمح بمرور الهواء الكافي لنمو الجذور ولدعم الهياكل الأساسية.

معدنية نقية

***الفيرميكيولايت**

هو عناصر الميكا المسخنة لدرجة 745 درجووة سيليسوويوس .و هي جزيئات صفائحية لها قدرة عالية لإمتصاص تساعد على التهوية و التصريف في نفس الوقت و لها قدرة عالية لتبادل العناصر و تزويد الوسط الزراعي بالبوتاسيوم و المغنيسيوم

*** البرليت**

هو عبارة عن حجر بركاني منشأه اللافا البركانية . يتدرج لونه من الرمادي إلى الأبيض و يتركب من سليكات الألومنيوم و صوديوم وبوتاسيوم ويتم طحنه وتسخينه على درجة حرارة مرتفعة من 900 - 1000 درجة مئوية حيث يحدث له إنتفاخ نتيجة خروج الهواء الساخن منه وتتكون به فجوات هوائية حيث يحدث له نتيجة لذلك تمدد واتساع الحبيبات وانتفاخها بصورة كبيرة

ومن مواصفات البرليت التالى :

- مادة ثابتة التركيب من الناحية الفيزيائية ، و ليس لها القدرة على التبادل الكاتيونى .

- ❖ مادة خفيفة الوزن .
- ❖ سهولة الصرف مع الاحتفاظ بالماء بصورة جيدة
- ❖ التهوية مرتفعة بالبيئة .
- ❖ حبيبات البيرليت تتميز بوجود الخاصية الشعرية مما يسهل من استخدامها كبيئة تروى بطريقة الري تحت السطحي

خلطــات البيئــات

ويمكن إستخدام البيئات السابقة بصورة مفردة كبيئة زراعية أو يمكن أن يتم خلط أكثر من بيئة معاً ، و ذلك للوصول إلى أفضل مواصفات للبيئة تلائم نمو النبات المراد زراعته . فنجد أن لمواصفات البيئة المراد زراعتها أثر كبير على نجاح عملية الزراعة ، فهذه الخواص هى التى تحدد التوازن ما بين الماء اللازم لنمو النباتات و الهواء اللازم لتنفس الجذور. حيث يجب توافر الفراغات الصغيرة التى تعمل على الإحتفاظ بالماء الضرورى لحياة النبات والفراغات الكبيرة التى تعمل على توفير الهواء اللازم لنمو النباتات . كذلك تحدد مقدرة البيئة على إدمصاص العناصر الغذائية على حبيباتها ومن أهم هذه الصفات التى يجب تقديرها

- وزن البيئة .
- قدرة البيئة على مسك الماء .
- درجة حموضة البيئة .
- تركيز الأملاح فى البيئة .
- الكثافة الظاهرية للبيئة.
- السعة التبادلية الكاتيونية للبيئة .
- درجة ثبات البيئة .

ومن هنا تظهر أهمية خلط أكثر من بيئة مع بعضها بهدف الوصول للمواصفات المطلوبة و قد تم إختبار عدد من الخلطات و التى أظهرت نتائج جيدة و من هذه الخلطات ما يلى :-

البيئات التى تدخل فى عمل خليط البيئة	نسبة الخلط
البيت موس : قشور الأرز : الرمل	2 : 1 : 1
البيت موس : البرليت	1 : 1
البيت موس : الرمل	1 : 3
البيت موس : الرمل	2 : 1
البيت موس : الفيرموكيوليت	1 : 3
البيت موس : قشور الارز	3 : 1

تغذية النباتات فى نظم الزراعه بدون تربه :

تعتمد تغذية النباتات فى الزراعه بدون تربه على المحاليل المغذيه والتى يجب ان يتوافر بها كل العناصر الغذائيه التى يحتاجها النبات وذلك بكميات مناسبه ومتوازنه مع بعضها البعض مع تناسب تركيز كل عنصر فى المحلول بالنسبه للنباتات المختلفه علاوه على تناسب تركيز المحلول نفسه ودرجة حموضة المحلول بحيث تناسب نوع النبات المزروع

أولا : المحلول المغذي للزراعة بدون تربة

- ❖ هو المحلول الذى يحتوى على جميع العناصر الغذائيه الضروريه اللازمه لنمو النباتات و بنسب متوازنه مع بعضها البعض والذى يستخدم فى امداد النبات بحاجته من الماء والعناصر الغذائيه طوال فترة حياته
- ❖ لا يوجد محلول مغذى مثالى لكل النباتات او حتى بالنسبه للنبات الواحد
- ❖ وتقترب اغلب المحاليل المغذيه فى تركيبها من محلول هوجلاند.

الشروط الواجب توافرها لعمل محلول مغذى

- قليل الملوحه لايزيد الـ Ec عن 0.7 ملليموز/ سم.
- ألا تزيد نسبة كلوريد الصوديوم به عن 50 جزء فى المليون
- عدم عسر الماء

التركيز الكلى للاملاح بالمحلول المغذى :-

- مصادر الاملاح فى المحاليل المغذيه هى : الاسمده المذابه والاملاح الماء المستعمل
- يجب ألا يزيد التركيز الكلى للاملاح فى اغلب الاحوال عن 0.7 ضغط جوى.
- يختلف تركيز المحلول تبعا لدرجة الحرارة السائدة

التوازن الايونى بين العناصر الغذائيه فى المحلول المغذى

- مجموع نسب الأنيونات (النترات والفوسفات والكبريتات) = مجموع نسب الكاتيونات (البوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم) و هى الانيونات و الكاتيونات السته الرئيسيه فى المحلول المغذى

العوامل المؤثره على اختيار التركيز المناسب للعناصر فى المحلول المغذى:-

1- الحراره وشدة الإضاءه :-

يمكن زيادة تركيز المحلول المغذى من 2-4 اضعاف فى الحرارة و الإضاءه المنخفضه. بينما يجب ان تكون التركيزات فى حدودها الموصى بها او نصفها فى الإضاءه القويه وذلك نظراً لزيادة النتح.

2- نوع المزرعه المائيه:-

حيث تتوقف التركيزات المناسبه لمعظم العناصر على نوع المزرعه المستخدمه

3- نوع المحصول :-

فى المحاصيل الورقيه كالخس يزداد تركيز النيتروجين وذلك عن المحاصيل الثمريه مثل الطماطم والخيار

4- مرحلة النمو:-

حيث تجهز المحاليل على حسب المرحله من نمو النبات ويكون الاختلاف بين هذه المحاليل فى تركيز العناصر السته الكبرى فقط.

المدى المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية

العنصر	المدى المناسب لتركيز العنصر(جزء فى المليون)
النيتروجين	300-150
الفوسفور	100-50
البوتاسيوم	400-100
الكالسيوم	500-300
الماغنسيوم	100-50
الكبريت	1000-200
الصوديوم	1000-150
الحديد	10-2
البورون	5-0.5
المنجنيز	5-0.5
الزنك	1-0.5
النحاس	0.5-0.1
الموليبدنم	0.002-0.001

أضرار نقص او زيادة تركيز العناصر بالمحلول المغذى:

1- **أعراض نقص بعض العناصر فى المزارع اللاأضيه**

- ظهور تشققات دائريه على جلد ثمار الطماطم عند الاكتاف وقد تكون هذه التشققات طوليه فى ثمار الفلفل وذلك نتيجة نقص عنصر البورون
- انشقاق ثمار الطماطم الناضجه فى الجو الحار بسبب نقص النحاس عن 0.5 جزء فى المليون.

2 - عراض زياده تركيز بعض العناصر فى المحلول المغذى

- تؤدى زيادة النيتروجين النتراتى فى المراحل الاولى من نمو الطماطم الى وقف امتصاص عنصر البورون وموت القمه الناميه وقصر السيقان وتضخم الأزهار مع قلة او إنعدام تكون حبوب اللقاح
- زيادة تركيز النحاس لأكثر من واحد ppm يؤدى الى اصفرار ما بين عروق الاوراق مع تلون باقى انسجة الورقه باللون الاخضر الفاتح.
- يؤثر البوتاسيوم والكالسيوم على بعضهما البعض ، حيث تؤدى زيادة الكالسيوم الى ظهور اعراض نقص البوتاسيوم والعكس
- زيادة الحديد تؤدى الى تلف الجذور و تقلل امتصاص المنجنيز وتعمل على ترسيب الفوسفور وعدم قدرة النبات على امتصاصه
- زيادة تركيز البورون عن 2 ppm يؤدى الى ظهور مناطق شفافه بانسجة الورقه تتحول الى اللون البنى
- تؤدى زيادة عنصر الفوسفور الى ترسيب الحديد وظهور اعراض نقصه

كيفية علاج حالات زياده تركيز الاملاح

- خفض التركيز
- تحضير محلول جديد
- غسل بيئة نمو الجذور بالماء العادى لعدة ايام
- تعالج زيادة تركيز البورون بإضافة سيليكات الصوديوم الى الماء المستخدم فى غسل بيئة نمو الجذور بمعدل 12جم / 450 لتر ماء.

❖ تعالج زيادة تركيز عناصر الحديد والمنجنيز والزنك بمعاملة بيئة نمو الجذور بمحلول 10% حامض كبريتيك لمدة 24 ساعه.

ضبط pHالمحلول المغذى

- يتراوح الـ pH المناسب للمحلول المغذى بين (5-7)
- وتتأثر الـ pH بدرجه كبيره بالتوازن بين ايونى النترات No_3^- والامونيوم NH_4^+.
- ويفضل ان يكون النيتروجين الامونيومى فى حدود 10 - 25% من النيتروجين الكلى

ملاحظة :

- زيادة الامونيوم يمكن ان تؤثر سلباً على عملية البناء الضوئى فى النبات
- ويؤثر الـ pHعلى امتصاص العناصر الصغرى فيؤدى انخفاضه لاقل من 5 الى زيادة امتصاص بعض العناصر الدقيقه الى درجة السميه
- كما يؤدى ارتفاع الـ pHعن 7.5 الى
- ترسيب الفوسفور والكالسيوم والماغنسيوم والحديد والمنجنيز وجعلهم فى صوره غير ميسره للنبات

يمكن تعديل الـ pH عن طريق:

بإضافة حمض الكبريتيك او بهيدروكسيد البوتاسيوم

يمكن خفض الـ pH

بإضافة حمض النيتريك والارثوفوسفوريك

يمكن رفع الـ pH

يتم استخدام هيدروكسيد البوتاسيوم أو هيدروكسيد الكالسيوم عند الرغبة في زيادة قلوية المحلول

النقاط الواجب مراعاتها عند تحضير المحلول المغذى:-

- استعمال الاسمده التجاريه العاديه كمصدر للعناصر مثل N, P,K وذلك لرخص ثمنها
- يجب ان تكون الاسمده سريعه وتامة الذوبان وعاليه فى محتواياتها من العناصر ولا تحتوى على عناصر سامه

- يفضل استعمال مساحيق الاسمده عن الاسمده المحببه وذللك لصعوبة ذوبانها

- يمكن عند تحضير محلول مغذى من العناصر الكبرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والكبريت) استعمال مصادر تعطى اكثر من عنصر واحد مثل نترات الكالسيوم كمصدر للكالسيوم كما انها توفر جزءاً من الازوت فى صورة نترات

تتبع الخطوات التاليه عند وزن و اذابة الاملاح السماديه خاصةً فى المزارع المائيه المغلقه

- توزن الاملاح منفرده
- يملأ خزان المحلول بالماء لحوالى90% من حجمه فقط
- يذاب كل سماد منفرداً ثم يفرغ فى خزان المحلول مع التقليب المستمر ، ويكرر ذلك مع كل سماد.
- ويستعمل ماء ساخن للاملاح الصعبة الذوبان.
- تذاب العناصر الصغرى اولاً ثم العناصر الكبرى

كيف يتم تحضير محلول هوجلاند :

- **يحتوي محلول هوجلاند على التراكيز التالية:**

1. **النيتروجين N 210 ملغم/ لتر.**
2. **الفسفور P 31 ملغم/ لتر.**
3. **البوتاسيوم K 234 ملغم/ لتر.**
4. **الكالسيوم Ca 160 ملغم/ لتر.**
5. **المغنسيوم Mg 48 ملغم/ لتر.**
6. **الكبريت S 64 ملغم/ لتر.**
7. **العناصر الصغرى 1 ملغم/ لتر.**

فى المزارع المائية المفتوحه فانه يتم تحضير ثلاثة محاليل سماديه مركزه

- **المحلول الاول** للعناصر الكبرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم)
- **المحلول الثانى** الحديد فقط

❖ **المحلول الثالث** للعناصر الصغرى (البورون والمنجنيز والزنك والنحاس والمليبدنم).و ذلك لمنع ترسيب العناصر لان الاملاح السماديه تتفاعل مع بعضها بسرعه عند خلطها معاً وهى بتركيزات عاليه

ملاحظة:

تحقن المحاليل مباشرةً فى ماء الرى عند الاستعمال

نظّم عملية الري

- ❖ قم بري الخضراوات على الأقل مرتين في اليوم وثلاث مرات في الأيام شديدة الحرارة
- ❖ قم بري الفاكهة على الأقل مرة واحدة في اليوم ومرتين في الأيام شديدة الحرارة
- ❖ لا ترو النبات في ساعات الحر ويفضل ري النباتات في الصباح الباكر أو آخر النهار
- ❖ أضف المحلول المغذي الذي يحتوي على جميع العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات، لمياه الري يومين متتاليين ثم اليوم الثالث قم بالرى بمياه فقط

نظّم عملية الصرف

ضع إناء عميقا أسفل الثقب الموجود بالوحدة لتجميع المياه الزائدة عن حاجة النبات ثم أعد استخدامها في اليوم التالي للري مع إضافة المحلول المغذي(ويتم اضافة المحلول المغذى بكمية اقل و ذالك لان المياه تحتوى على محلول ويتم اضافة المحلول المغذى بنسبة 5 جرام لكل 5لتر فى الماء مع مراعاة اذابتة

طرق مكافحة الافات

- ✓ استخدام بعض المواد الآمنة التي لا تضر الإنسان أو البيئة مثل الرش بمادة الفيرتميك وهو مستخلص حيوي غير كيميائي، وذلك كل ثلاثة أسابيع صيفا وكل أسبوعين شتاء
- ✓ نباتات الزينة يمكن معها استخدام المبيدات الكيميائية الموجودة بالأسواق حسب نوع المرض .
- ✓ استخدم بعض المستخلصات النباتية مثل الثوم بأخذ حوالي 5 جرامات من فصوص الثوم الطازج، واطحنها وأضفها إلى لتر من الماء، ثم خذ الرائق منها لرش النباتات لمقاومة الآفات الفطرية والحشرية وذلك كل أسبوعين .
- ✓ يمكن أيضا أن تخلط ملعقة خميرة مع ملعقتين من السكر على لتر من الماء ثم تضعها في الثلاجة لمدة يوم واحد ويرش على النباتات كل أسبوعين، لمقاومة الأمراض الفطرية

الزراعة في وسط نمو (AGGREGATE SYSTEMS) :

يمكن أن تكون نظم مغلقة أو مفتوحة ، وتعتمد على التقنيات التالية /

- تقنية الزراعة في الكيس المعلق (HANGING BAG TECHNIQUE) .
- تقنية الزراعة في الأكياس (GROW BAG TEHCNIQUE) .
- تقنية الزراعة في الخندق أو الحوض (TRENCH OR TROUGH

- **ـ تقنية الكيس المعلق (نظام مفتوح) (HANGING BAG TECHNIQUE(OPEN SYSTEM:**

باستخدام كيس أبيض من الخارج وأسود من الداخل ، اسطواني الشكل طوله 11 م تقريباً من البولي ايثلين السميك المعالج ضد الأشعة فوق البنفسجية . يملء بالبرليت أو أي وسط مناسب ، هذه الأكياس مثبت بها من الأعلى أنابيب رفيعة لتوصيل المحلول المغذي، هذه الأكياس تعلق بشكل عمودي (في دعامة أفقية) على قناة تجميع المحلول المغذي ، لذلك فإن هذه التقنية تعرف أيضاً باسم تقنية النمو الرأسي VERTI-GROW TECHNIQUE الشتلات ومعها قليل من وسط النمو توضع داخل أصص شبكية ، توضع بإحكام في فتحات على جوانب الكيس المعلق. يضخ المحلول المغذي الى قمة كل كيس عبر رشاش دقيق موجود داخل قمة الكيس ،تقوم هذه الرشاشات بتوزيع المحلول المغذي داخل الأكياس . المحلول المغذي يقطر للاسفل مبللاً وسط النمو الذي بداخل الكيس وكذلك جذور النباتات ، يتجمع المحلول المغذي الزائد في القناة الموجودة تحت الأكياس من خلال ثقوب يتم عملها في قاع الأكياس ويعود المحلول إلى خزان المحلول المغذي ، هذا النظام يمكن استخدامه في منطقة مفتوحة أو محمية ، تترتب هذه الاكياس في صفوف ويراعى توفر الفراغ الكافي بين الصفوف حتى يصل الضوء الكافي للنباتات . يمكن استخدام هذه الأكياس لمدة عامين ، وعدد النباتات بكل كيس يتوقف على نوع المحصول المزروع فيمكن زراعة 20 نبات خس في الكيس الواحد . هذا النظام مناسب للخضروات الورقية والفراولة ونباتات الأزهار الصغيرة .

- **ـ تقنية كيس النمو GROW BAG TECHNIQUE**

في هذه التقنية يستخدم كيس طوله 1 ـ 1.55 م لونه أبيض من الخارج وأسود من

الداخل ومقاوم للأشعة فوق البنفسجية ، تملء بوسط نمو مناسب (مثل البيرليت) ، هذه الأكياس توضع أفقياً على الارض في صفوف بينها مسافات (ممر) وقد توضع في أزواج كما هو موضح بالرسم ، يعمل ثقوب صغيرة في الناحية العلوية من سطح الكيس وتثبت الشتلات الموجودة في أصص شبكية داخل الفتحات ، يمكن زراعة 2 ـ 3 نبات في هذا الكيس ويعمل فتحتين صغيرتين على شكل شق منخفض في كل جانب من جانبي الكيس للصرف ، يتم توصيل المحلول المغذي عن طريق أنابيب شعرية موزعة من خط امداد رئيسي الى كل نبات . قد يضاف الماء والمحلول المغذي يدوياً ، نباتات الطماطم تنمو جيداً في هذه الأكياس ، يجب التأكد من أن وسط النمو غير مشبع بالكامل بالماء أو المحلول المغذي حتى لا يمنع وصول الاكسجين لجذور النبات . تغطى الأرضية بالكامل بالبولي إيثلين الأبيض المقاوم للأشعة فوق البفسجية قبل وضع الأكياس على الارض ، هذه الشرائح من البولي إيثلين تعكس أشعة الشمس الى النباتات ، كذلك تخفض الرطوبة النسبية بين النباتات وتقلل حدوث الأمراض الفطرية . يجب تدعيم النباتات جيداً حيبما تصبح طويلة .

- **ـ تقنية الخندق أو المجرى TRENCH OR TROUGH TECHNIQUE**

في هذا النظام المفتوح ، تنمو النباتات في خندق ضيق في الأرض ، أو في مجرى فوق الأرض مشيد بالطوب (الطابوق) أو الخرسانة الاسمنتية . في كل من الطريقتين يتم التبطين من الداخل بمادة غير منفذة للماء مثل شرائح البولي ايثلين وتكون سميكة ومقاومة للأشعة فوق البنفسجية وتوضع في طبقتين لفصل وسط النمو عن الأرضية ، عرض الخندق أو المجري يتحدد وفقاً لسهولة التطبيق فالخندق العريض يسمح بوجود صفين من النباتات ، أما العمق فيتحدد حسب نمو النباتات بحد أدنى 30 سم . يمكن استخدام الحصى أو الرمل أو البيت موس أو البيرليت أو نشارة الخشب القديمة أو أي خليط من هذه المواد في هذه التقنية ، المحلول المغذي والماء يتم توصيلهم عن طريق نظام تنقيط أو يدوياً وفقاً لتوفر اليد العاملة، يوضع أنبوب مثقب قطره 2.5 سم (بوصة) في قاع الخندق لتصريف المحلول المغذي الزائد، يتم تدعيم النباتات مثل الطماطم والخيار بما يناسب وزن الثمار .

- **- تقنية الأصص POT TECHNIQUE**

مشابهة للتقنية السابقة ولكن بيئة النمو تعبأ في أصص بلاستيكية أو فخارية ، يتوقف حجم الأصيص على نوع النبات المراد زراعته . يتدرج حجم الأصص من 1 - 10 لتر . وسط النمو والإمداد بالمحلول المغذي وتدعيم النباتات مشابهة للتقنية السابقة .

2-الزراعة المائية : (HYDROPONICS)

تنمو فيها الجذور فى المحاليل المغذيه مباشرةً ولا تستعمل فيها بيئات صلبه لدعم النباتات وتثبيت جذورها . وتلك هى المزارع المائيه الحقيقيه من بين جميع انواع المزارع الأرضيه

الزراعة المائية: (HYDROPONICS)

وهي على نظامين هما-:

أ) نظم مغلقة (CLOSED SYSTEMS) ، وتعتمد على التقنيات التالية/

1- تقنية الغشاءالمغذي **NFT** . (NUTRIENT FILM TECHNIQUE)

2- تقنية الفيض أو التدفق العميق**DFT** (DEEP FLOW TECHNIQUE)

ب) نظم مفتوحة (OPEN SYSTEMS)

(NON-CIRCULATING METHOD)وتعتمد على التقنيات التالية/

1- -تقنية غمس الجذور في المحلول المغذي. (ROOT DEEPING TECHNIQUE)

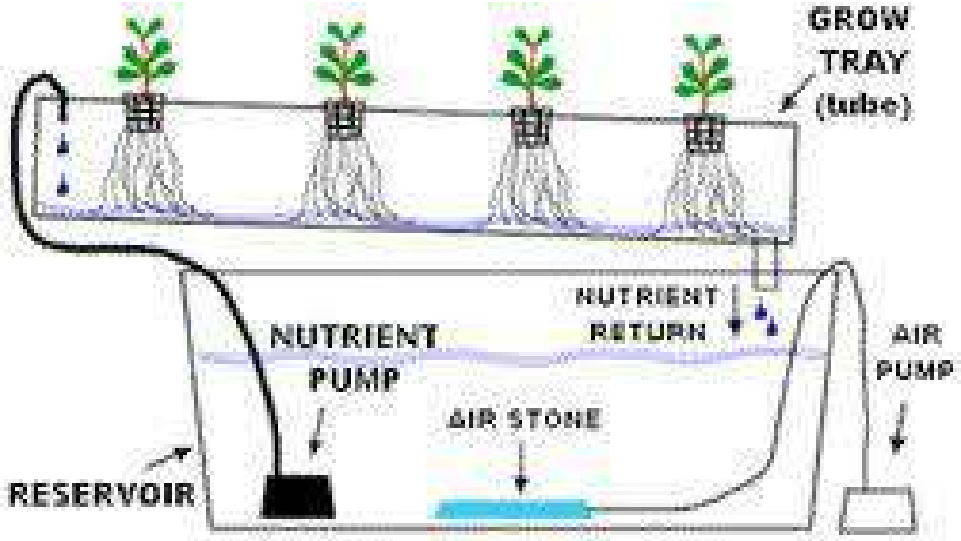
2- تقنية الطفو. (FLOATING TECHNIQUE)

3- تقنية الخاصية الشعرية . (CAPILLARY ACTION TECHNIQUE)

أ) نظم مغلقة(CLOSED SYSTEMS)

حيث يسترد المحلول المغذي الفائض بعد دورانه في النظام ويعاد استخدامه مرة أخرى

1- تقنية الغشاءالمغذي NFT . (NUTRIENT FILM TECHNIQUE)



ـ تقنية الغشاء المغذي NFT :

هو نظام زراعة مائية حقيقي ، حيث أن جذور النبات معرضة مباشرة للمحلول المغذي ، على شكل غشاء رقيق من المحلول المغذي ينساب خلال الممرات أو الأنابيب .

القنوات أو الممرات تصنع من لوح مرن قابل للثني، توضع الشتلات مع قليل من وسط النمو (مثل الصوف الصخري ..الخ) في وسط اللوح ويثنى كلا الطرفين في اتجاه قاعدة الشتلة ويشبكان معاً لمنع وصول الضوء والتبخر .

القطاع العرضي للقناة يظهر وسط النمو الذي يمتص المحلول المغذي للنباتات الصغيرة ، عندما تكبر النباتات فإن الجذور تشكل مايشبه الحصيرة داخل قاع القناة . يتراوح الطول الأقصى لطول القناة بين 5 ـ 10 متر وتوضع بشكل مائل بنسبة 1/ 50 ـ 1/ 75 . يضخ المحلول المغذي الى النهاية العليا لكل قناة وينساب بواسطة الجاذبية الى النهاية السفلي مبللاً الجذور التي تفترش قاع القناة ثم يتم تجميع المحلول المغذي ليعود الى الخزان . يراقب تركيز الاملاح في المحلول قبل إعادة تدويره ويقوم بعض مربي النباتات بتغيير المحلول كل أسبوع .

يضبط تدفق المحلول المغذي بمعدل 2 ـ 33 لتر في الدقيقة ويعتمد ذلك على طول القناة ،

ويجب توفير التدعيم الكافي للنباتات الطويلة . عملياً من الصعب جداً المحافظة على غشاء رقيق جداً من المحلول المغذي ولذلك مرت هذه التقنية بالكثير من التعديلات .

تقنية التدفق العميق D F T deep flow technique

نظام الأنابيب pipe system : المحلول المغذي يتدفق على عمق 2-3 سم خلال أنبوب (ماسورة) pvc قطرها 10 سم ليمر على أصص أو أكواب شبكية بها نباتات مثبتة في فتحات في الأنبوب ، الأصص أو الأكواب البلاستيكية تحتوي على وسط نمو + نبات صغير ، وقاع الأصص يلامس المحلول المغذي الذي يجري في الأنبوب ، النباتات توضع في أصص شبكية مملوءة بوسط نمو مثل قشور الأرز أو نشارة الخشب أو البيرليت أو البيت موس أو أي مادة مناسبة ، يمكن وضع قطعة صغيرة من الشبك لتبطين الأصص لمنع وسط النمو من السقوط في المحلول المغذي.

عندما يدور المحلول المغذي ويعود الى الخزان فإنه يتشبع بالأكسجين ، والأنابيب pvc يجب أن تكون مائلة بمقدار بوصة لكل 30 ـ 40 ليسهل جريان المحلول المغذي . في الأماكن الحارة ينصح بطلاء الانابيب باللون الأبيض للتقليل من ارتفاع حرارة المحلول المغذي ، هذا النظام يمكن استخدامه في المناطق المفتوحة أو المغطاة (المحمية)

الطرق التي لا تعتمد على دوران المحلول المغذي : Non - circulating methods

المحلول المغذي لا يدور بل يستخدم لمرة واحدة فقط ، وعندما يقل تركيز المحلول المغذي أو ph أو ECC فإنه يستبدل .

تقنية الجذور الغاطسة : Root dipping technique

في هذه التقنية فإن النباتات تنمو في أصص صغيرة مملؤة بقليل من وسط النمو وتوضع بحيث يغمر 2- 33 سم منها في المحلل المغذي بعض الجذور سوف يغمر في الماء ويبقى الباقي معلقاً في الهواء فوق المحلول المغذي ويمتص الأكسجينوالغذاء على التوالي ، هذه التقنية سهلة ويمكن تطويرها باستخدام مواد متوفرة ورخيصة وهذا النظام غير مكلف

تقنية الجذور المغمورة أو الغاطسة للمحاصيل غير ذات الجذور المتدرنة: Root dipping technique .

أولاً : اختر حاوية للمحلول المغذي ، ويمكن أن تكون الحاوية من أي مادة رخيصة ما عدا الحاويات المعدنية "لا تصلح للاستخدام لتأثرها بالمواد المكونة للمحلول" .
ومن الحاويات المستخدمة في ذلك حاويات الستيروفوم (الصناديق الفوم) ، أو الصناديق الخشبية أو البلاستيكية ، حتى الأحواض الإسمنتية يمكن استخدامها .
وتفضل الصناديق الستيروفوم حيث أنها تحافظ على حرارة المحلول المغذية .

ثانيًا : ضع لوح أو رقاقة من البلاستيك الأسود ، لا يقل سمكها عن 0.15 ملم ، لتبطين الصناديق من الداخل ، لمنع التسرب ، ولتقليل الإضاءة .
ويجب أن يكون عمق الصندوق من 25 - 300 سم ، ليوفر كمية كافية من المحلول المغذي ، وفراغ كافٍ فوق المحلول لامتصاص الجذور للأكسجين .

ثالثًا : يجب توفر لوحة مثقبة لتوضع فوق الحاوية لمنع الضوء من الاختراق ولتثبيت أصص النباتات أيضًا .
ويتوقف عدد الثقوب في اللوحة على نوع المحصول الذي سيتم زراعته ، مع مراعاة وجود عمل فتحة أو ثقب إضافي للتهوية وإعادة ملء المحلول المغذي .

البادرات أو الشتلات يتم نقلها إلى إلى أكواب أو أصص بلاستيك مملوء بوسط نمو معقم .

رابعًا : اصنع بعض الثقوب في قاع الكوب البلاستيكي وعلى جوانبه لخروج الجذور وانسياب المحلول المغذي إلى وسط النمو المحيط بالجذور .

خامسًا : ضع قطعة صغيرة من الشبك داخل إصيص لمنع سقوط وسط النمو داخل المحلول المغذي .

سادسًا : املأ ثلثي الحاوية بالمحلول المغذي وتثبت الأصص وبها النباتات في اللوحة كما هو موضح بالرسم . ثم توضع أعلى قمة الصندوق بحيث يغمر 2 سم فقط من الإصيص في المحلول المغذي . هذه الصناديق يمكن أن توضع صوب شبكية أو في الفضاء المفتوح أو داخل البيوت وتحتاج النباتات الطويلة الى تدعيم لحمايتها من السقوط ، ويجب المحافظة على وجود حيز هوائي فوق المحلول المغذي ، نجاح هذه التقنية يعتمد على النمو السريع وكمية الجذور المعرضة للهواء حيث تمتص هذه الجذور الأكسجين . أثناء نمو المحصول حينما ينخفض مستوى المحلول المغذي في الحاوية ، فإن التركيز الأيوني يمكن أن يزيد مما يسبب ضرراً للنبات ، إذا لوحظ هذا الوضع أفرغ المحلول المتبقي وأعد تعبئة الحاوية بمحلول مغذي جديد .

- تقنية الطفو : FLOATING TECHNIQUE

هذه التقنية مشابهة لطريقة الصندوق ولكن يمكن استخدام حاوية قليلة العمق (عمق 100 سم) توضع النباتات في أصص صغيرة تثبت على لوح ستيروفوم أو أي لوح خفيف مناسب ، ويسمح للوح بالطفو على المحلول المغذي الذي يملء الحاوية ، والمحلول المغذي هنا يتم تزويده بالهواء الجوي صناعياً ، ويمكن استخدام أشكال وأنواع مختلفة من الأصص التي بقاعها فتحات . املء هذه الاصص بأي وسط نمو خامل وضع به شتلة أو بذور نبات في الوسط ، توضع هذه الأصص في حاوية قليلة العمق مملؤة بالمحلول المغذي الذي يصل الى وسط النمو عن طريق الخاصة الشعرية .

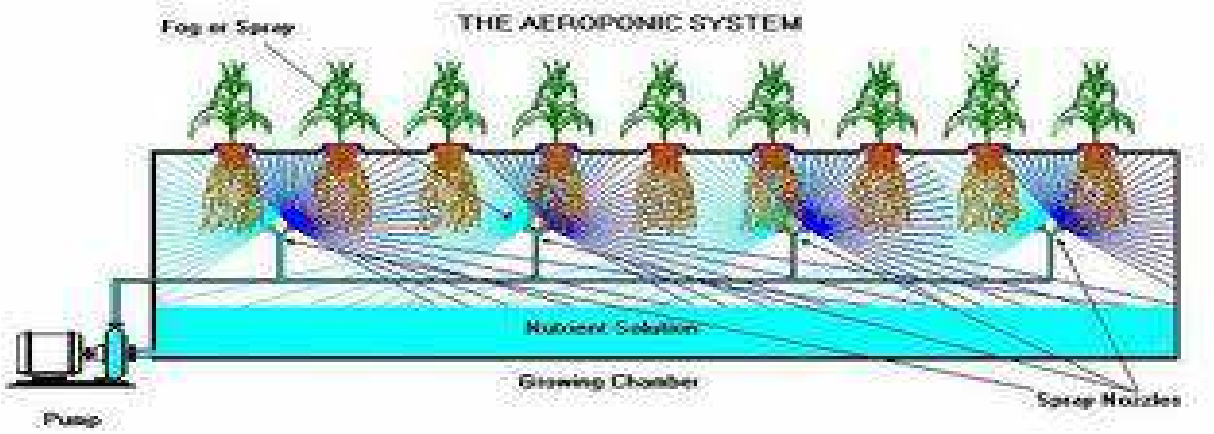
- تقنية الخاصية الشعرية CAPILLARY ACTION TECHNIQUE

التهوية مهمة جداً في هذه التقنية ، لذلك يستخدم خليط من أي بديل تربة مناسب مع الرمل أو الحصى ، هذه التقنية مناسبة مع نباتات الزينة والأزهار والنباتات الداخلية .

تقنية الخاصية الشعرية

3- الزراعة الهوائية AEROPONICS TECHNIQUE :

هى طريقة لنمو النباتات حيث تثبت النباتات في فتحات (ثقوب) في لوح من الستيروفوم وتكون جذورها معلقة في الهواء تحت اللوح الستيروفوم الذى يشكل غطاء محكم للصندوق أو الحاوية بحيث يمنع الضوء ويثبت الجذور ويمنع نمو الطحالب . يرش المحلول المغذي على شكل رذاذ أو ضباب دقيق حول الجذور لثواني قليلة كل 2 ـ 3 دقائق ، هذا كافي لجعل الجذور رطبة أو مبتلة ويجعل المحلول المغذي مشبعاً بالأكسجين ، وتحصل النباتات على الماء والغذاء من غشاء المحلول الملتصق على الجذور . الزراعة الهوائية عادة تطبق في هيكل محمي ويناسب الخضروات الورقية ذات المجموع الخضري القصير مثل الخس والسبانخ ، الفائدة الرئيسية لهذه التقنية هى الاستخدام الأقصى للفراغ ، فهذه التقنية تسمح بتربية نباتات تزيد مرتين عن المزروعة في نفس المساحة الأرضية في النظم الأخرى



تقنية المشاتل للزراعة بدون تربة NURSERY TECHNIQUES FOR HYDROPONICS

كما في الزراعة الحقلية المفتوحة فإن انتاج شيلات قوية لأصناف عالية الأنتاجية خطوة أساسية في الزراعة بدون تربة للحصول على محصول اقتصادي مربح

وسط النمو في المشاتل NURSERY MEDIUM

وسيط النمو يجب أن يقدم ظروف مناسبة لإنبات البذور خالية من الامراض والآفات ويستعمل لذلك الصوف الصخري أو البيرليت أو البيت موس أو الرمل الناعم ويعقم الوسط قبل استخدامه .

حاويات المشتل / الصوانى nursery containers

يتم الحصول على الشتلات من البذور كما سبق شرحه في موضوع الإنبات ، كما يمكن استخدام أجزاء من النبات الأم مثل الفراولة أو النعناع وزراعتها في وسط النمو حت تنتج مجموع جذري

الإمداد بالمواد المغذية nutrient supply :

تزويد النباتات بالمواد المغذية ليس ضرورياً حتى ظهور أول ورقتين حقيقيتين للنبات ، حتى ذلك الوقت يكفي الماء فقط ومع ذلك بمجرد أن تظهر الورقتين الحقيقيتين فإن التزود بالواد المغذية يجب أن يبدأ بالتدريج ، يمكن استخدام 10 جرام من تركيبة ألبرت تخلط مع 10 لتر

ماء وتستخدم يومياً للنباتات النامية من البذور في المشتل في المرحلة المبكرة . توضع الأصص أو الصواني في حاويات قليلة العمق بهاالمحلول المغذي ، سيصل المحلول المغذي الى وسط النمو من خلال الثقوب الموجودة في قاع الأصيص أو الصواني عن طريق الخاصية الشعرية . المحلول المغذي يمكن أن يضاف مباشرة الى الأصص بعد انبات البذور أو نجاح الاكثار الخضري ، عند اضافة المحلول المغذي مباشرة للأصص اتبع الأتي :

ضع الأصص أو الصواني على لوح مستوي وأسكب المحلول المغذي بحيث يلامس مباشرة النباتات الصغيرة (البادرات) ، في المرحلة المبكرة استعمل 5 ـ 10 ملليلتر من المحلول المغذي مرة واحدة في اليوم ، وعندما تنمو النباتات استخدم 10 ـ 25 ملليلتر مرة أو مرتين في اليوم. حينما تصل البادرات الى الحجم المناسب تنقل مع الوسطالى نظام الزراعة بدون تربة .

فترة بقاء البادرات في المشتل

الطماطم 3 ـ 4 أسابيع (حتى تكوين 2 ـ 3 أوراق حقيقية)

الكرنب 4 ـ 5 أسابيع (3 ـ 4 أوراق حقيقية)

الخيار 3 أسابيع (3 ـ 4 ورقات حقيقية)

الخس 2 ـ 3 أسابيع

الفلفل 4 ـ 5 أسابيع

يتم اختيار الشتلات القوية لزرؤاعتها في نظم الزراعة بدون تربة .

تقنية استخدام الاسفنج في المشتل spong nursery technique :

قطع الإسفنج يمكن أن تستخدم كوسط نمو في المشتل عوضاً عن المواد المذكورة من قبل . تستخدم قطعة مكعبة أبعادها 2.5 ×2.5× 2.5 سم من الإسفنج لهذا الغرض . ضع البذور في وسط الشق الذي تم عمله في الجانب العلوي من مكعب الإسفنج . يجب استخدام المحلول المغذي عند ظهور أول ورقة حقيقية ، وطبقاً لطريقة الزراعة ، الشتلات يمكن زراعتها في نظام الزراعة بدون تربة كما هي مع مكعب الإسفنج

chapter 2

water nutrition

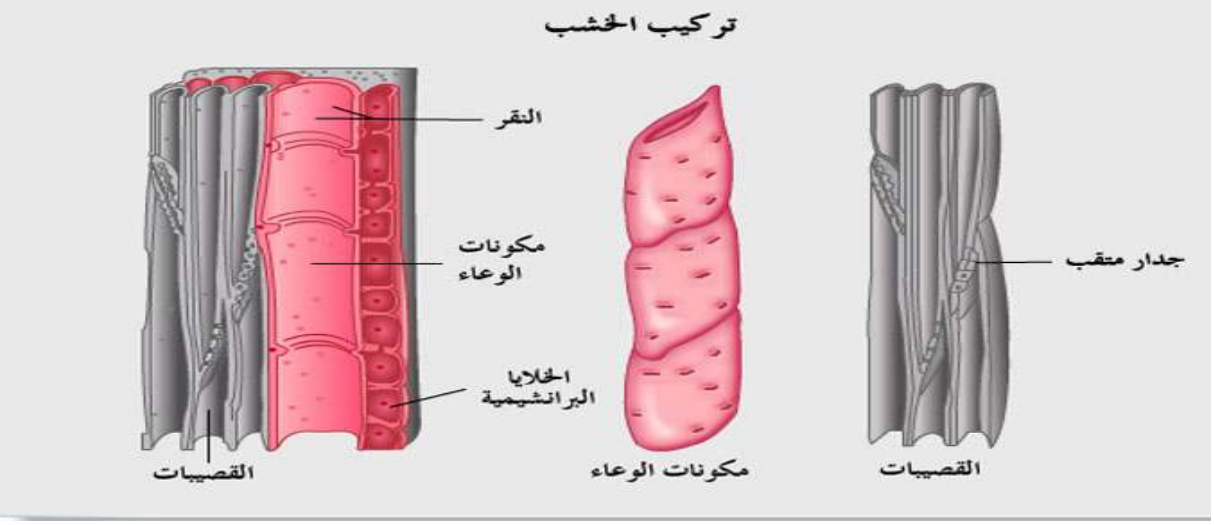
مقدمة

منذ اكثر من 100 سنة ثبت أن نسيج الخشب هو الأكثر صلة بانتقال الماء لإحتوئه على عناصر أنبوبية أكثر تميزا يتم من خلالها انتقال الماء كما يوجد أيضا ألياف خشبية و خلايا برنشيمية

I. نسيج الخشب:

- **العناصر الأنبوبية**

1. النابيب الخشبية



هي عبارة خلايا ذات جدران ثانوية مغلظة باللجنين كاملة النمو لا تحتوي على بروتوبلاست معرقل (خلايا ميتة) جدرانها الطرفية مثقوبة مكونة شبكة من القنوات تتشعب في كل اجزاء النبات و تمد الماء بسهولة لكل الخلايا الحية يبلغ طولها عند مغطاة البذور بين بعض سم الى بعض الأمتار بينما يبلغ قطرها 20-700µm وهي اكثر إتساعا من معراة البذور

2-القصيبات :

هي المسلك الرئسي للماء عند معراة البذور فهي عبارة عن خلايا متطاولة مغزلية الشكل ميتة ذات جدران طرفية حادة ملجننة يتوسط بعضها البعض بواسطة النقر المصفوفة لتشكل مسلكا متصلا لحركة الماء يبلغ طولها عند معراة البذور 5مم و ذات قطر µm30

- **الألياف:**

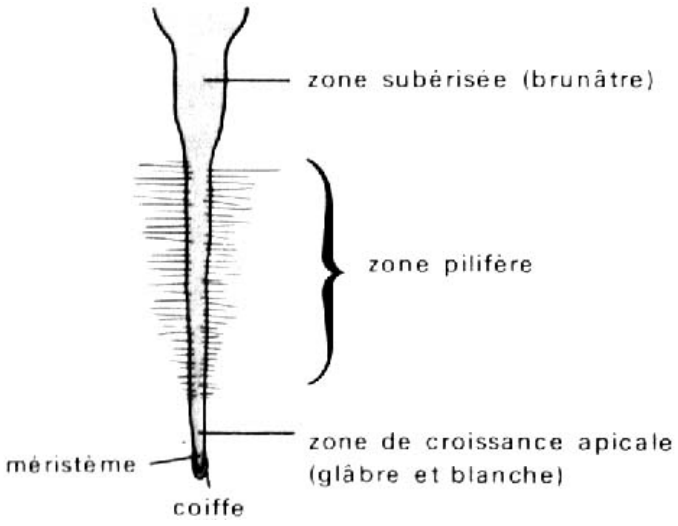
الليفة الخشبية هي خلية ميتة طويلة رفيعة مدببة ذات جدران ملجننة يعتقد أنها تمرر الماء نظرا لإرتباطها بالقصيبات و الأنابيب الخشبية من خلال النقر

- **برنشيمة الخشب :**

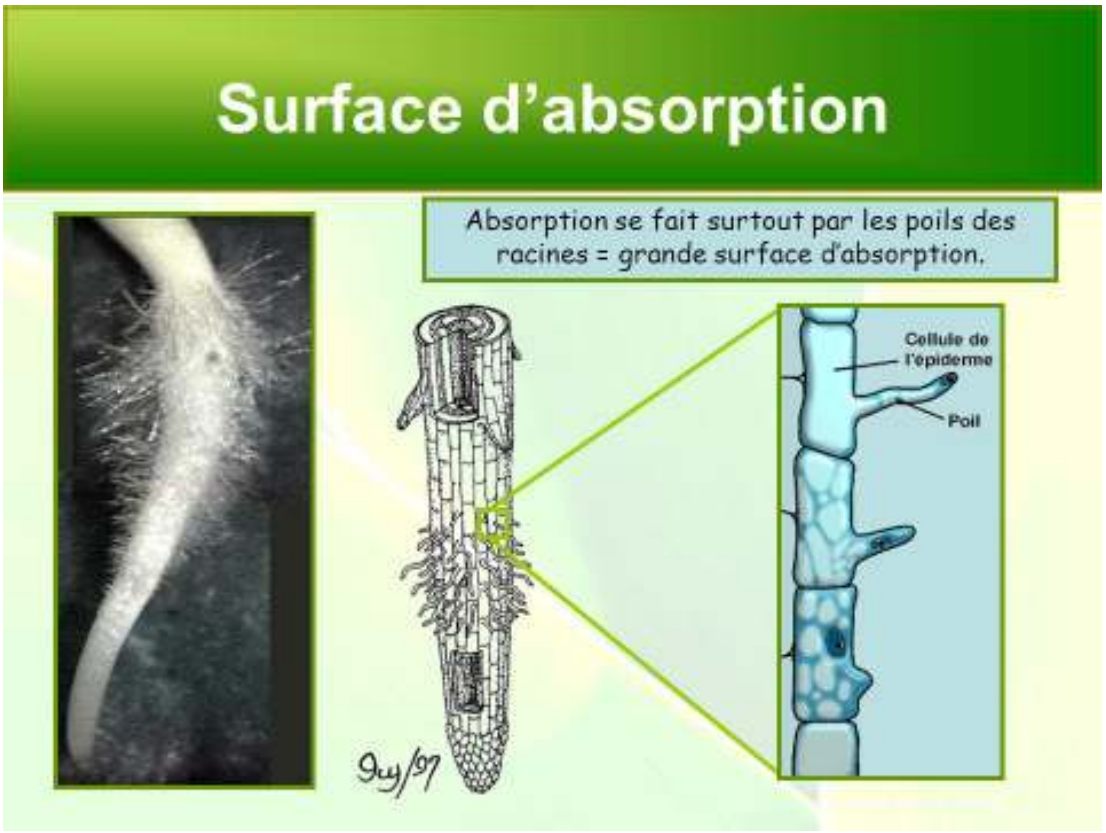
هي خلايا حية توجد متداخلة في الخشب و مكونات الخشب أحد مهامها أنها تقوم بتخزين الغذاء حيث يتجمع النشاء مع نهاية الموسم ثم يستهلك عندما ينشط الكمبيوم في موسم النمو كما قد يعتقد أن لها دور حيوي في إنتقال الماء

وضعية النابيب الخشبية و القصيبات :

إن وضعيتهما في نسيج الخشب في اتجاه عمودي و أن الحركة السائدة للماء في هذا الاتجاه إلا أنه تحدث بعض الحركة الجانبية فجدران الأنابيب و القصيبات مثقوبة بواسطة نقر عديدة قد يمر الماء من خلالها و هكذا حيثما توجد النقر ملاصقة لبعضها يحدث انتقال جانبي للماء إما بين أنبوبين أو بين قصيبتين أو بين أنبوب و قصيبة أو بين أنبوب و خلية برنشيمية أو بين قصيبة و خلية برنشيمية و هكذا بإمكان الماء الانتشار بسهولة إلى كل أنسجة النبات من خلال حركة لولبية تصاعدية

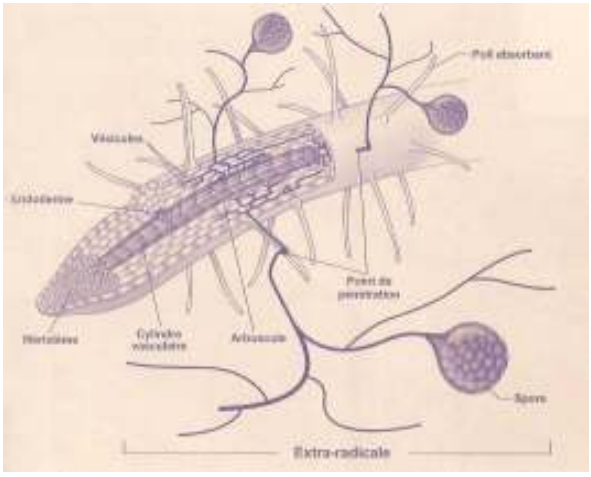


مناطق إمتصاص الماء في الجذر :



1. منطقة الأوبار الماصة :

لهذه المنطقة نفاذية قصوى للماء إلا انها رهيفة جدا لا تعيش إلا فترات قصيرة خاصة الفتية منها بينما المسنة جدرانها مغلظة باللجنين و السوبرين مما يعرقل قدرتها على الإمتصاص تكون كتلة شعرية كثيفة تحت سطح التربة تصل كثافتها خاصة عند النجليات الى 2000/ سم^2 اما الأشجار مثل الصنوبر فتواجدها على سطح الجذر ضعيف و الذي يقوم بعملية إمتصاص الماء هي جذور الميكوريز les racines mycorhisées



فميسيليوم هذه الفطريات هي التي تقوم بدور الإمتصاص في حين النباتات المائية ففقيرة بالأوبار الماصة فكل سطح النبات بإمكانه إمتصاص الماء (Elodéa).

2- منطقة القمة النامية :

هي نهاية الجذر تمثل مناطق نمو الجذر يبدأالتغليظ الثانوي بعد مسافة قصيرة من نهاية الجذر تتكون من طبقة البريدرم و هي ذات خلايا مشبعة بالسبرين تعيق نفاذية الجذر للماء اما المنطقة القمية فتحيط بها طبقة رقيقة هلامية دورها هي تبادل الماء بين التربة و الجذور و ممكن الأيونات كذالك

مميزات المجموع الجذري المؤثرة على امتصاص الماء :

إن المجموع الجذري لكل النباتات تتباين كثيرا في الشكل و مدى إختراقها للتربة فلا يوجد شك في إختلاف قدرتها الإمتصاصية للماء ايضا بعض المجموعات الجذرية تخترق التربة بعمق كبير بينما تكون جذور آخرى شبكة كثيرة التفرعات الجذرية قليلة الإختراق لكنها تغطي مساحة واسعة في التربة عند أعماق قريبة

دور المجموع الخضري و الجذري فى إمتصاص الرطوبة الجوية :

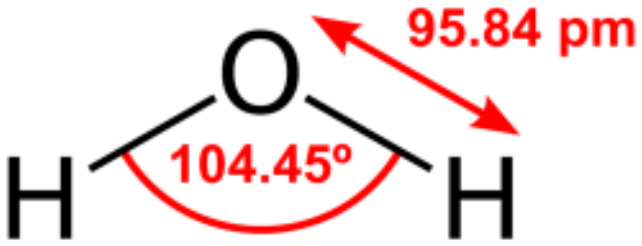
معظم أجزاء النبات الهوائية (أوراق ،سيقان ، براعم) تمتص الماء كسائل أ كبخار خاصة في المناطق الرطبة هذا الإمتصاص يعتمد على الجهد الإمتلائي لخلايا الورقة و على نفاذية طبقة الكيوتين

II. الماء :

خصائص الماء :

للماء خصائص فريدة تجعله يساهم إما مباشرة او بطريقة غير مباشرة في كل التفاعلات الخلية الحية فهو يمثل 90% من كتلة الكائن الحي من بين هذه الخصائص نذكر منها :

- للماء حرارة نوعية عالية هذه الخاصية تسمح للأنسجة الحية بتغيرات طفيفة في درجة حرارتها
- كثافة الماء المتجمد اقل من كثافة الماء السائل و هذه الميزة تجعل بإمكان إستمرار الحياة في الوسط السائل عند أعماق بعيدة نتيجة طفو الجليد فوق السطح
- جزيئات الماء ترتبط ببعضها و تلتصق بالأسطح المختلفة هذا الإرتباط و الإلتصاق في صعود الماء في النبات
- أهم خاصية للماء فعاليته كمذيب نظرا لقدرته على تكوين محلول مع عدد كبير من المركبات
- للماء طبيعة قطبية تمنع ترسب الأملاح المتنوعة في المحلول من خلال تداخل تفاعلات الشحن هذه الخواص المذكورة ناتجة عن الشكل الخارجي لجزئ الماء و عن الروابط الهيدروجينية و هي ذرتين هدروجين مرتبطتين بتكافؤ واحد بإحدى طرفي ذرة الكسجين متوسط الزاوية بينهما 104°



ملاحظة :

إن كل العناصر الأساسية المتنوعة و الضرورية لنمو النبات و كذالك المركبات الضرورية للإنتقال و تخزين الطاقة تتطلب الماء كوسيلة للإنتقال هذه المواد مذابة في ماء النبات بهذه الكيفية تتوزع في كل أجزائه عن طريق الإنتشار أو الأسموزية أو التشرب هذه الظواهر ذات صلة وثيقة بالمهمة الأساسية لإنتقال الماء و المذيبات من مكان نشأتها إلى مكان استخدامها .

- **الإنتشار**

هي عملية توزيع جزيئات أو ذرات أو حبيبات بشكل متساوٍ في فراغ أو في حيّز متاح أو تخللها خلال حاجز غشائي. ويتم الانتشار بانتقال الجزيئات أو الذرات من منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة ذات تركيز أقل حتى يتساوى تركيز الجزيئات في المنطقتين.

- **الأسموزية :**

يمكن النظر الى الأسموزية كنوع خاص من الإنتشار ذات علاقة بحركة الماء من خلال غشاء شبه نفاذ من جهة يكون التركيز عال و الجهة الأخرى يكون المحلول منخفض التركيز بحيث يتولد ضغط خلال جدران هذا الغشاء فيسمح بدخول خروج الماء منه . كلمة جهد هنا لا تعني وجود جهد واضح فقط عندما يحصر محلول ما داخل غشاء شبه نفاذ يصبح هذا الجهد واضحا . و يستبدل الجهد الأسموزي (Ψ) في العلاقات المائية بالجهد المائي (π) بالرغم انهما متساويان عدديا إلا أنهما يختلفان في الإشارة

$$\Psi = -\pi$$

Ψ Le potentiel hydrique الجهد المائي : يعبر عن ضغط ميكانيكي

π potentiel osmotique الجهد الأسمزي - : يعبر عن حالة متعلقة بالطاقة

وحدتهما هي Mega pascal (Bar)

10bar = 1 Mpa

- **الجهد المائي : Le potentiel hydrique**

الجهد المائي يساوي بإشارة مخالفة للطاقة المستعملة لتحرير غرام مواح (Mole) من الماء من الصورة المرتبطة الى الصورة الحرة فكلما كان إرتباط الماء بنظام (تربة ، خلية) ضعيف كانت

حركته ضعيفة و بالتالي الجهد المائي لهذا النظام (تربة ، خلية) ضعيف فضعف الجهد المائي بالنسبة للماء النقي يعبر عن ضعف إرتباط الماء بهذا النظام (تربة ، خلية)

ففي التربة توجد قوتان تمثلان الجهد المائي Ψ

1. الجهد الأسموزي π_w : يعبر **عن إرتباط الماء بمذيبات محلول التربة**
2. جهد الحشوة π_m : يعبر **عن إرتباط الماء بغرويات التربة**

$$\Psi = \pi_w + \pi_m$$

- **الجهد الإنتفاخي**:**potentiel de turgescence**

هو ذالك الضغط الذي يمارسه ماء الفجوة على الغشاء السيتوبلازمي و الجدار الخلوي فالجهد يتولد من دخول الماء الفائض مقارنة بحالة الإنتفاخ هذا الدخول المائي ناتج عن فرط التوتر للفجوة مقارنة بالوسط

- **فرط التوتر L'hypertonie**:

عند وضع خلية نباتية في محلول الجهد الأسموزي مطابق للجهد الأسموزي لعصارة الخلية يبقى مظهر الخلية طبيعيا (isotonie). إذا كان هذا المحلول اقل سالبية (hypotonie) او اكثر سالبية (hypertonie) بالنسبة لعصارة الخلية تحدث تغيرات علة هيكل الخلية

- (hypertonie) ينكمش الغشاء السيتوبلازمي و يبتعد عن الجدار الخلوي
- (hypotonie) يحدث إنتفاخ للخلية النباتية

عادة الخلية المنكمشة يمكن ان تنتفخ مرة اخرى عند وضعها في محلول hypotonie

إن فرط التوتر تحت مراقبة النشاط الفزيولوجي للخلية و بالجهد الأسموزي للخلية الناتج عن تأثير تركيز الأملاح المعدنية (K^+ , NO_3^-, Cl^- .... الخ)و كدالك الحماض العضوية

ميكانزم الإمتصاص :

الإمتصاص هي وظيفة فسيولوجية مرتبطة إرتباطا كليا بالعمليات الأيضية و بالمفهوم الفزيائي thermodenamique هو الفرق السلبي بين الجهد المائي للشعيرة الماصة و التربة

1. **الجهد المائي الخارجي (للتربة) Ψ_e**

هو مجموع الجهد السموزي للقوة الرابطة بين الماء و المذيبات في محلول التربة Ψ_{we} و الجهد السموزي للحشوة Ψ_{me}

$$\Psi_e = \Psi_{we} + \Psi_{me}$$

2- الجهد المائي الداخلي (للشعيرة الماصة) Ψ_i

هو مجموع الجهد الأسموزي للعصارة الفجوة Ψ_{wi} و الجهد الإنتفاخي الذي يضغط على غشاء الفجوة و الجدار الخلوي **T**(Turgescence) .

$$\Psi_i = \Psi_{wi} + T$$

$\Delta\Psi$إذن الإمتصاص

$$- \Psi_e \Delta\Psi = \Psi_i$$

بالتعويض

$$\Delta\Psi = (\Psi_{we} + \Psi_{me}) - (\Psi_{wi} + T)$$

بالإختزال

$$\Delta\Psi = (\Psi_{we} - \Psi_{wi}) - T$$

قيمتها معدومة في حالة النباتات المائية و الطحالب Ψ_{me} :

بالتعويض الجهد المائي بالجهد الأسموزي نحصل على مايلي :

$$\Delta\Psi = - (\pi_i - \pi_e) + T$$

لكي يتم الإمتصاص لابد أن يكون $\Delta\Psi < 0$ أي $- (\pi_i - \pi_e) > T$

أي لابد ان تكون الفجوة منكمشة hypertonie لخلية الشعيرة الجذرية مقارنة بمحلول التربة و هكذا يتحقق الإمتصاص إذن في نهاية الأمر أن L'hypertonie_ للشعيرة الجذرية هي العامل المحدد للإمتصاص .

مقدار الماء في النبات :

يحدد مقدار الماء في النبات بمقارنة كتلة المادة الغضة بكتلة المادة الجافة هذا الفرق يختلف من نبات الى آخر و من عضو الى آخر و من سن إلى آخر ففي الخلية البالغة 95% من الماء موجود **في** الفجوة مقارنة بحجم محتوى الخلية أما الخلية الفتية فهي غنية جدا بالماء ما يقارب 2000% ماء في كتلة مادتها الجافة فكلما تقدمت الخلية في السن تغلضت جدرانها بتراكم المكونات الليبيدية و النشوية فإن كمية الماء تقل .

$$T_e = \frac{(M_i - M_{\sec})}{M_i} 100$$

تغيرات محتوى الماء في الخلية و النشاط الفزيولوجي :

عندما يكون النبات مشبعا بالماء بعد سقوط الأمطار مثلا يقال انه في حالة إحتقا ن كلي هذه الظاهرة نادرا مايصل إليها النبات فعادة يكون تحت عجز مائي أو عجز تشبعي و هذا يتوقف على مقدار النتح و الإمتصاص هذا العجز المائي يمكن قياسه بإيجاد الفرق بين مقدار الماء الأقصى أثناء الإحتقان الكلي و محتوى الماء تاظاهري اثناء القياس

مثال :إذا كان في اوراق الذرى ***Zea mays*** محتوى الماء الكلي اثناء افحتقان 800% (من المادة الجافة) و بعد مدة معينة وصلت الى 600% ما هو العجز المائي لهذا النبات ؟

الحل: $D = \theta_m - \theta \ / \ \theta$

$D = 800 - 600 \ / \ 600$

$D = 25\ \%$

كما يمكن تقديره بوزن النبات في حالة غضة (**P**) ثم يوزن اثناء تشبعه بالماء (ري + رطوبة جوية) (**Pm**) ثم يجفف ( ) يكون العجز المائي (**D**) **كما يلي :**

$D = Pm - P \ / \ Pm -$

تقدير الماء النسبي في النبات :

يعتبر الماء النسبي المؤشر الفعال للنظام المائي الخلوي لأنه له علاقة بحجم الخلية غذ ينعكس على التوازن بين الملء الموجود في الأوراق و معدل النتح كما انه يمثل الوصف النوعي لتحديد كمية العجز المائي بالأنسجة نظرا للتغير في الوزن الجاف و يمكن تقديره بتطبيق المعادلة التالية :

الماء النسبي **PS - PPT/ PS-PF = Tre X100**

PF الوزن الغض :

PS الوزن الجاف :

PPT الوزن التشيعي :

إنتقال الماء إلى الجذور :

يدخل الماء عن طريق الوبار الماصة ليصل الى الأنابيب الخشبية عن طريق القشرة و السطوانة المركزية حيث يتبع ثلاث مسارات :

- مسار Apoplasmique ينتقل فيه الماء بين الجدر الخلوية مارا بالنقر و الفراغات التي تتخلل الخلايا
- مسار Symplasmique ينتقل فيه الماء من خلال سيتوبلازم الخلايا المتصلة مع بعضها عبر النقر المتجمعة
- مسار transcellulaire ينتقل الماء من خلال جدر الخلايا و الغشاء السيتوبلازمي للفجوة

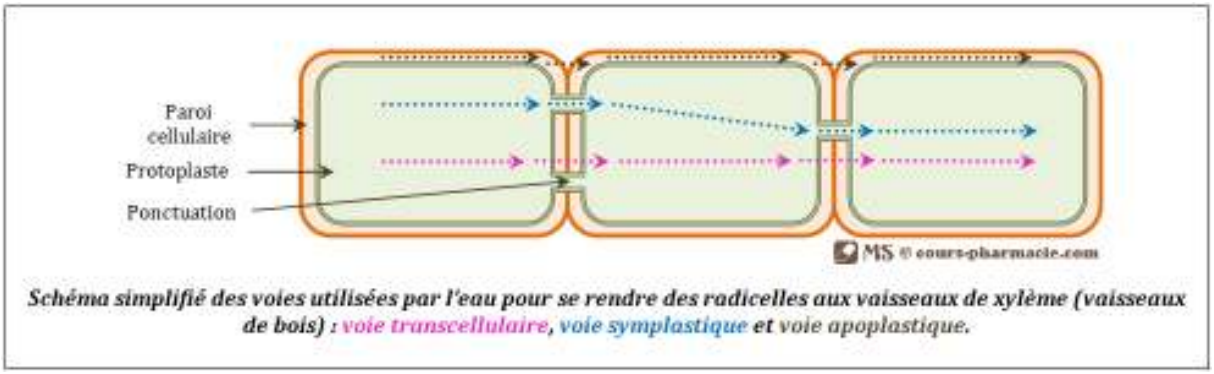
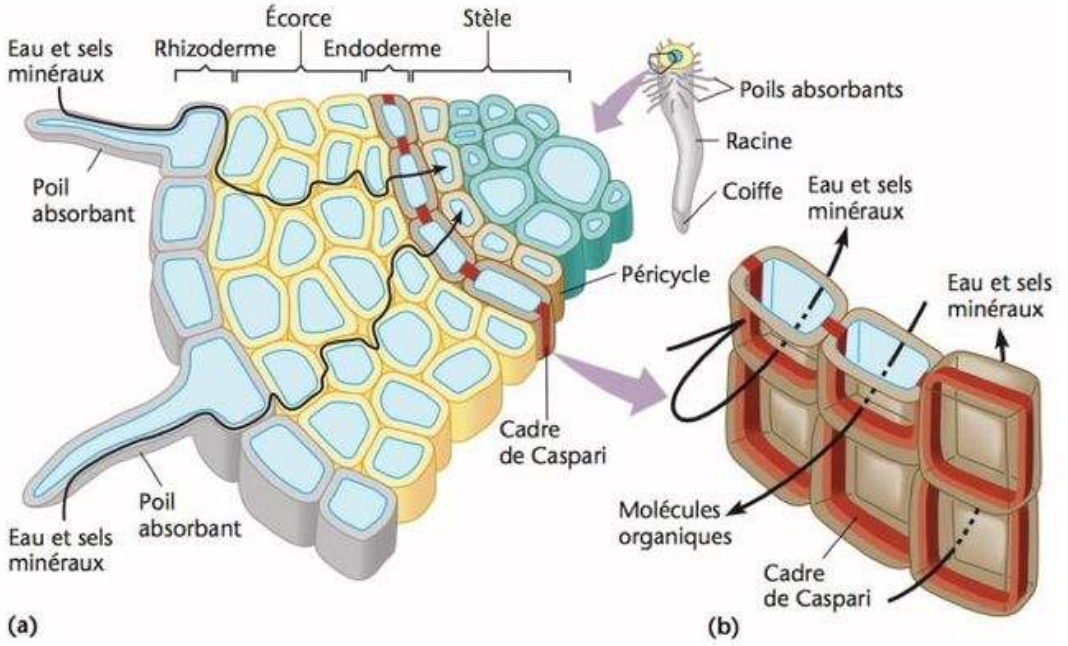


Schéma simplifié des voies utilisées par l'eau pour se rendre des radicelles aux vaisseaux de xylème (vaisseaux de bois) : voie transcellulaire, voie symplastique et voie apoplastique.

إن نقل الماء في المسار الأول Apoplasmique هو المسلك الرئيسي إلا ان شريط كسبير يقطع هذا المسار و يمنع مرور الماء فالماء يلتف و يأخذ طريقه الثاني Symplasmique و بالتالي تبقى المسار الثاني Symplasmique و الثالث transcellulaire هم الأنجح في نقل الماء الى النبات .



آلية إنتقال الماء الى الساق :

عدة ميكانيزمات يمكن ان تكون سند لمفهوم إنتقال الماء من الجذر الى الساق

- **الخاصية الشعرية :**

إن العمود الغير منقطع من الماء بين ماء التربة و نسيج الورقة يرفع من جهدها المائي فالماء المفقود من سطح الخلية يعوض بالماء المنقول من الخلية الورقية محاولا معادلة الجهد المائي لتلك الخلايا فيؤدي في النهاية الى سحب الماء الى اوعية الورقة و بذالك تصبح أنسجة الخشب في حالة شد التي تنقل خلال اعمدة الماء الغير متقطعة من المجموع الجذري الى القمة النامية .

- **الضغط الجذري :**

فاعلية هذا الضغط في إنتقال الماء غير واضحة لدى جميع النباتات فمثلا نبات الصنوبر و بعض الأشجار ينعدم وجود هذا الضغط و كذالك النباتات التي تتميز بمايلي :

1. ذات نتح نشط
2. الجذور المستأصلة غي مشبعة بالهواء
3. تنموفي درجة حرارة منخفضة
4. ينعدم وجود الضغط الجذري في النهار

كما أن هذا الضغط الجذري ذو فاعلية جيدة في نفل الماء و دفعه الى الأعلى في الحالات التالية :

1. في حالة وجود تهوية جيدة للجذور
2. النباتات ذات النتح البطئ
3. ينشط الضغط الجذري في الليل
4. ينشط كذالك لدى النباتات التى تزهر قبل توريقها

- **النتـــح :**

تمتص الجذور الماء من التربة ثم ينقل الماء عبر نسيج الخشب الى خلايا الورقة ذات الإلتحام الغير المتكامل رقيقة الجدران مما ينتج وجود فراغات بين الخلايا مكونة مجلات مثالية للتبخر بالإضافة الى ذالك ان سطح الورقة يتكون من عدد هائل من الثغور التى تفتح من داخل هذه الفراغات مكونة بذالك ممر متصل من داخل الورقة الى المحيط الخارجي أثناء إنغلاق هذه الثغور يفقد الماء عن طريق فتحات على مستوي قشرة الأفرع و السيقان او عن طريق عديسات على مستوى طبقة الفلين و بذالك توجد ثلاث أنواع للنتح

1. **النتح الثغري transpiration stomatique**

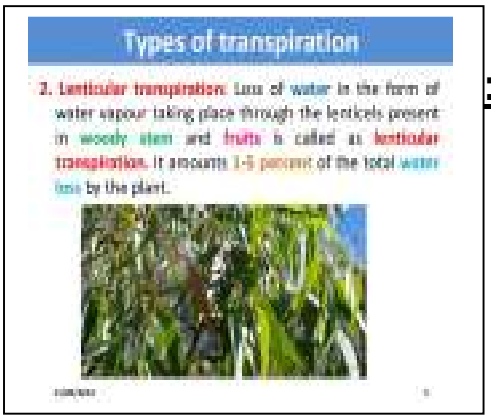
و هو فقد الماء عن طريق الثغور في الورقة

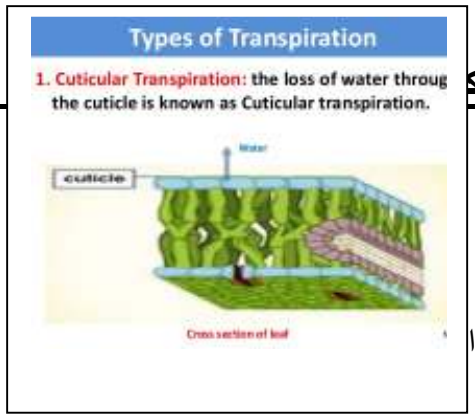
2. **النتح القشري transpiration cuticulaire**

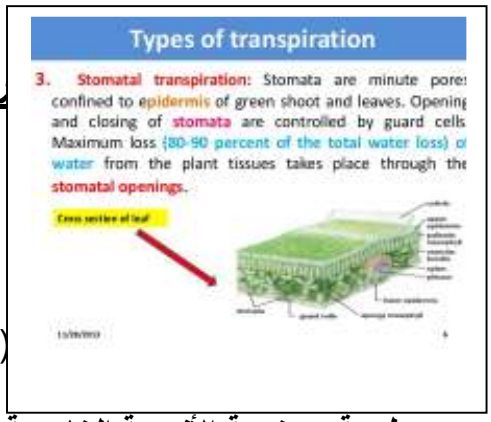
يفقد الماء عن طريق القشرة في القشرة

3. النتح العدسي transpiration lenticulaire

يفقد الماء عن طريق العديسات على طبقة الفلين







طبيعة ووضعية الأنسجة الخارجية :

- نباتات المناطق الجافة (انسجة الورقة سميك)
- نباتات المناطق الرطبة (مغطات بطبقة من الفلين)

عدد ووضعية الثغور :

عندما تكون الثغور مفتوحة تماما يكون عرض الثغر من 40-70 ميكرون يختلف عددها من نبات الى اخر عادة تو جد بوفرة على السطح السفلي للورقة و قد تكون في بعض النباتات على السطحين بإستثناء بعض النباتات المائية التى تنعدم فيها الثغور

الطبقة المخاطية :

- النباتات العصارية (Cactacées)
- النباتات المحبة للملوحة (halophytes)

هذه النباتات الجهد المائي فيها منخفض المر الذي سبب إنخفاض فقد الماء و إحتجازه في الأنسجة فأصبحت عصارية الأعضاء

II. العوامل الخارجية المؤثرة على معدل النتح

- **التربة :**

إنخفاض الرطوبة و الحرارة في التربة يقللان الإمتصاص فيتسبب عجز مائي في النبات المر الذي يؤدي الى إنغلاق الثغر

- **الرياح :**

الرياح تقلل النتح خاصة في المناطق الجافة أو القريبة من البحر اين يكون التبخر النتحي و جفاف التربة منخفضان

- **درجة الحرارة :**

إن الزيادة في درجة الحرارة تسبب زيادة إنغلاق الثغور و تختلف هذه الظاهرة من نبات الى أخر بإختلاف درجات الحرارة و قد يرجع ذالك الى نسبة CO_2 الموجود في الخلايا و ذالك بسبب زيادة معدل التنفس

- **تركيز CO_2:**

إن تركيز CO_2 في الفراغات بين الخلايا في الورقة اكثر تحكما في حركة الثغور من تركيز CO_2 في الهواء الخارجي فالثغور التى تقفل نتيجة لتعرضها لتركيز عالي من CO_2 لا تفتح بسرعة عند نقلها الى جو مظلم خال من CO_2 الإفتراض المنطقي هو ان تركيز CO_2 في الفراغات بين الخلايا في الورقة يبقى عاليا معيقا بذالك فتح الثغور إلا ان التعرض للضوء يسبب فتحها نظرا لإستهلاك ما وجد من CO_2 بين الخلايا في البناء الضوئي .

- **تأثير الإضاءة :**

إن الإضاءة تسبب إنفتاح الثغور عند أغلبية النباتات ما عدى النباتات العصارية (CAM) التي تفتح ثغور اوراقها في الليل و تغلق في النهار .

III. العوامل الداخلية المؤثرة على معدل النتح

للنباتات خواص تأثر على معدل النتح

- **العامل النباتي :**

1. **نسبة المجموع الخضري الى المجموع الجذري :**

إن زيادة معدل النتح يزداد بزيادة نسبة المجموع الجذري الى المجموع الخضري و هذه الخاصية متباينة بين النباتات

2. مساحة الورقة:

كلما زادت مساحة الورقة زاد فقدان الماء لكن لا يوجد توافق نسبي بين مساحة الورقة و الماء المفقود على اساس وحدة المساحة فالنباتات صغير (الأعشاب) تنتح بمعدل اكبر من النباتات الكبيرة (الأشجار)

3. تركيب الورقة :

إن مقاومة اوراق النباتات البيئة الجافة لفقدان الماء او الذبول هو في الأساس نتيجة لسمك طبقة الكيوتين و كفائتها حيث تحت الظروف الجافة تقفل الثغور و يصبح النتح عن طريق الكيوتين هو المنفذ الوحيد لفقدان الماء

4. العوامل الداخلية المؤثرة على معدل النتح

الضوء – الرياح – رطوبة الهواء – درجة الحرارة – توفر الماء في التربة

تأثير النتح على النمو و تكوين الأعضاء :

بين Winberger سنة 1958 في تجاربه ان النتح يأثر بطريق غير مباشرة على نمو بعض الأعضاء النباتية مثل نموات البراعم تحت الرطوبة العالية المؤثرة كما ان زيادة معدل النتح عن الإمتصاص يحدث عجز مائي و ربما يذبل النبات مما يتسبب في موت النبات .

تاثير النتح على إمتصاص الأملاح المعدنية :

اثبتت الدراسات ان عملية إمتصاص الأملاح المعدنية عملية فعالة تتطلب طاقة أيضية إذ يؤثر النتح على إنتقالهم و توزيعهم في النبات بالإضافة الى حدوث إمتصاص أخر ليس له علاقة بتاثير سحب النتح

الإدمـــــاع :

النباتات النامية في جو دافئ رطب أي تحت ظروف عالية الرطوبة تظهر قطرات من الماء على حافة اوراقها ففقدان الماء على هيئة سائل بهذه الطريقة يسمى الإدماع أي تكوين قطرات ماء ليس بماء نقي بل هم محلول يحتوي على عدد كبير من المواد المذابة

التوازن النسبي للنبات :

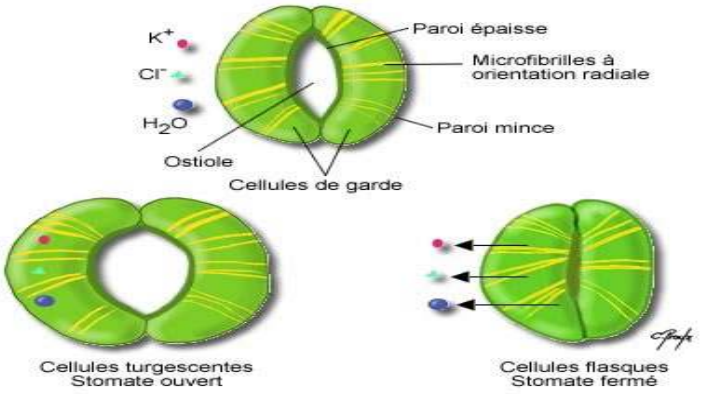
العامل الأساسي لهذا النبات هو إنغلاق الثغور يتدخل مباشرة مجرد ما يكون النبات معرض لحالة متوترة مثل جفاف التربة او جفاف الهواء او درجة الحرارة المتطرفة أو إنخفاض الإمتصاص بفعل البرودة .....الخ و في النهاية يوجد توازن بين النتح و الإمتصاص من خلال الجهد المائي للنبات فعندما يكون نقص في امتصاص الماء يؤدي ذالك الى إنخفاض الجهد المائي الذي ينعكس على الجذور و الأوراق مما يتسبب في النتح و العكس حيث أن النتح المفرط يرفع من الجهد المائي مما يتسبب في تحريض الإمتصاص

ميكانيزم إنفتاح و إنغلاق الثغور :

1. طرق تقدير ميكانيزم إنفتاح و إنغلاق الثغور :

إن الدراسات التجريبية لإنفتاح و إنغلاق الثغور يتطلب قياسات جد دقيقة إلا أن هناك طريقتان تستعمل في المخابر هي كما يلي :

- طريقة العد البصري : يستعمل جهاز microphotographie المأخوذة من الورقة او من بصامات أجريت بواسطة قشرة السليكون
- طريقة التسرب : توضع قطرة من مخلوط من xylol و البرفين على ورقة النبات و بعد مدة زمنية محددة يقاس قطر هذه البقعة بسبب إختراق السائل
- إستعمال جهاز porometre : حيث يقيس كل لحظة درجة إنفتاح الثغر



2. آلية إنفتاح و الإنغلاق :

أن إنفتاح الثغور ناتج عن تغير شكل الخلايا الحارسة تحت تأثير إرتفاع ضغط الفجوة فالعديد من الأبحاث أجمعت الرئ ان إنفتاح الثغور هو بدلالة الفرق بين الضغط الإنتفاخي للخلايا الحارسة(**Tg**) و الضغط الإنتفاخي لخلايا البشرة (**Te**)

- عندما يكون **Te - Tg < 0 أي** سالبة فإن الخلايا الحارسة تكون مضغوطة بواسطة خلايا البشرة و تكون متطابقة على بعضها البعض و بالتالي فإن الثغر يكون مغلقا
- عندما يكون **Te - Tg > 0 أي** موجبة فإن الخلايا الحارسة منتفخة و بمأن جدرانها الخارجية المقابلة لجهة الثغر رقيقة فإنها تتمدد اكثر من الجدار الداخلي جهة الثغر مما يؤدي الى تقوسه فالثغر يفتح

مثال : **Tg > Te** جفاف قليل ◄ ثغر مفتوح

Tg < Te جفاف قوي ◄ ثغر مغلق

Te < Tg النهار ◄ ثغر مفتوح

Te > Tg ليل ◄ ثغر مغلق

العوامل المؤثرة على الضغط الأسموزي في الخلايا الحارسة :

- نسبة عنصر K^+ في الخلايا الحارسة

◄ ثغر مفتوح تركيز K^+ (0.3- 0.5) مول

◄ ثغر مغلق تركيز K^+ (0.01- 0.05) مول

- مضخة K و H (البروتونات)
- الطاقة الضوئية بإعطاء ATP هذه الطاقة تنشط مضخة H^+ - ATPase
- الأيونات التي تعدل K^+ داخل الخلايا هي Cl^- , Malate

العوامل المراقبة لعملية إنفتاح إنغلاق الثغور :

I. العوامل الخارجية :

- **محتوى العناصر المعدنية في الوسط الغذائي :**

- نقص محتوى K^+ في الوسط الغذائي يؤدي الى إنخفاضه في الأوراق الأمر الذي يسبب إنغلاق الثغر
- إرتفاع محتوى عنصر Ca^+ يسبب إنغلاق الثغور و هذا بسبب تنافسه مع K^+ / Ca^+
- نقص الأزوت و الفوسفور في الأوراق يؤديان الى إنغلاق الثغور و هذا نتيجة الخلل الذي يحدثانه في العمليات الأيضية خاصة أثناء تخليق ATP الضرورية لوظيفة مضخة H^+ - ATPase
- الإضاءة هي العامل الأساسي لإنفتاح الثغور أثناء النهار عندما تكون العوامل الخرى مؤثرة ما عدى التباتات العصارية تأثير الإضاءة يتم بطريقتين

1- تنشيط مضخة H^+ - ATPase خاصة الشعة الزرقاء

2- يساهم في تخليق Malate ← oxaloacetate ← phosphoenolpyruvate

Déhydrogenase (H^+) — PEPCarboxylasee (CO_2)

II. العوامل الداخلية :

- **تركيز CO_2 الداخلي**

إن تركيز CO_2 في الخلايا تحت ثغرية مثبط لإنفتاح الثغور و الدليل على ذالك ان في النهار التمثيل الضوئي ينشط بفعل الإضاءة فيقل محتوى CO_2 في الخلايا التحت ثغرية مما يؤدي الى إنفتاح الثغور أما في الليل فإن عملية التنفس تؤدي الى إرتفاع CO_2 في الخلايا التحت ثغرية فينغلق الثغر

- **هرمون حامض الأبسيسيك :**

يعتبر هذا الهرمون المؤشر الفعال للتوترات البيئية فإرتفاعه تحت هذه الظروف يؤدي الى إنغلاق الثغر

- **هرمون الأكسين :**

يتباين تأثيره حسب الأجناس فتأثيره إيجابي على إنفتاح الثغور عكس حامض الأبسيسيك فهما هرمونان متنافسان متعاكسي التأثير فإحتمال أن الأكسين ينشط مضخة H^+ - ATPase و نفس التأثير لوحظ لدى هرمون السيتوكينين بينما الجبريلينين ليس له تأثير على الثغور

- **هرمون الإثيلين :**

يلعب الإثيلين دورا غير مباشر على إنغلاق الثغور خاصة أثناء التوترات البيئية (جفاف ، ملوحة ...الخ) و يكون ذالك بسبب تثبيطه لعملية التمثيل الضوئي الأمر الذي يؤدي الى إرتفاع تركيز CO_2 الداخلي

النقولية و المقاومة الثغرية :

إن الأنسجة المحيطية للورقة من بشرة و قشرة و كذا حركة الثغور (إنغلاق و إنفتاح) تسهل التبادلات الغازية و كذالك خروج بخار الماء الى الوسط الخارجي هذه التبادلات بين الوسطين (الداخلي و الخارجي) يكون الفاصل بينهما غشاء شبه نفاذ تمارس عليه قوة ضاغطة فكلما كانت مقاومة هذا الغشاء ضعيفة كانت نقوليته لهذه التبادلات كبيرة و العكس و من هنا فإن النقولية الثغرية هي مقلوب المقاومة الثغرية و المقاومة (**Rs**)هي مقلوب النقولية(**Es**) وعليه تكون بالقانةن التالي :

$$Es / 1 = Rs$$

ميكانيزم إمتصاص الماء :

معظم الماء الممتص يتم بواسطة ميكانيزمات أسموزية كما سبق ذكر ذالك فهناك إمتصاص لا محكوم أي لا يتحكم فيه أيض النبات (passive) و إمتصاص محكوم اي فعال (active) و هو الذي يتحكم فيه أيض التبات أي طاقة الأيض تصرف أثناء الإمتصاص

- **الإمتصاص اللا محكوم(passive)**

في النباتات سريعة النتح تكون الوعية الخشبية و القصيبات في حالة توتر سلبي تحت هذه الظروف بإمكان النتح ان يكون قوة سحب نتيجة للتحرك السريع لأعمدة الماء فيسحب الماء من التربة الى داخل الجذر و بالتالي الجهد المائي لعصارة الخلية تصبح أكثر سالبية نتيجة تعرضها لإزدياد التوتر السلبي

- **الإمتصاص المحكوم اى فعال (active)**

إن الإمتصاص الفعال للماء يعني أن الماء يمتص مع إنفاق طاقة أيضية فهو يحدث نتيجة تفاعلات في الجذر و لادخل للمجموع الخضري في ذالك فيعتقد أنه يحدث بطريقتين :

- إمتصاص فعال نتيجة فعاليات أسموزية
- إمتصاص فعال نتيجة فعاليات غير أسموزية
- **الإمتصاص الفعال ذو الآلية الأسموزية**

يعتقد ان الماء يتحرك من التربة الى داخل الجذر عبر تدرج و جهد مائي سالب متزايد أي أن الماء يتحرك خلال بشرة الجذر و القشرة و من ثم الى داخل القنوات الخشب نظرا لتركيزات المذاب المتزايدة أثناء مروره من خارج الى داخل خلايا الجذر فالماء بهذه الكيفية لا يتطلب إنفاق مباشر للطاقة فالطاقة تستخدم في تجمع الأملاح و الجهد الأسموزي هو القوة المحركة للماء

- **الإمتصاص الفعال ذو الآلية الغير الأسموزية**

ما تعنيه حركة الماء الغير أسموزية هو ان الماء يتحرك ضد التركيز المتدرج بمعدل سريع و ان هذا يتطلب إنفاق طاقة أيضية كما ان هذه الطاقة الأيضية ذات صلة مباشرة بالإمتصاص

chapter 3

التغذية المعدنية mineral nutrition

إمتصاص الأملاح المعدنية :

إن إمتصاص العناصر المعدنية من التربة يتم عبر آلية فزيائية و ما عامل النتح إلا عاملا مساعدا لإنتشارها في النبات تم تفسير هذه الآلية الفزيائية بالإعتماد على طاقة التحول الغذائي أي أن الإمتصاص الغذائي يتم بعملية فعالة و ليس بلإمتصاص الغير فعال

الإمتصاص الغير فعال (passive):

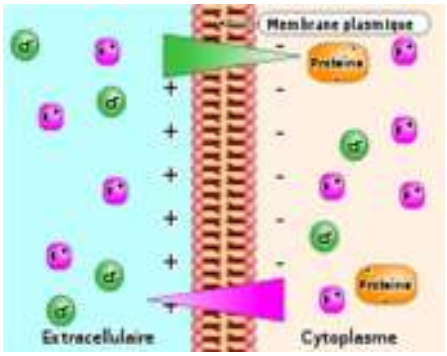
يقع إمتصاص الأملاح من خلال التلامس المباشر بين النظام الجذري و بين غرويات التربة و محلولها بحيث يحدث إنتقال إبتدائي عالي للأيونات و يعقب هذا الإنتقال إنتقال منتظم و بطئ و يكون حاكمه هم التحول الغذائي بينما لا يتأثر الإمتصاص الأول السريع بدرجة الحرارة و لا بمثبطات التحول الغذائي و يمكن التوصل الى ذالك عبر آلية :

- التبادل الأيوني
- التدفق الكتلي

I. التبادل الأيوني :

لقد أمكن إثبات أن جذور النباتات لها خواص تشبه خواص الغرويات و يكون سطح الجذر نشطا لعمليات التبادل بتأثير الطبقة الكهربائية المزدوجة التي تكون الداخلية فيها سالبة و الخارجية موجبة مكونة تبادل بين الكاتيونات و الأنيونات و من هنا نجد أن آلية التبادل الأيوني تسمح بإمتصاص أعلى للأيونات من الوسط الخارجي عن طريق الإنتشار الحر و يمكن إستخدام مفهوم Donnan في تفسير تراكم الأيونات السالبة عكس فرق التركيز دون إشتراك طاقة التحول الغذائي

مفهوم Donnan



الإنتشار الأيوني عبر الأغشية

غشاء أصم بالنسبة الأيونات B^- مما يسبب زيادة إضافة في كاتيومنات C^+ (مراكمة كاتيونية)

غشاء أصم بالنسبة لكاتيون D^+ مما يسبب إنتشار الأينات الإضافية A^-(مراكمة أنيونية)

II. التدفق الكتلي :

لقد ثبت بالدراسات الإشعاعية أن الماء هو سبب جذب العناصر الغذائية الى الأعلى عبر الأوعية الخشبية كما في حالة النتح أي بمساعدة الشد النتحي و تعمل هذه الآلية في غياب طاقة التحول الغذائي

الإمتصاص الفعال (active):

يمتنع التراكم الأيوني بتوقف أنشطة التحولات الغذائية في النبات و هي كما يلي :

- إنخفاض درجة الحرارة
- إنخفاض الأكسجين
- بوجود مثبطات التحولات الغذائية

لا يسعنا إلا فرض إحتياج التراكم الأيوني في النباتات الى طاقة التحول الغذائي إ لا أن النقل الفعال لأيون ما عبر غشاء غير نفاذ (أصم) يتم بإستعانة بوسيط في الغشاء يعرف بالحامل

مفهوم الحامل :

ان المساحة الواقعة بين الحيزين الداخلي و الخارجي غير نفاذة للأيونات الحرة و يعتقد أن المسار عبر هذه المساحة يتطلب و ساطة أي حوامل خاصة تتحد مع الأيونات في الحيز الخارجي ثم يحررها في الحيز الداخلي و يسمى هذا الحاجز بالغشاء الأصم كما توجد هذه الحوامل ضمن الحاجز و هناك ثلاث مميزات لإمتصاص الأملاح و النقل الفعال تبرز صحة مفهوم الحامل

- **تبادل النظائر :**

إن إمتصاص الأيونات الإجمالي ينقسم الى قسمين قسم قابل للإنتشار و قسم يتم نقله نقلا فعالا

- **القسم الأول :** قسم قابل للإنتشار يتحرك بحرية و بإمكانه أن يمتص عكسيا أي الخروج مرة ثانية من غشاء الجذر

- **القسم الثاني :**ينقل نقلا فعالا لا يستطيع الإنتشار الى الحيز الخارجي أثناء فترة لإمتصاص العكسي كما أنه لا يستطيع أن يتبادل من أجل الحصول على أيونات من نفس النوع

- **تأثيرات التشبع :**

إن المواقع الموجودة على الحوامل تبقى مشغولة طول الوقت فاول ما يطلق أحد الحوامل أيونافي الحيز الداخلي حمله من الحيز الخارجي سرعانا ما يرتبط بأيونا آخر من الحيز الخارجي و من هنا نجد أن الدورة في حالة نقطة التشبع

- **التخصص :**

إن الجذور تمتص الأيونات بالإنتخاب هذا يعني أن الحوامل متخصصة و أن هذا التخصص صارما نوعا ما بالنسبة للأيونات الغير متشابهة في سلوكها الكميائي بينما يبدوا ضعيفا أو حتى لايوجد بالنسبة للأيونات المتشابهة السلوك الكميائي مثال :

Sulfate يثبط selenate

Phosphate لا يثبط selenate

Rubidium ينافس potassium

يوجد تماثل مع فعل الإنزيم على مادة الأساس وفعل الحامل ، يمكن ان يملك موقع إرتباط يجذب أيونين أو أكثر كما يمكن لهذا الموقع أيضا أن يفاضل بين أيونات بالإنتخاب مثلما يفاضل الإنزيم بين مواد الأساس .

آلية الإمتصاص على مفهوم الحامل :

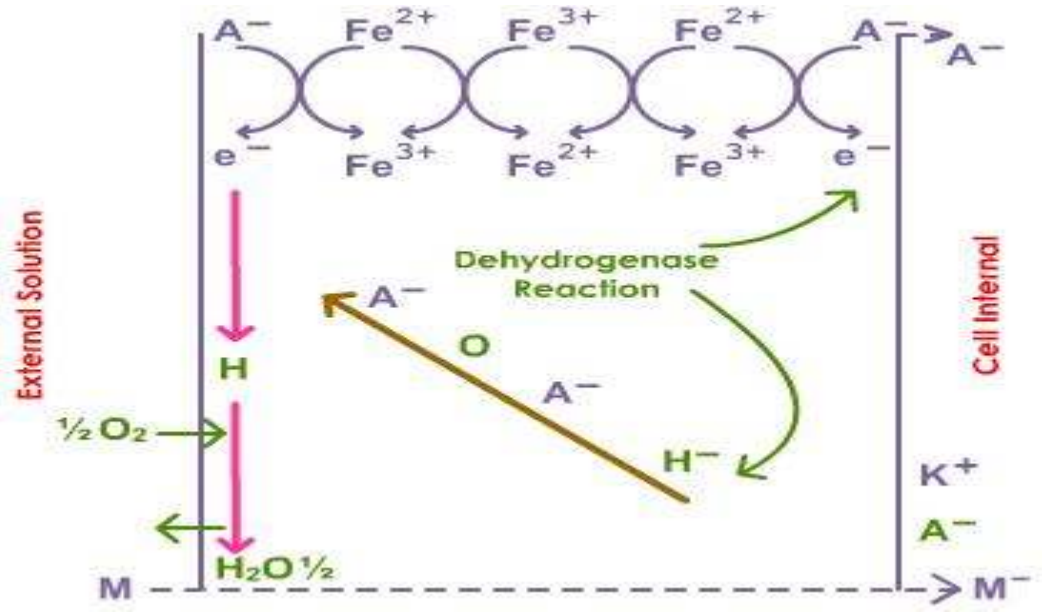
أحدهما تشارك فيها السيتوكرومات بينما الأخرى بمساعدة ATP

I. ألية الإمتصاص بمشاركة مضخة السيتوكرومات :

" ملاحظة Lundegardh "التنفس الملحي " فرضية هذه النظرية تتلخص فيما يلي :

- لا يعتمد إمتصاص الأيونات السالبة على إمتصاص الأيونات الموجبة بل يعتمد على آلية مختلفة تماما
- يوجد تباين في تركيز الأكسجين يبدأ من السطح الخارجي بينما يزيد الإختزال عند السطح الداخلي
- يحدث نقل فعلي للأيونات السالبة عبر منظومة السيتوكرومات و إحتمال أن تكون هذه السيتوكرومات هي حوامل الأيونات السالبة و الشكل التالي يوضح نظرية Lundegardh

لم تحظى هذه النظرية بالقبول العام بل واجهت إنتقادات عديدة من الباحثين مثل Robertson و آخرون على أن Dichlorophenolindophenole 2.4 (DNP) هو عامل مثبط للفسفرة التأكسدية يزيد من التنفس و لكنه يقلل من الإمتصاص .



II. آلية الإمتصاص بمشاركة ATP

أصبح إكتشاف Robertson و آخرون ان تثبيط (DNP) 2.4 Dichlorophenolindophenole لعنلية الإمتصاص الملحي دليلا قويا على أن مشاركة **ATP** في الإمتصاص الملحي الفعال فتركيز

(DNP) 2.4 Dichlorophenolindophenole سوف تعيق تكوين **ATP** و لا يؤثر بالزيادة أو بالنقصان على التنفس لقد بين Bennet-Clark آلية الإمتصاص الفعال بواسطة المشاركة لـ **ATP**

إذ إقترح إحتمال أن تكون الدهون الفوسفاتية لها دور في عملية نقل الأيونات عبر الأغشية الصماء و أثناء هذا النقل يتخلق Licithin (الدهون الفوسفاتية) إذ يتهدرج بشكل دوري مكتسبا في ذالك أيون على السطح الخارجي و يحرره بالهدرجة الى الحيز الداخلي و يتطلب هذا وجود **ATP** كما هو موضح في الشكل

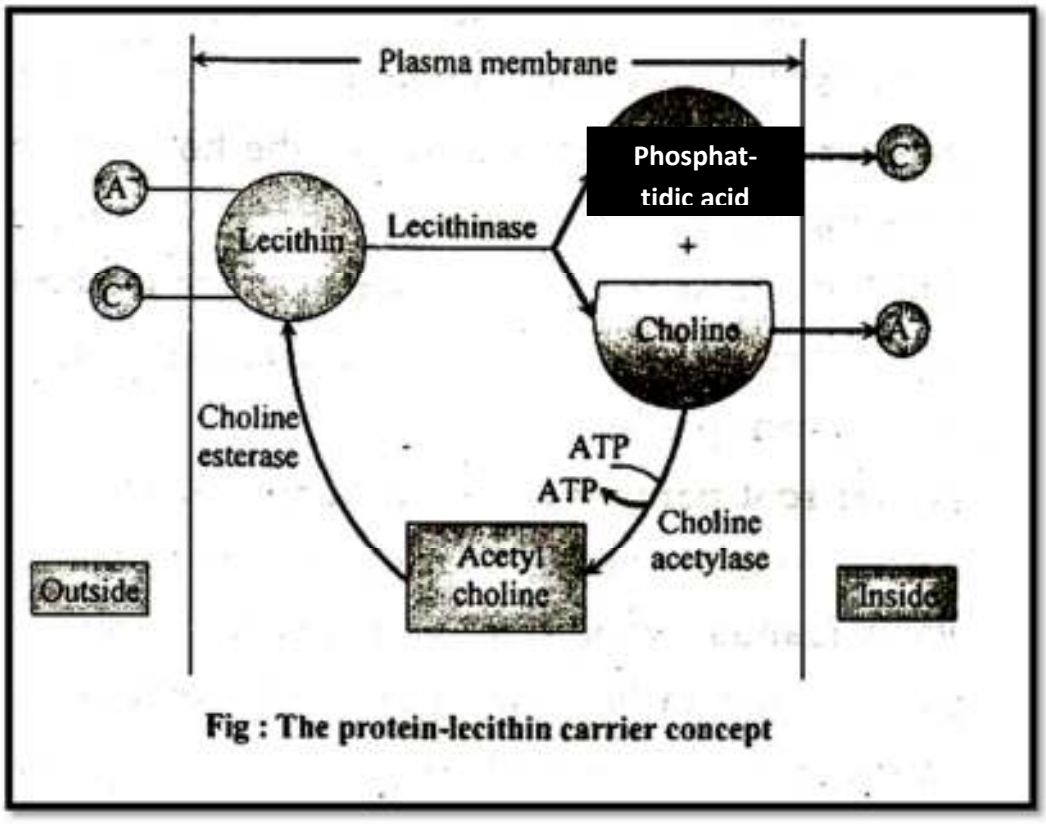


Fig : The protein-lecithin carrier concept

العوامل المؤثرة على إمتصاص الملاح :

- **درجة الحرارة :**

يؤدي إرتفاع درجة الحرارة عموما الى تسارع عملية إمتصاص الأملاح و لكن هذا التأثير محصور في مدى ضيق نسبيا فإرتفاع درجة الحرارة إذا تجاوز الحد الأقصى قد يثبط الإمتصاص و من ثم إيقاف العملية تماما و هذا التأثير يشمل كل من الإمتصاص الفعال و الغير فعال

- **درجة الحموضة :**

إذا تجاوز المدى الفسيولوجي لقيم pH نتوقع إلحاق الضرر بأنسجة النبات و كذالك في حوامل الأيونات مما يثبط في نهاية الأمر حدوث إمتصاص الأملاح .

- **الضوء :**

يؤثر الصوء على إنفتاح الثغور و إنغلاقها و كذالك في عملية البناء الضوئي تأثيرا غير مباشر على إمتصاص الأملاح فالثغور المفتوحة تزيد من عملي النتح الأمر الذي ينعكس على التدفق الكتلي للماء و بهذا يمكنها التأثير بصورة غير مباشرة في إمتصاص الملاح

- **الأكسجـــــين :**

يسبب غياب الأكسجين تثبيط الطور الفعال لإمتصاص الأملاح هذه الملاحظة من أقوى العوامل التى دعمت نظريات النقل الفعال .

- **الفعل التبادلي :**

إن إمتصاص أحد الأيونات بتأثر بوجود أيون أخر مثال ذالك إمتصاص K^+ يتأثر بوجود Mn , Ca^{2+} سبب ذالك يعود الى التنافس على م وافع الإرتباط على الحوامل فإذا توفرت مواقع الإرتباط بصورة كافية يتضائل الفعل التبادلي و من ثم تمتص الأيونات ذات المواقع المشتركة بكفائة عالية .

- **النمو :**

يتسبب تطور المجموع الخضري و ما يصاحبه من نشاطات التحول الغذائي في إرتفاع الطلب على الكثير من العناصر الغذائي كما يصاحب هذا النمو زيادة في تحرك الماء الذي يمكن أن يؤثر في الإمتصاص الغير فعال للأملاح و توزيعها

الإنتـــــــقال La translocation :

يتم تداول العناصر الغذائية بوجه عام في الأنسجة الوعائية (خشب و لحاء) و عرف ذالك منذ إدخال طرق إستعمال النظائر المشعة حيث تم إكتشاف عدة مسارات مختلف تنقل عبرها الأملاح

- **النسغ الصاعد :**

تحدث حركة النسغ الصاعد لنقل الأملاح في خلايا الأملاح أساسا على الرغم من أن بعض من الحركة الصاعدة تحدث أيضا في اللحاء

- **النسغ النازل :**

تحدث حركة النسغ النازل للعناصر المعدنية من خلال حركة الأملاح في أنسجة اللحاء حيث تحدث الحركة للنسغ الصاعد أيضا و لهذا السبب تدعى حركة الأملاح في أنسجة اللحاء بالحركة الثنائية

- **الحركة الجانبية :**

تحدث الحركة الجانبية بين الخشب و اللحاء بوساطة من الكمبيوم

- **حركة في الأوراق :**

تحدث هذه الحركة قبل سقوط الأوراق من خلال نسيج اللحاء

chapter 4

التغذية النيتروجينية nitrogen nutrition :

مقدمة :

ان النيتروجين غير ميسر في الطبيعة للنبات حيث لا يوجد في صورة معدنية ولكن يوجد النيتروجين كغاز بالهواء والتى تصل نسبته الى78 %من مكونات الهواء ولكن النبات لا يستطيع تثبيت النيتروجين وتقوم الكائنات الدقيقة نيابة عنه بذلك الدور

أشكال النتروجين المتاحة للنبات :

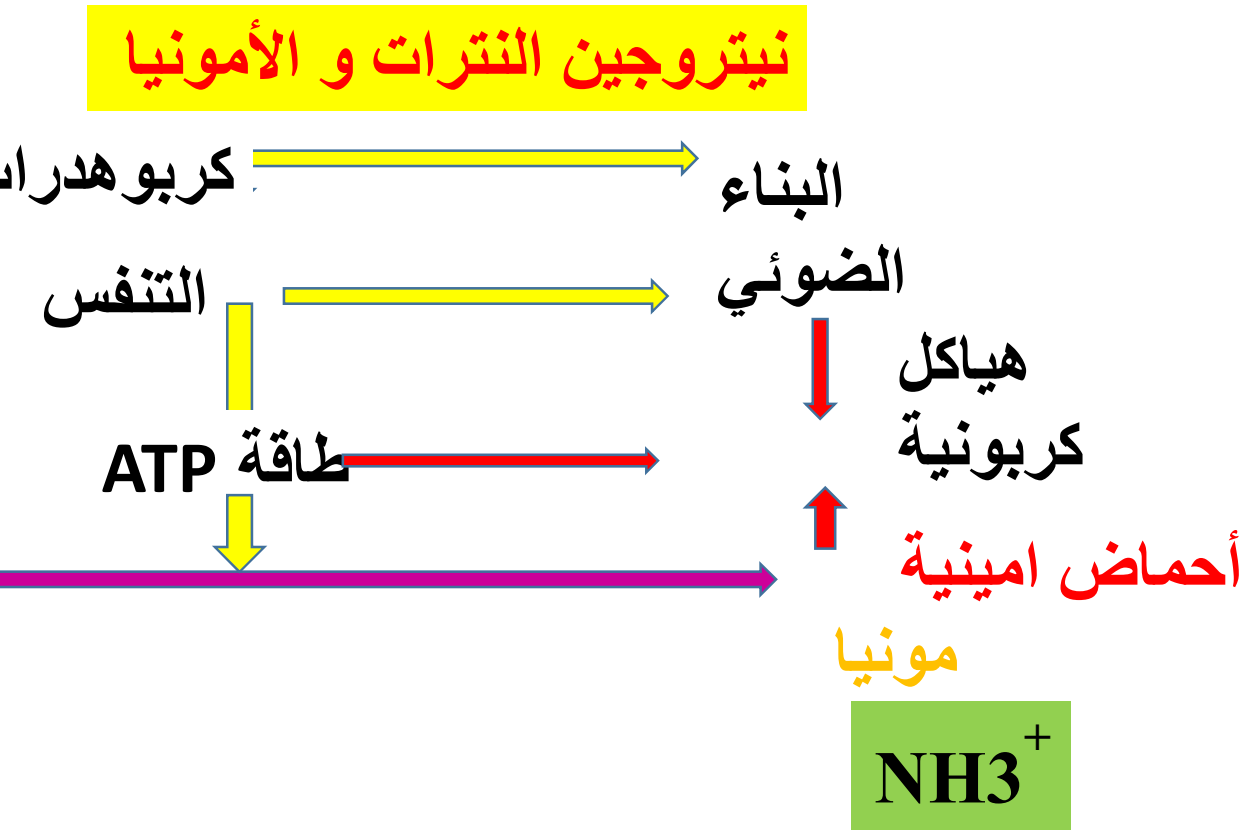
- **نيتروجين العضوي**

1. **نيتروجين موجود فى النترات NO_3^-**
2. **نيتروجين موجود فى الأمونيا NH_3^{-3}**

- **نيتروجين الجزيئى N_2**

غالبية النباتات تنتفع بالأشكال الثلاثة للنتروجين النترات، الأمونيا، نيتروجين ا لعضوي ويقتصر الإنتفاع نيتروجين الجزيئي N_2إلا على فئة قليلة منها ، ***Azotobacter vinelandii*** ، **clostridium botulinum ، nostoc ، anabaena ،جذور البقوليات**

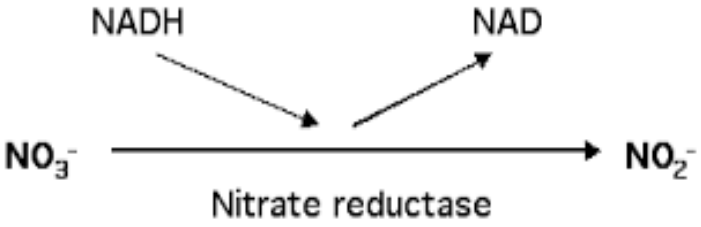
يتروجين النترات و الأمونيا



العلاقة بناء الكربوهدرات في النبات و إختزال النترات و تمثيلها

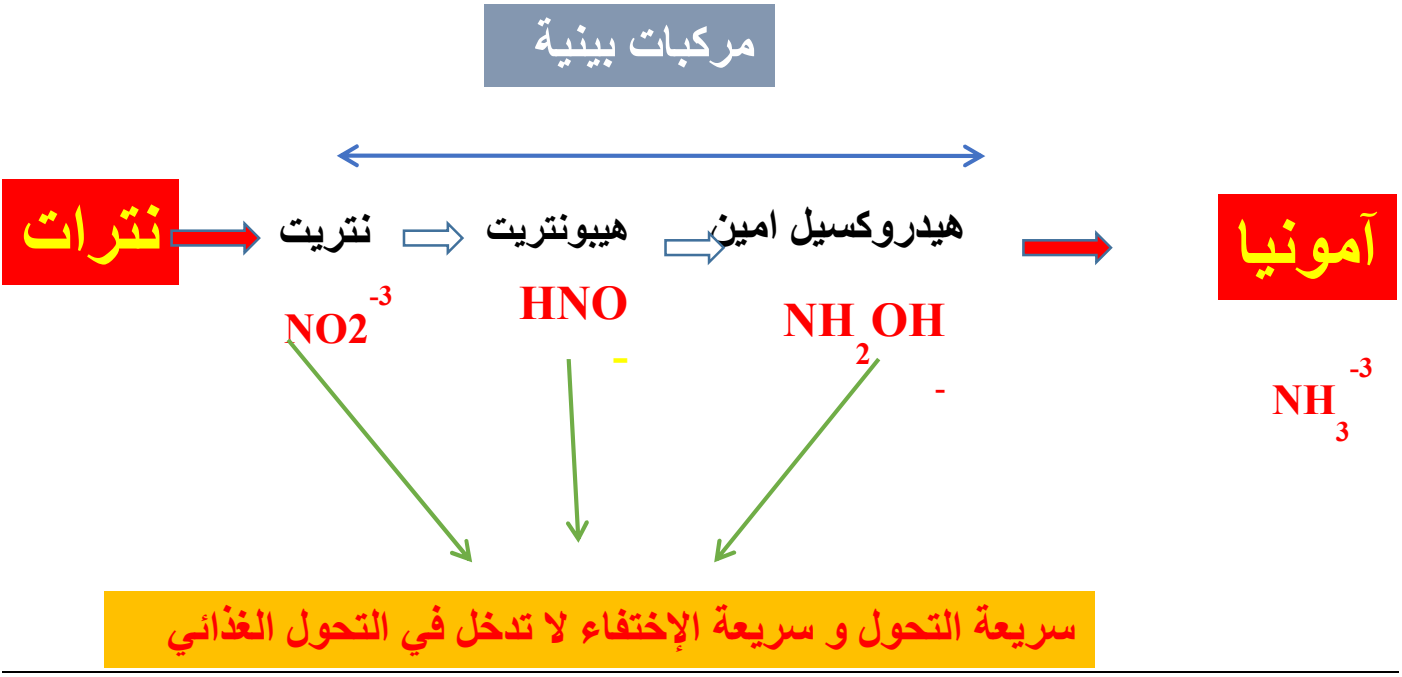
اولاً : اختزال النترات Nitrate reduction

يقوم النبات بامتصاص النيتروجين على صورة نترات ولا يكون استعماله الا بعد اختزالة الى الامونيا قبل اتحادها لتكوين المركبات النيتروجينية تحت تأثير انزيم nitrate reductase تم عزله لأول مرة في نبات الفول الصويا soyabean



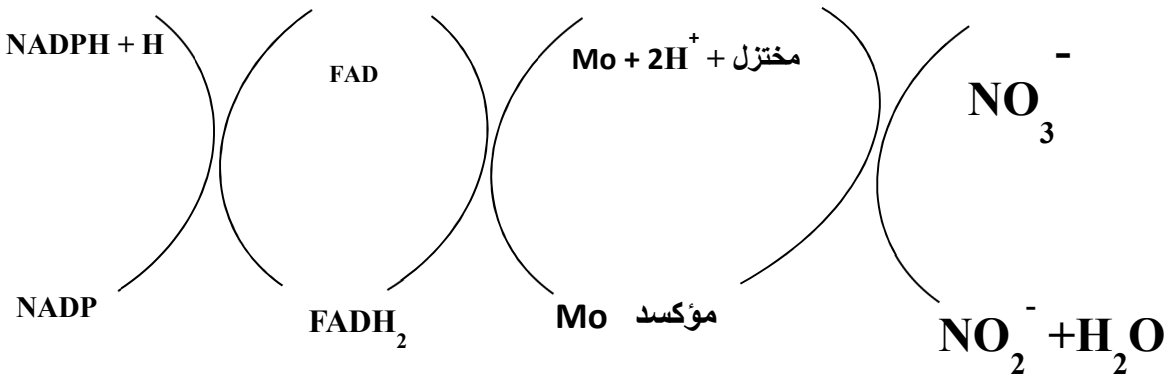
Cytosol of root or shoot cells

المركبات البينية اثناء اختزال النترات الى امونيا



وصف انزيم nitrate reductase

تحتوي هذه المنظومة على pyridine nucleotide (NADP , NADPH) و يكون واهب للإلكترونات كما يحتوي على flavine dinucleotide (FAD, FADH) و عنصر الموليبدان Mo بوصفه منشط



تعاقب نقل الإلكترونات اثناء إختزال النترات بمساعدة انريم nitrate reductase

التسميد الورقي بسماد اليوريا

تستخدم اليوريا سواء عن طريق التربة أو عن طريق رش المجموع الخضري بمحاليل تحتوي على اليوريا

مكاناية مزج اليوريا بغيره من الأسمدة

- **يمكن مزج اليوريا مع سلفات البوتاس**
- **لايمكن مزج اليوريا مع سماد نترات الأمونيوم**
- **يمكن مزج اليوريا مع السوبر فوسفا**

$$NH_2CONH_2 + H^+ + 2H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} 2NH_4^+ + HCO_3^-$$

النتروجين الجزيئى

- **التثبيت الفيزيائى**

وهى عملية فيزيائية تنتج عن التاثير المؤين للبرق على غاز N2الذى يتحول الى نترات No3والتى بدورها تتساقط مع الامطار على التربة والمياه السطحية

- **التثبيت الحيوي**

بواسطة البكتريا والطحالب المثبتة للنتروجين والمتواجدة فى الماء والتربة حيث يتم تحويل النتروجين الجوى الخامل الى مركبات تستطيع النباتات الاسفادة منها مثل الامونيا والنترات التى تعد اهم مصدر لنيتروجين للنبات لسهولة امتصاصها

التثبيت الحيوى

يمكن تقسيم طرق التثبيت الحيوى للنيتروجين إلى :

- **التثبيت التكافلى للنيتروجين**

حيث تقوم به بعض الكائنات الأرضية الدقيقة ومنها بكتريا متخصصة تكافلية

- **التثبيت غير التكافلى للنيتروجن**

تقوم به كائنات حرة المعيشة فى الأرض الزراعية أى غير تكافلية

العوامل التى تؤثر على معدل تثبيت النيتروجين حيوياً أهمها :

- ❖ رقم الـ pH حيث تقل كفاءة التثبيت كلما انخفض رقم pH الأرض الزراعية ويرجع ذلك لأن بكتيريا الريزوبيم حساسة للحموضة
- ❖ محتوى الأرض من النيتروجين حيث يقل معدل التثبيت كلما زاد محتوى الأرض من النيتروجين الميسر
- ❖ يزداد معدل التثبيت كلما توافر فى الأرض كمية ملائمة من عناصر P Ca , K فى صورة ميسرة

- تعتبر عناصر الموليبدن والكوبلت ضرورية لكل أنواع البكتيريا المثبتة للنيتروجين ، حيث يزداد معدل التثبيت بزيادة محتوى الأرض من هذه العناصر.
- تلعب الحالة الغذائية للنباتات البقولية دوراً هاماً فى مقدار كمية النيتروجين المثبتة ، حيث يزداد معدل التثبيت كلما زاد معدل التمثيل الضوئى فى النبات

التثبيت غير التكافلى للنيتروجن Non symbiotic N- Fixation

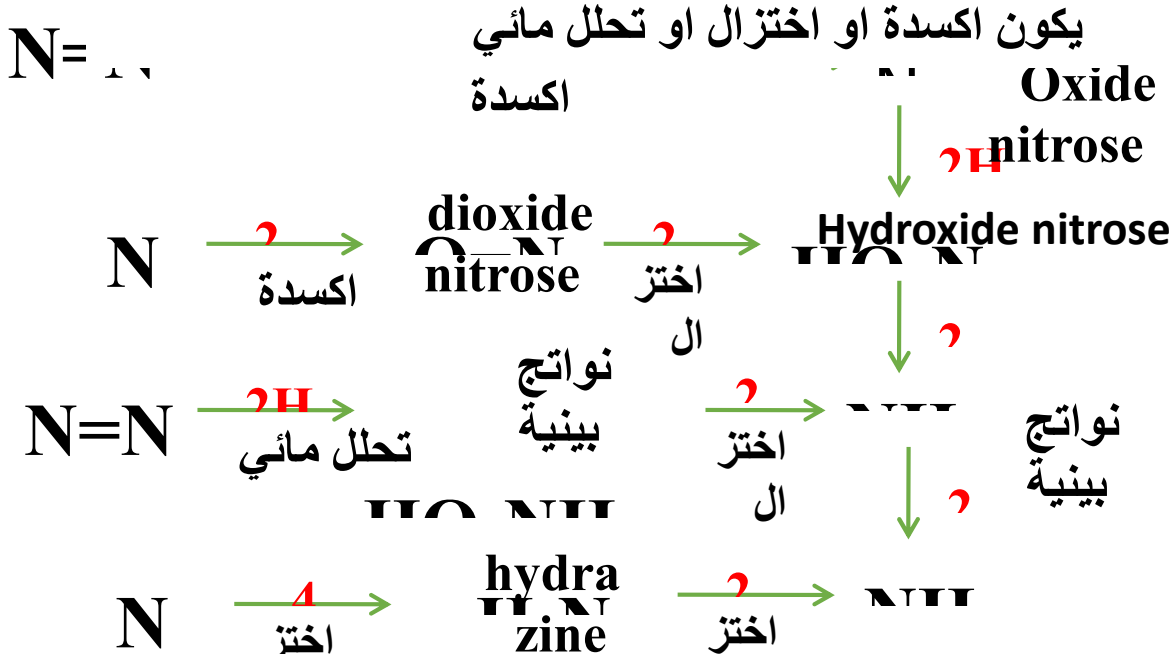
اكتشف العالم ***Clostridium pastorinium*** **: 1894winogradsky**

كما اكتشف ***Azotobacter chroococcum*** **: Beljerinck 1901**

ومنذ ذالك الوقت تم اكتشاف العديد من انواع البكتريا المثبتة للنتروجين كلها من نوع Azotobacter

مسار تثبيت اللاتكافلي

اشار Webster ان تثبيت النتروجين اللاتكافلي يمكن ان يكون اكسدة او اختزال او تحلل مائي



هذه النواتج البينية المتكونة سرعان ماتختزل بالكامل الى مستوى الأمونيا قبل ان تدخل في منظومة التحول الغذائي

التثبيت التكافلى للنيتروجين Symbiotic N2 Fixation

بعض الكائنات الأرضية الدقيقة توجد في التربة منها بكتريا متخصصة تكافلية Symbiosis

فى معيشتها داخل العقد الجذرية للعديد من النباتات البقولية. كذلك الموجودة فى جذور كثير من النباتات العشبية أو جذور بعض الأشجار ومن هذه الكائنات الأرضية الدقيقة

- **بكتيريا من جنس Rhizobium sp و التى تعيش تكافلياً مع جذور النباتات البقولية**
- **بكتيريا خيطية مثل Actenomycete والتى تعيش فى جذور نباتات غير بقولية مثل لكازورينا Casuarina والحور Alder**
- **الطحالب الخضراء المزرقة blue-green algae تستطيع أن تُقيم علاقة تكافلية مع بعض الفطريات مثلا الفطريات و الأشنيات**

<u>التثبيت التكافلى لنيتروجين Symbiotic N2 Fixation</u>

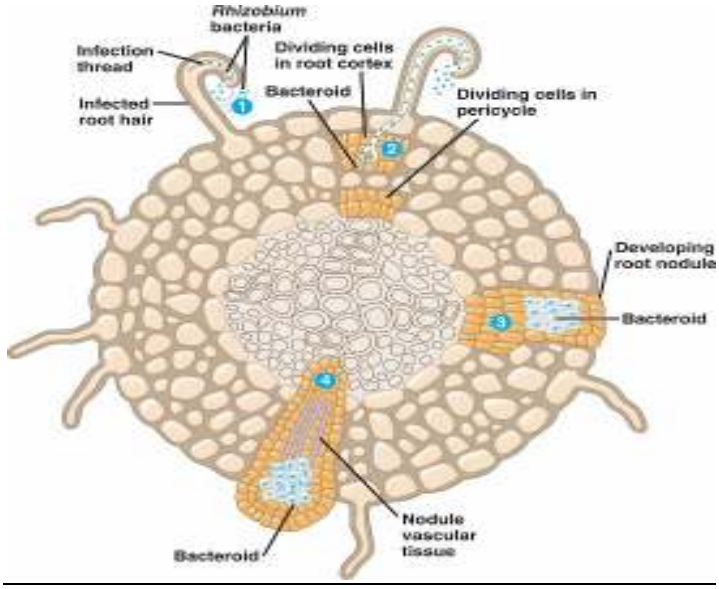
- يجري هذا التثبيت مع بكتريا التربة من جنس Rhizobiumلا يستطيع اي من الكائنين تثبيت النتروجين منفردا
- يكون الموقع الفعلي لتثبيت النتروجين في العقد الجذرية nodules التي تتكون على جذور البقوليات

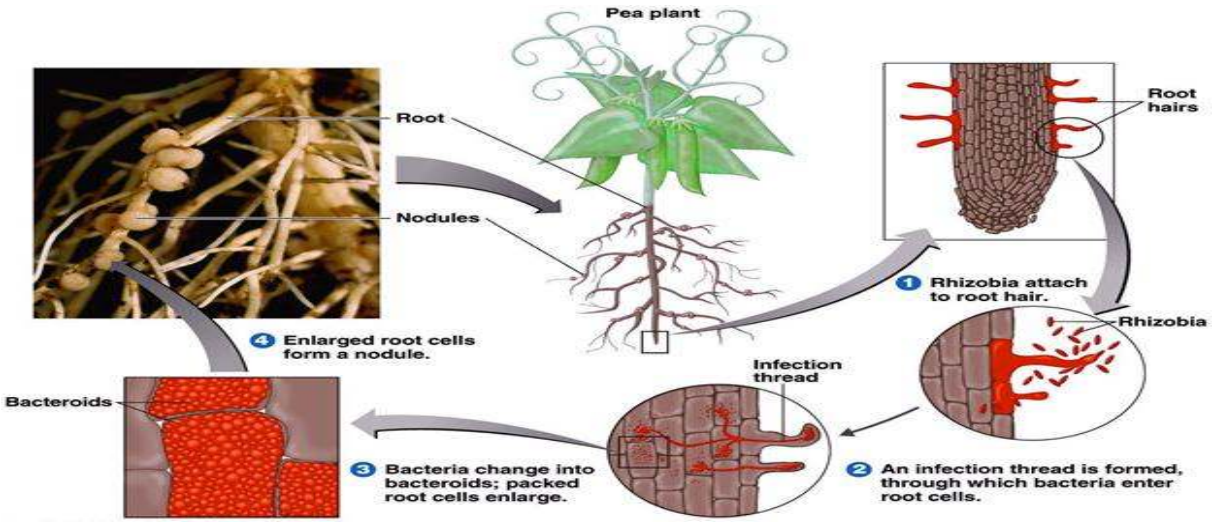
<u>التثبيت التكافلى لنيتروجين Symbiotic N2 Fixation</u>

- **<u>تكون العقد الجذرية</u>**

سبب إحداث الإصابة

- افراز جذر البقول مواد مشجعة لنمو البكتريا (flavonoid)
- غزو البكتريا الشعيرات الجذرية المقطوعة
- احداث اصابة عبر نسيج القشرة الى المنطقة الملاصقة للقشرة الداخلية





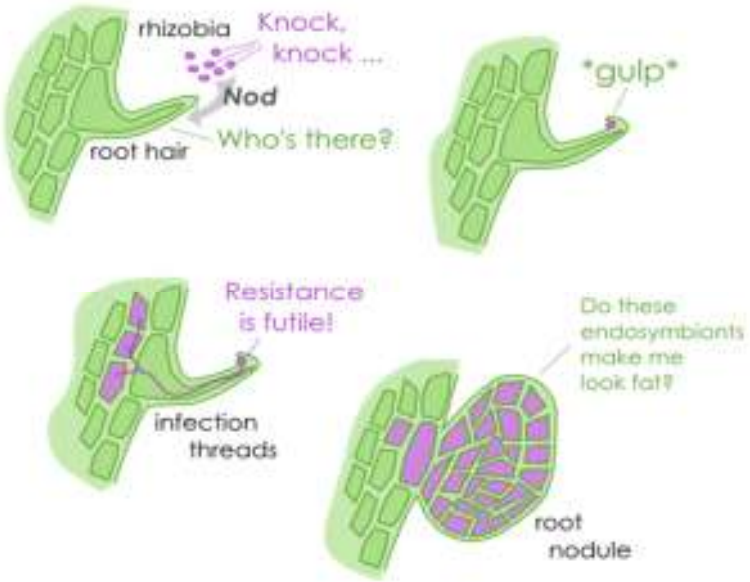
- **<u>مراحل تكون العقدة الجذرية</u>**

✓ اتقسام خلايا منطقة الاصابة انقساما هائلا

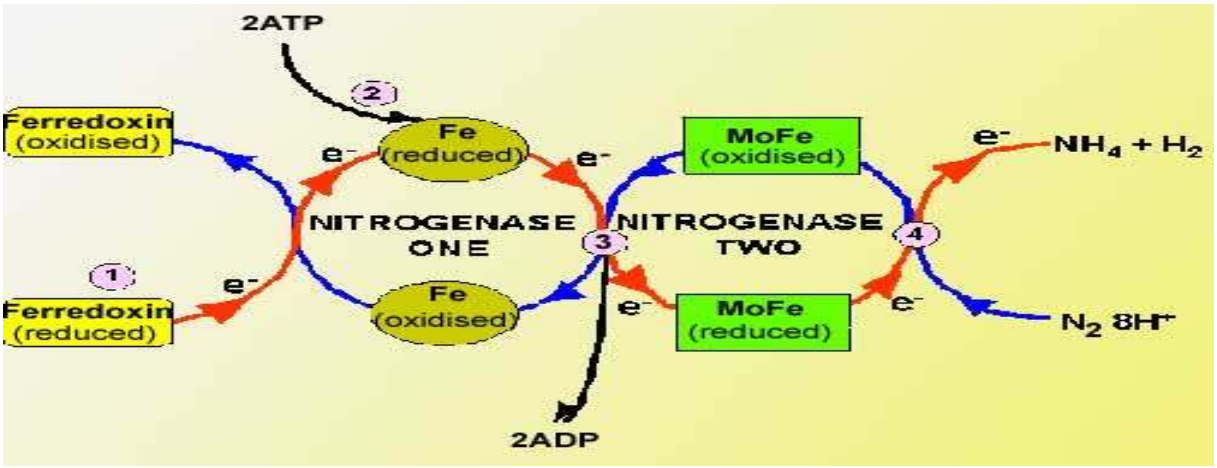
✓ يتضاعف عدد كروموزومات خلايا منطقة الاصابة مقارنة بالخلايا الأخرى

✓ وجود صبغة حمراء تعرف بـ Leghemoglobine

✓ لا توجد هذه الصبغة اذا ما استنبتا منفصلين



- **<u>الكمياء الحيوية لتثبيت التكافلي للنتروجين</u>**



- **<u>شروط التثبيت</u>**
- توفر الحديد
- توفر الكوبلت
- توفر المولبدان
- توفر Leghemoglobine

نقل النتروجين المثبت الى نبات البقول

- **الفرضية الأولى**

إما ان يحدث تحلل لخلايا البكتريا محررة بذالك مركبات نتروجينية قليلة الذوبان في سيتوبلازم خلية الجذر

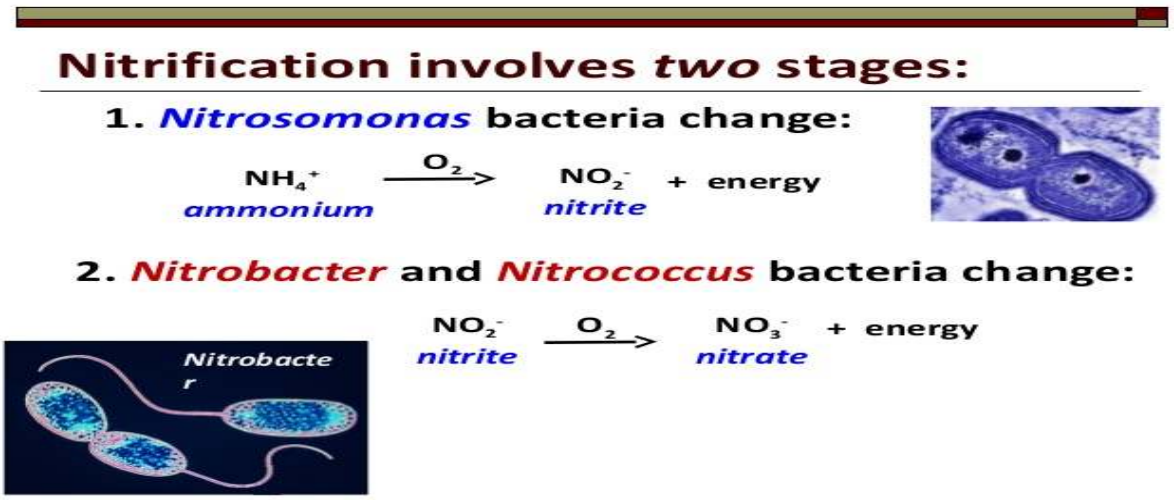
- **الفرضية الثانية**

أو أن تفرز خلايا البكتريا نواتج نتروجينية قابلة للذوبان في سيتوبلازم خلية الجذر

احتمال تحقق النظريتين معا

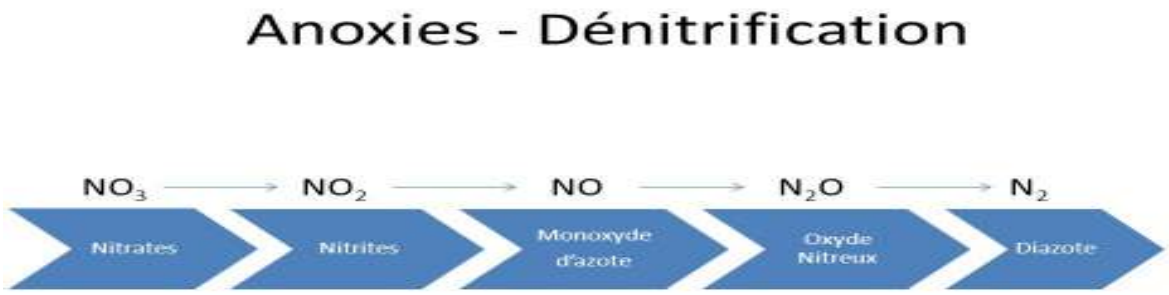
النتروجين القابل للتحول في التربة

- **La nitrification**

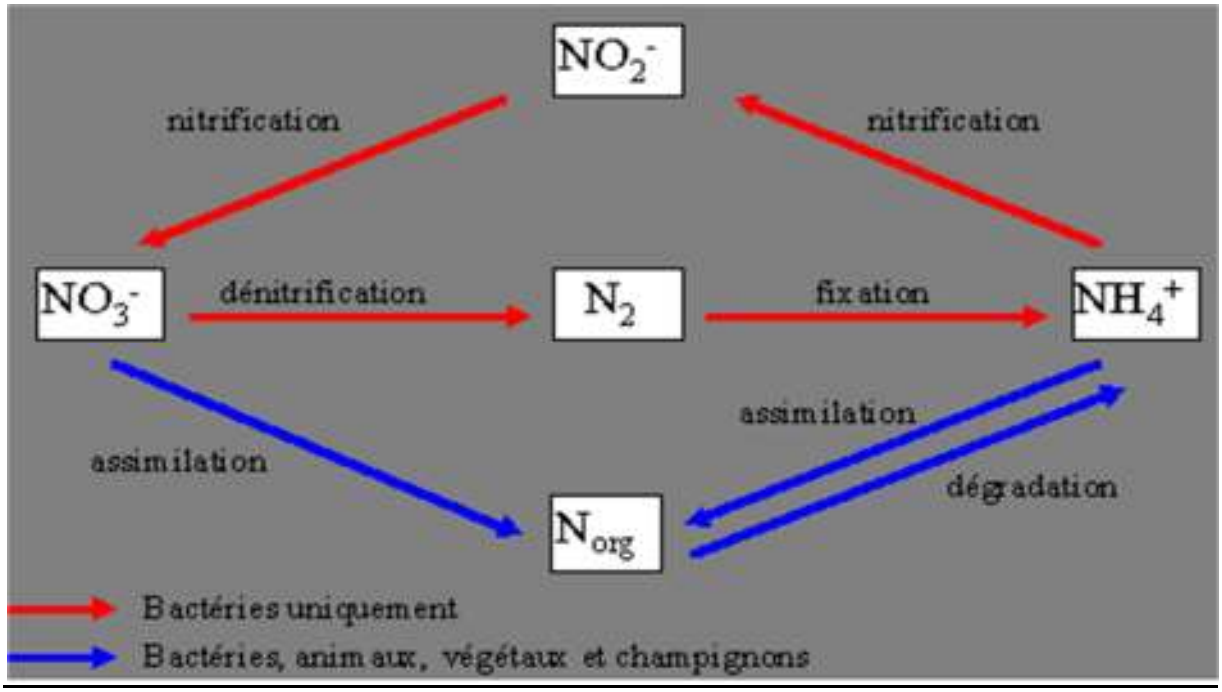


ذاتية التغذية تتطلب فقط مواد عضوية تشبه النباتات خضراء مع وجود فارق هو أن الطاقة اللازمة لها تتزود بها من أكسدة الامونيا أو النترات بدلا من الطاقة الضوئية

- **<u>La dénitrification</u>**



هي عملية تتم بفعل الميكروبات الهوائية متخصصة نتيجة نقص الأكسيجين في الأرض فيتم نزع الأكسيجين للنترات NO_3 هذه العملية لا تتم فقط في التربة بل ممكن أن تتم في البرك و في المياه الجوفية او تحلل المادة العضوية و حتى في الأنبوب الهضمي للحيوانات و للكائنات الدقيقة (بدائيات النواة

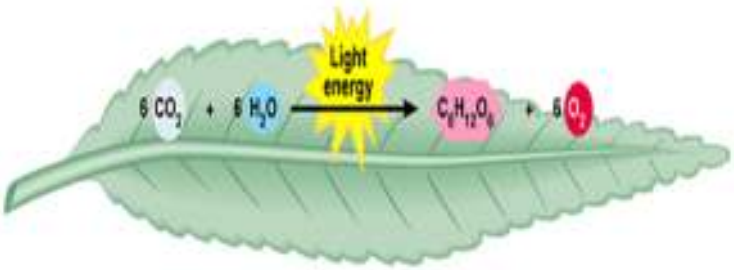


Chapter 5

Carbon nutrition التغذية الكربونية

La Photosyntheses التمثيل الضوئي

كلمة PHOTO تعني ان النباتات الخضراء تستهل الطاقة الضوئية لكي تنموا وتتطور وكلمة Synthéseتعني ان النباتات الخضراء من مواد بسيطة توجد في بيئتها من H_2O و CO_2 تستطيع ان تمثل مركبات عضوية معقدة مثل جزيئة السكر $C_6H_{12}O_6$



تعريف :

- العملية التي تبنى فيها الخلايا النباتية الخضراء مواد كربوهيد راتية معينة من ثاني أكسيد الكربون والماء في وجود الطاقة الضوئية وفيها يتصاعد الأوكسجين كناتج ثانوي
- ويمكن تعريف البناء الضوئي أيضا بأنه : عملية تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تستغل في بناء المواد الكربوهيد ا رتية + CO2الموجود في الجو.

كيف لنا أن نعرف ان النباتات الخضرا ء تصنع السكريات من الماء و ثاني اكسيد الكربون و الطاقة الشمسية

أجيب عن هذا السؤال بهذه التجربة

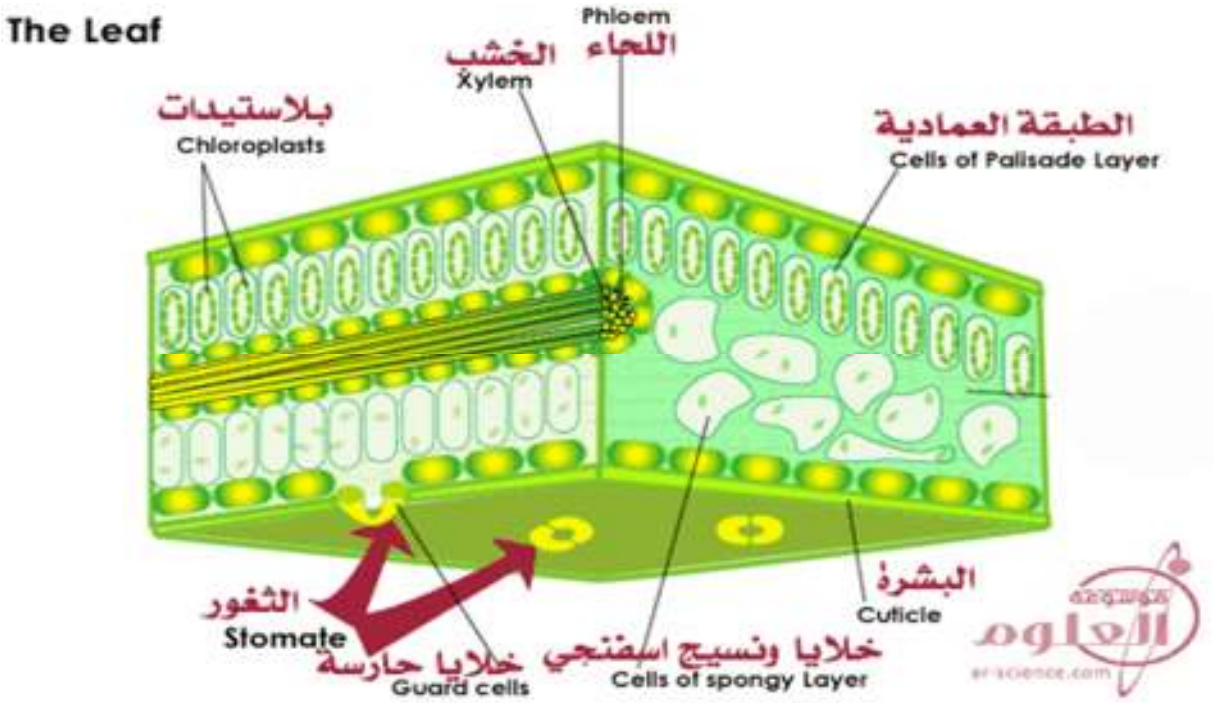
Jan Baptista van Helmontسنة 1648 زرع فرع من نبات الصفصاف وزنه 5غ في اصيص به 200كلغ من التربة و بعد 4 سنوات وصل وزن الشجيرة الى 169كلغ في حين بقي وزن التربة قريب من 200كلغ

خصائص النباتات الخضراء

- ❖ تعد النباتات الكائنات الحية التي تستطيع استعمال ضوء الشمس لتحوله إلى طاقه كيميائي مخزونه بشكل (ATP)مركب غني بالطاقة
- ❖ تعد النباتات الكائنات الحية التي بإمكانها أن تستثمر المواد البسيطة غير العضوية المتواجدة في محيطها مكونة منها مواد عضوية معقدة
- ❖ تعد النباتات المصدر الأساس لجميع أنواع الغذاء .

موقع إتمام البناء الضوئي

مقطع عرضي للورقة



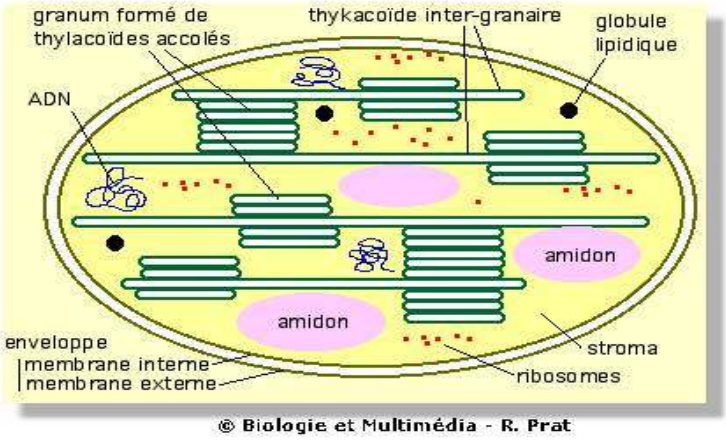
نسيج الميزوفيل يتكون من الخلايا النباتية موجود بين طبقتي البشرة في ورقة النبات بين طبقة البشرة العلوية وبين طبقة البشرة السفلية تتم فيه عملية البناء الضوئي

نوعان من أنسجة الميزوفيل

1. **طبقة الخلايا العمادية** : وهي طبقة من الخلايا المتطاولة و المتراصة بها بلاستيدات محيطية كثيفة
2. **طبقة الخلايا الإسفنجية :** وهي طبقة من الخلايا المتباينة بها مسافات بينية و بلاستيدات قليلة

البلاستيدات الخضر Chloroplasts

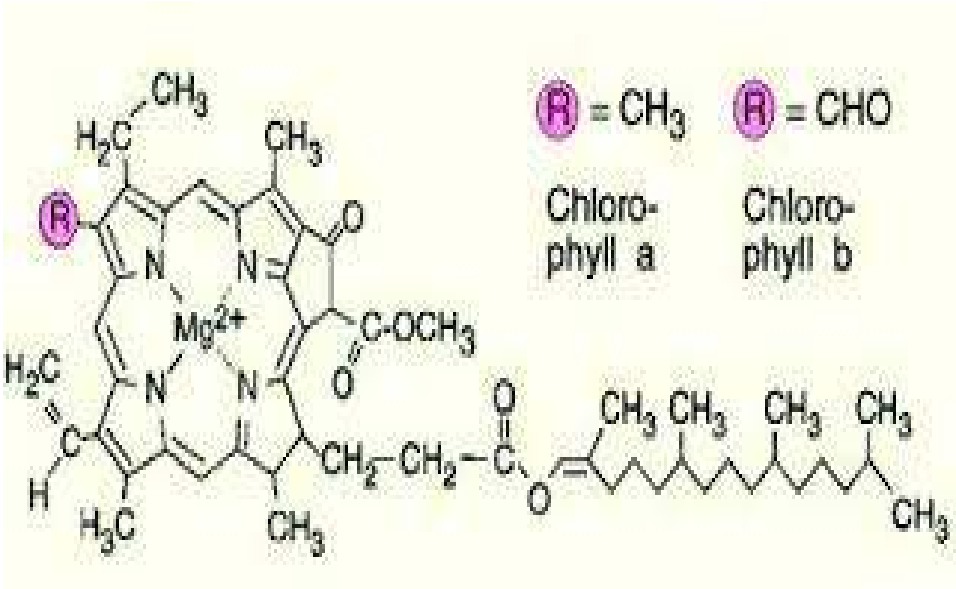
- احد مكونات الخلية النباتية الحية و هي لا تنشأ ذاتيا بل تنشأ من البلاستيدات الاولية و تعد مركز عملية البناء الضوئي ففيها تنتظم جزيئات اليخضور و الصبغات الأخرى المساعدة وعدادها يتراوح بين 20 - 100 بلاستيدة لكل خلية عاملة بالتركيب الضوئي .
- جسيمات محاطة بغشاء سيتويلازمي مزدوج يحوي بداخلة سائل Stromaوبها صفائح تعرف بال Granaتسمي كل واحدة من تلك الصفائح باسم Granumيوجد بكل بلاستيدة 60 جرانا ويتم تحول الطاقة الضوئية إلي طاقة كيميائية في Granaحيث تحتوي على الصبغات والأنزيمات الخاصة بعملية التمثيل الضوئي



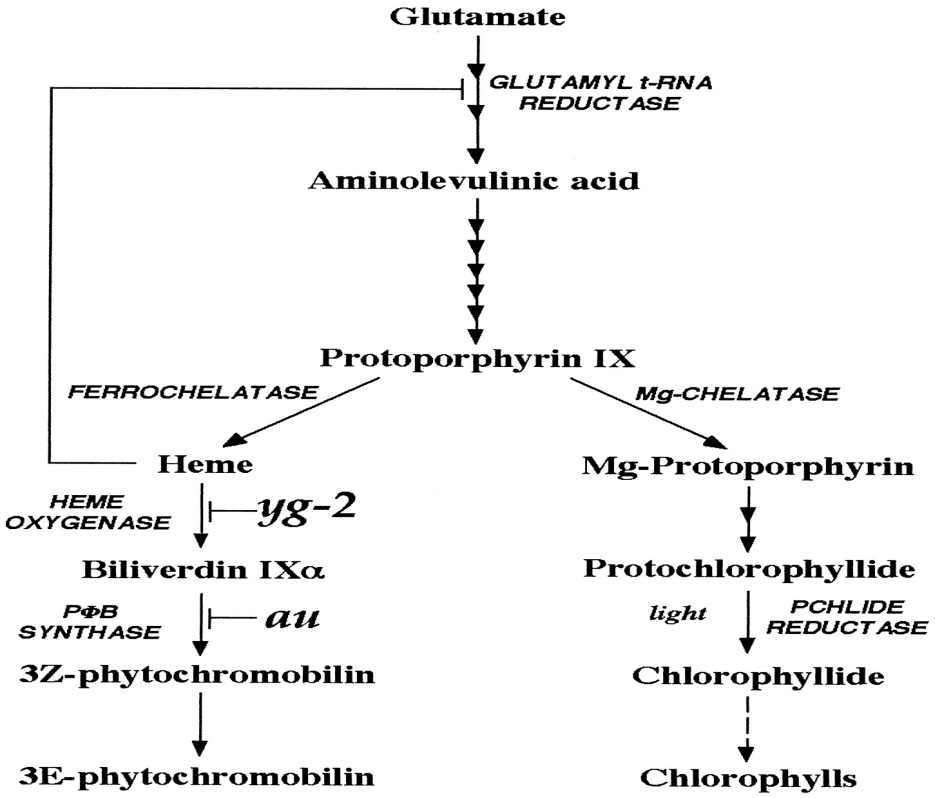
الكلوروفيل

يوجد في الخلية النباتية بنسبة 10 % عبارة عن صبغات من معقد البرفرين و المغنسيوم Mg مسؤول على إعطاء اللون الأخضر للنبات لا يذوب في الماء و لكن يذوب في المذيبات العضوية من خصائصه مايلي :

- ❖ احتوائه على قطبين احدهما كاره للماء و تمثله السلسة الكربونية الطويلة
- ❖ الآخر محب للماء و تمثله نواة رباعية و هي البيرول محاطة بنواة مكونة من ذرة **Mg**


R = CH3
R = CHO
Chloro-phyll a
Chloro-phyll b
Mg2+

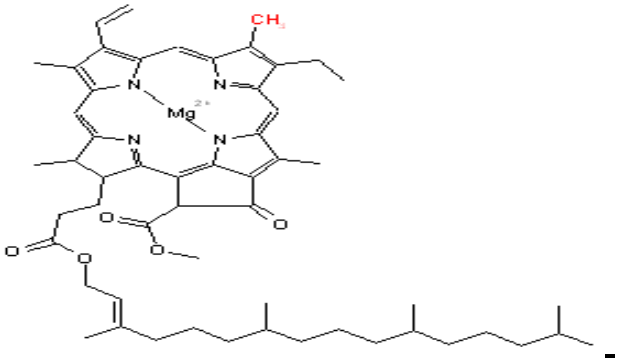
تخليق الكلوروفيل



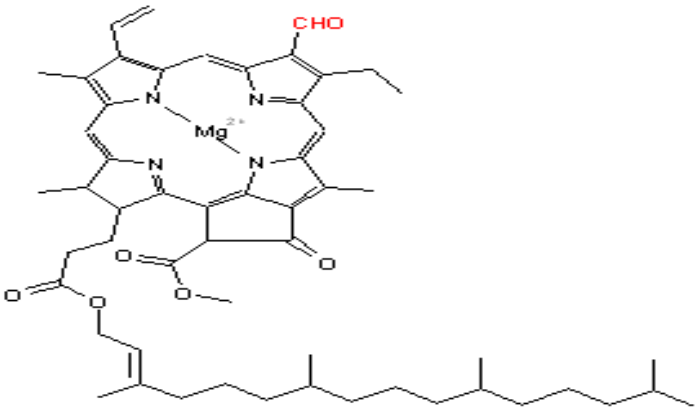
انواع الكلوروفيل

- **كلوروفيل a chlorophylle**: يتميز بلون الأخضر المزرق يوجد بكل أجهزة التمثيل الضوئي المنتجة للكلوروفيل يحتوي على مجموعة CH_3 في الموقع 3 لنواة البيرول يمتص الأشعة الضوئي على طول موجة قدرها 660 نانومتر

$C_{55}H_{72}MgN_4O_5$



- ❖ **كلوروفيل chlorophylle b :** يتميز باللون الأخضر المصفر يوجد في أوراق النباتات الراقية و الطحالب الخضراء يحتوي على مجموعة CHOفي الموقع 3 لنواة البيرول يمتص الأشعة الضوئي على طول موجة قدرها 643 نانومتر $C_{55}H_{70}MgN_4O_6$

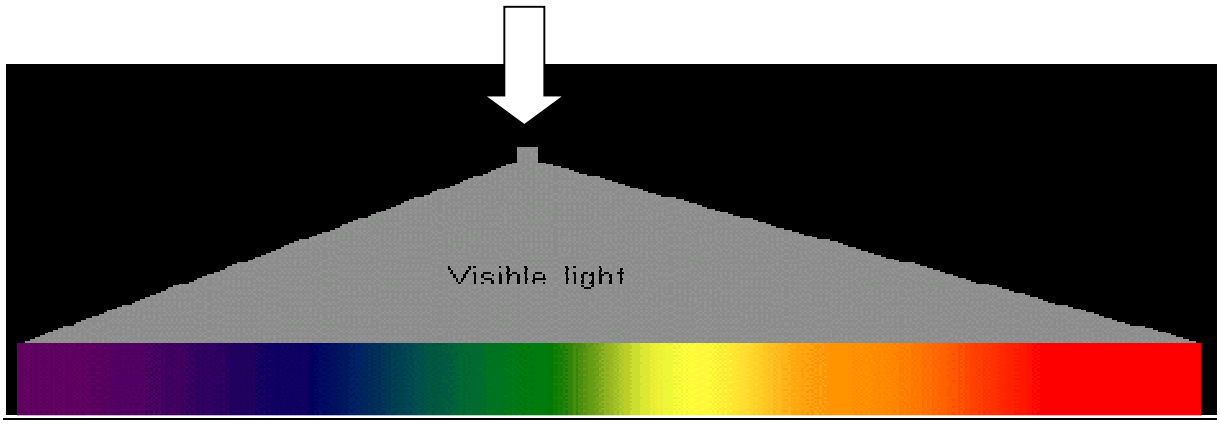


الصبغات المساعدة :

- ❖ **lycopène** تعتبر من tétraterpène عائلة caroténoïdes و بالتحديد carotènes فهي صبغة قابلة للذوبان توجد خاصة في الطماطم
- ❖ **Le carotène** يعتبر من terpène و هو صبغة برتقالية اللون مهمة في البناء الضوئي توجد خاصة في الجزر
- ❖ **zéaxanthine** هي صبغة من عائلة xanthophylles التي تعطي الون الأصفر الى بذور الذرى

علاقة التمثيل الضوئي بالأشعة الضوئية

االإضاءة هي أشعة كهرومغناطسية مرئية تدركها العين البشرية فهو شريط من أطوال موجة يتراوح بين 390-760 نانومتر محاطة بمناطق الأشعة الفوق بنفسجية ذات اطوال موجة قصيرة و مناطق من الأشعة التحت الحمراء ذات أطوال موجة طويلة. **الإضاءة تتوسط هاتين المنطقتين**

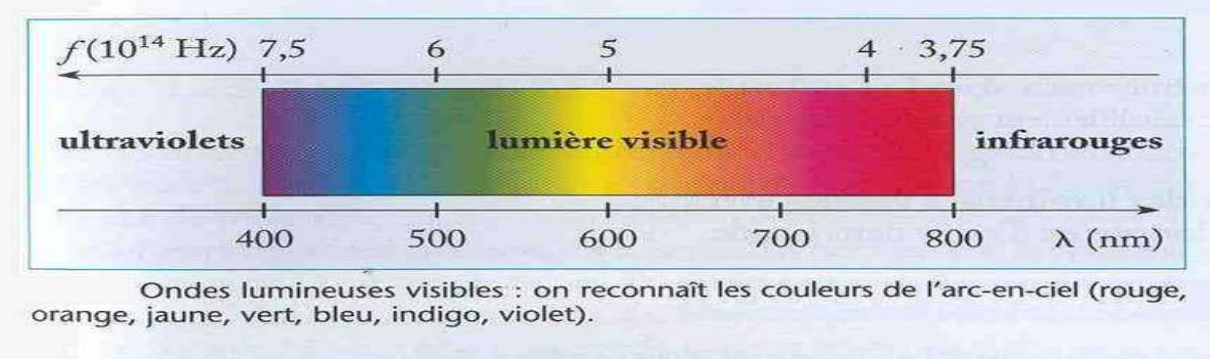


الإضاءة تتكون من حركات اهتزازية غير ثابتة متعاكسة مع سرعتها أي كلما كان طول الموجة قصير كانت طاقته كبيرة و العكس **وحدتها هي الفتون photonاو quanta**

الإضاء الفعالة :

النباتات لها تجهيزات المعروفة بالمستقبلات الضوئية photorécepteur الا و هي الصبغات التي تمتص بعض الأشعة و لا تسمح بمرور البعض الأخر فالأشعة الممتصة تتطور و تتحول الى كمياء ضوئية فجزيئة الكلوروفيل يكون إمتصاصها كما يلي :

- **امتصاص كثيف** : **الأحمر** الفاتح 640-675 نانومتر الأزرق 430-470نانومتر
- **امتصاص ضعيف :** الأخضر 470-560 نانومتر الأحمر القاتم 675-760نانومتر

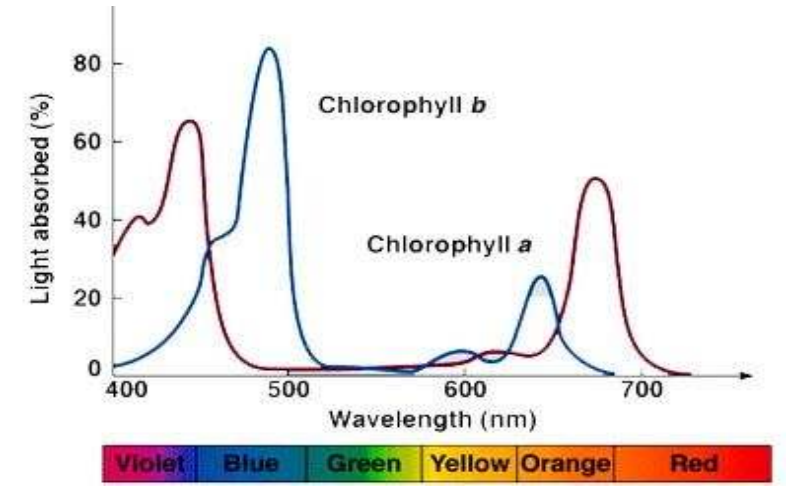


Ondes lumineuses visibles : on reconnaît les couleurs de l'arc-en-ciel (rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet).

طيف الأمتصاص :

إن الأشعة الضوئية لا تكون ذات فاعلية إلاإذا تم إمتصاصها بواسطة الصبغات المستقبلة التي بدورها تحدد مناطق الطيف التي تدخل في سياق البناء الضوئي

- **مردودية الأشعة تتعلق بطيف تفاعلها**
- **نشاط التمثيل يتعلق بطول موجة هذه الأشعة**
- **فهي العلاقة بين عدد الفتونات الممتصة و عدد ذرات الأكسجين المنطلقة**



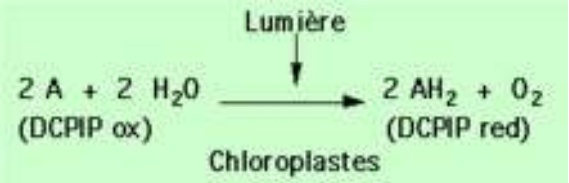
تفاعل Hill:

تجربة:

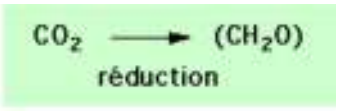
- تقطيع اوراق السبانخ و طحنها في هاون ثم رشحها عبر ورق الترشيح من خلال القمع
- يضاف DCPIPإلى مستخلص البلاستيدات الخضراء يتحول إلى اللون الأزرق
- يتم وضع أنبوب في الظلام يبقى المحلول الأزرق.
- يتم وضع أنبوب في ضوء فإن المحلول يصبح عديم اللون

ملاحظة :

(2,6dichlorophenolindolphenol)لون هذه الصبغة بصورتها المؤكسدة هو ازرق, بينما تكون عديمة اللون بصورتها المختزلة. بالامكان تعقب اختفاء لون ال- DCPIPفي عينة مضاءة تحوي كلوروبلاستيدات مستخلصة. اختفاء اللون (اختزال ال DCPIP) دليل على حدوث تفاعل هيل. اختفاء اللون يفحص عن طريق استخدام مقياس الضوء الطيفي (سبكتروفوتوميتر)



تم اثبات هذه الفكرة من قبل العالم HILL 1937 الذي عزل الكلوروبلاست الخضراء و بعد ان عرضها للضوء و اضاف اليها املاح الحديد انطلق منها O_2و سمي بتفاعل HILL



<u>التمثيل الضوئي</u>

- مرحلة الضوء وفيها يختزل NADP الى NADPH و يصحبه انتاج جزئ ATP و تسمى بالفسفرة الضوئية
- مرحلة الظلام و هي مرحلة انزيمية و فيها يختزل CO_2 لإنتاج السكر و ذالك بإستعمال $NADPH_2$ و ATP

<u>أصل (منشأ)الأكسجين في التمثيل الضوئي</u>

$$CO_2 + 4H_2O \xrightarrow{\text{ضوء}} (CH_2O) + 3H_2O + O_2$$

$$4H_2 \longrightarrow 4(OH) + 4(H)$$

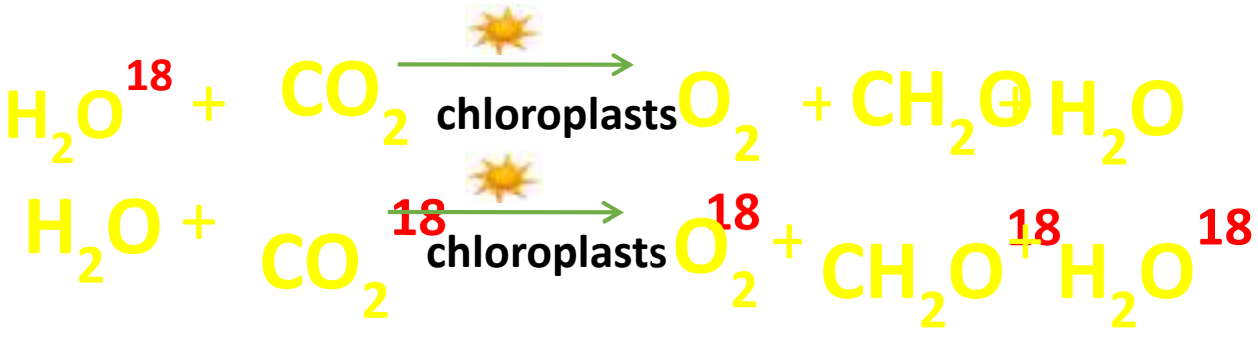
$$4H + CO_2 \longrightarrow (CH_2O) + H_2O$$

$$4OH \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

هذه المعادلة هي مجموعة ثلاث مراحل من التفاعلات كالتالي :

من هنا يتبين ان الأكسجين O_2 الناتج من البناء الضوئي مصدره الماء H_2O و ليس CO_2

- اثبت كل من Ruben and Kamen سنة 1941 أن O_2 مصدره الماء H_2O و ليس CO_2
- باستخدام النظائر isotopesثبت أن الماء هو المصدر الوحيد للأوكسجين المنبعث(المتصاعد) فى عملية التمثيل الضوئى وذلك باستخدام الأوكسجين الثقيل O^{18} فمثلا إذا أنجزت العملية فى وجودH_2O^{18} فإن الأوكسجين المتصاعد يكون من النوع الثقيل O^{18}
- أما إذا أنجزت العملية فى وجود الماء العادي H_2O و CO_2^{18} فإن الأوكسجين المنبعث يكون من النوع العادي

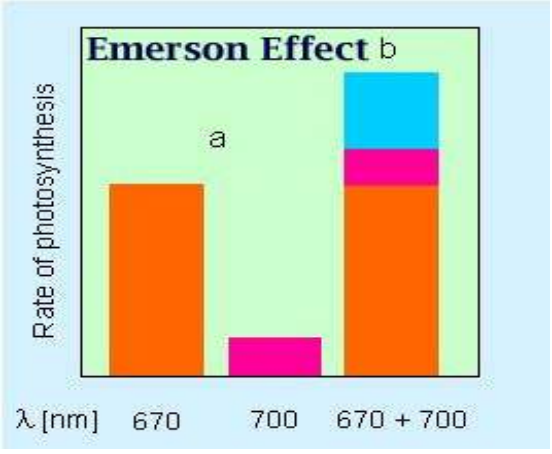


توجد عدة نقاط مهمة على التمثيل الضوئي هي :

- يكون مصدر O_2المنبعث(المتصاعد)فى التمثيل الضوئي هو الماء وليس (CO_2)
- لا يعتمد تمثيل (CO_2)الفعلي على الضوء المقصود تثبيت (CO_2)أي تفاعلات الظلام
- تكون وظيفة التفاعلات الكيموضوئية هو إمداد الطاقة اللازمة لنقل اليدروجين اللازم للخطوات الاختزلية فى تمثيل CO_2

تأثير Emerson:

لاحظ العلم Emerson ان الضوء الممتص مباشرة من الكلوروفيل aتكون اقل فاعلية في البناء الضوئي عن ذالك الضوء الممتص بواسطة الصبغات الإضافية ثم ينتقل بعد ذالك إلى الكلوروفيل a لاحظ ايضا انخفاضا ملحوضا في الناتج الكمي للأكسجين عند أطوال موجة تزيد عن nm680 و هي مساحة في الطيف تحتلها الحزمة الحمراء بين أيضا ان كفاءة البناء الضوئي الذي إنخفض عند اطوال موجة تزيد عن nm680 يمكن أستعادتهما بإستخدام طول موجة أقصر من ذالك و بشكل متزامن استنتج ان تأثير الجمع بين الحزمتين الضوئيتين على معدل البناء الضوئي يزيد عن مجموع تأثير كل منهما على حدى و اطلق على هذه الزيادة بتأثر Emerson



اكد Emerson ان ا لبناء الضوئي يتطلب التعاون بين عمليتين كيماويتين ضوئيتين

- **تأثر اطوال الموجة الضوئية الأقل من nm680 في كلا العمليتين**
- **الموجات الأطول من nm680 تؤثر في عملية واحدة**

يشا ر اليهم بمنظومة الصبغات

- Photosysteme II (PSII)
- Photosysteme I (PSI)

Photosysteme I (PSI-1

- **مركز تفاعل centre réactionnel:** يتكون من بيبتيدات عديدة مرتبطة بـ50 جزيئة كلوروفيل و بعض الجزيئلت من الكاروتين بالإضافة الى P700
- **نظام استقبال systeme collective**: يتكون من 3 بيبتيدات عديدة ، مرتبطة مع
- , a b ,كلوروفيل crotene , LHCP

Photosysteme II (PSII) -2

- **مركز تفاعل centre réactionnel**: معقد مركزي يتكون من 2 بروتين مندمج في الغشاء يعرف بـ D1 , D2 و P700 و جزيئ Pheophytine و carotene و جزئين من Plastoquinone (Q1, Q2) بالإضافة الى وجود ذرة Mn, Ca , Cl المتصلة بمعقد اكسدة الكمياء الضوئية للماء photolyse
- **نظام استقبال systeme collective :** عقد من كلوروفيل a ,b مرتيط بيروتين يعرف LHCP 2 بالإضافة الى 50% من الكلوروفيل الكلي

جزئ كموروفيل ذي تناسق غير ثابت بدرجة كبيرة ويكون فى حالة الإثارة (excited state)ويعود الكموروفيل إلى حالته الأصلية الأولى وفي حالة الخمود (ground state)فى زمن مقداره 10^{-9} من الثانية أو أقل.

تفاعلات الكمياء الضوئية : حدث البناء الضوئي بفعل عمليتين كيماويتين ضوئيتين تقترن كل منهما بمجموعة معينة من الصبغات بشار اليها بالنظام الضوئي الأول و الثاني (PSI و PSII) تفاعلات هاتين المنظومتين يتمان في غشاء الثيلاكود كل منهما له جهازاستقبال و مركز تفاعل

نواقل الإلكترونات :

اهم نواقل الإلكترونات أثناء البناء الضوئى هم كمايلى

- **السيتوكرومات Cytochrome:** بروتين هيمي له حلقة البيرول نواته ذرة حديد له دور في نقل الإلكترونات
- **الفرودكسين Ferridoxine:** عبارة عن بروتين مكبرت حديدي غير هيمي له دور في نقل الإلكترونات
- **البلاستوكينون Plastoquinone:** ينتمي الى مجموعة الكينون يحتوي على فيتامين Kله دور في نقل الإلكترونات
- **البلاستوسيانين Plasticyanine**: بروتين يحتوي على ذرة نحاس مرتبط بأربعة أحماض امينية له دور في نقل الإلكترونات

العوامل التى تؤثر فى التمثيل الضوئى:

العوامل الداخلية:

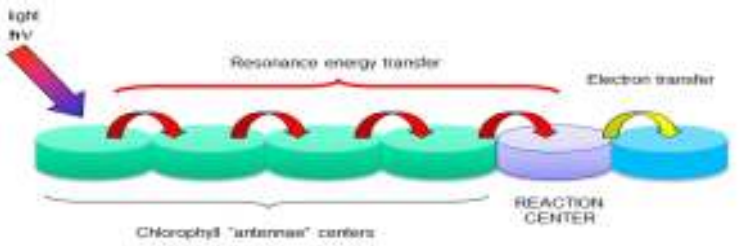
- ✓ تركيب الورقة : ويشمل سمك القشيرة والبشرة، وجود الأوبار على سطحها، تركيب النسيج المتوسط، موضع الجسيمات في الخلايا ,حجم المسام وتوزعها.
- ✓ نواتج التمثيل الضوئي : عندما يزداد تركيز نواتج التمثيل الضوئي في الخلايا الخضراء يقل معدل العملية وبخاصة إذا كان انتقال تلك النواتج بطيئا.
- ✓ حالة المادة الحية البروتوبلازم والانزيمات وخاصة جفاف البروتوبلاسم واضطراب عمل الانزيمات.

العوامل الخارجية:

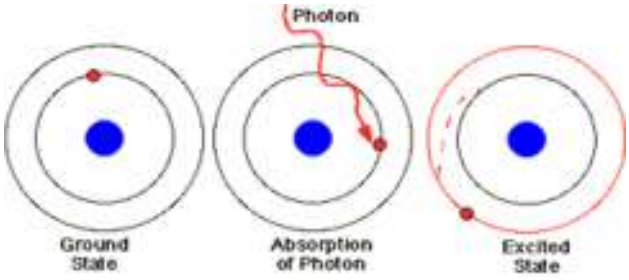
شمل العوامل الخارجية : الحرارة، الضوء وشدته، تركيز ثنائي أكسيد الكربون، الماء، العناصر المعدنية. وكل عامل يؤثر بعملية التمثيل الضوئي ويتأثر بالعوامل الأخرى.

كيف تنتقل الطاقة الضوئية ؟

على مستوى الجزيئي



على مستوى الذري

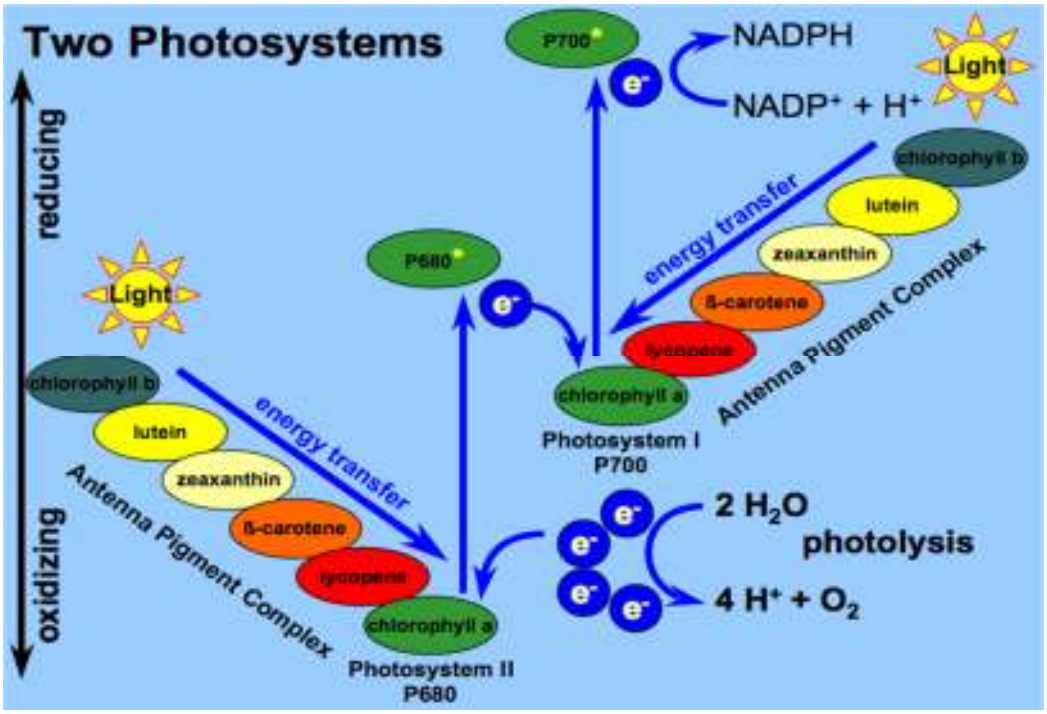


Chapter 6

مقارنة التغذية الكربونية بين نباتات C3 ,C4 ,CAM

the comparison between carbon nutrition in plants C3, C4, CAM

الفسفرة الضوئية :



الأكسدة و الاختزال في البناء الضوئي

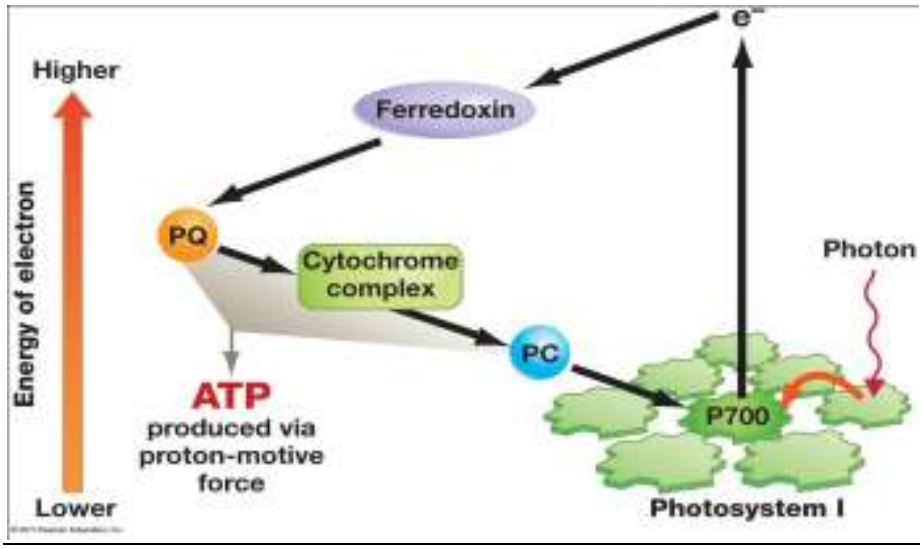
امتصاص الطاقة الضوئية يؤدي إلى إعطاء الإلكترونات طاقة إما تفقدها أو تنتقل الإلكترونات إلى مركبات جديدة حسب جهد الأكسدة و الاختزال.Redox potential المركب المعطي للإلكترونات يتأكسد Oxidized و المستقبل مختزل. Reduced

و بهذه الطريقة يستمر تدفق الإلكترونات عبر الأنظمة الضوئية إذا استمر وجود الضوءو يؤدي إلى الفسفرة الضوئية Photophosphorylationو اختزال +NADP إلى.NADPH

الفسفرة الضوئية اللادورية :

يتطلب مسار الإلكترونات من الماء الى الفردكسين عبر حوامل مشاركة للنظامين الضوئيين و يكون من نواتج هذه العملية تخليق الطاقة و يعني هذا ان الطاقة الإلكترون الزائدة التي إكتسبها من امتصاصه من كمية الإضاءة يجري الإنتفاع به في تخليق روابط فوسفاتية عالية الطاقة و ان الإلكترونات القادمة من تحلل الماء يتم نقلها في مسار ذو اتجاه واحد يؤدي الى الفردكسين حيث ينتفع بها في إختزال $NADP^+$ و بمعنى ادق أن مسار الإلكترونات ليس دوريا

الفسفرة الضوئية الدورية :



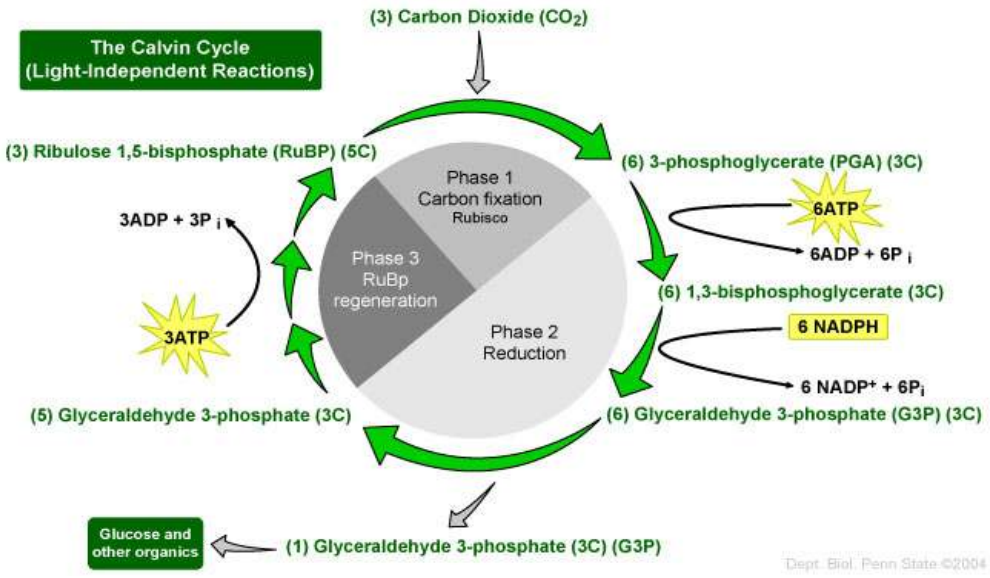
تفاعل الظلام :(عمليات دورة كالفن)

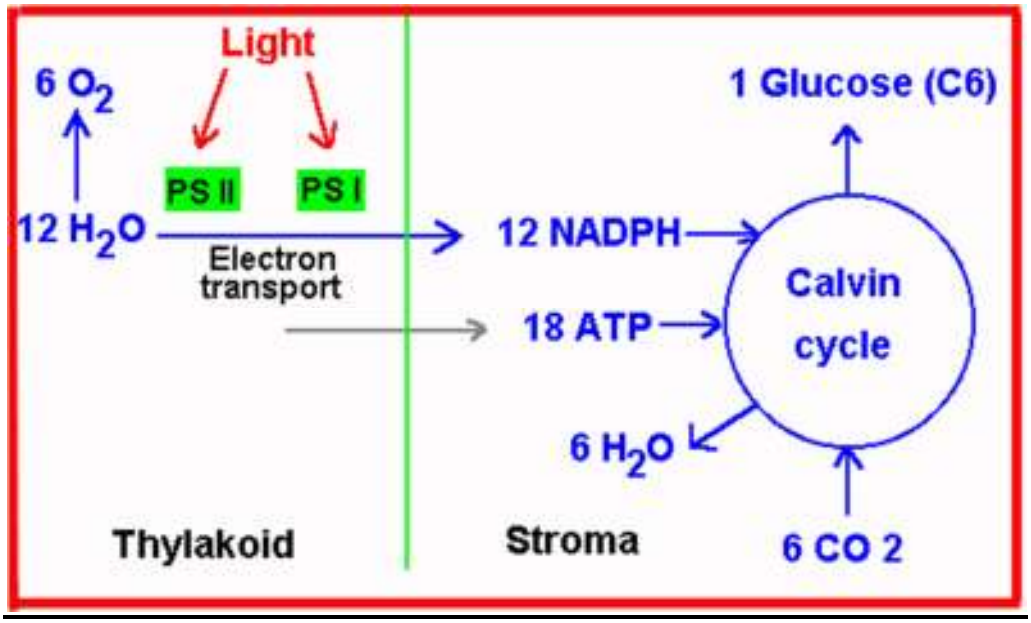
1- المسار الأيضي لدورة كالفن

هذا التفاعل الكيميائي لا يتطلب وجود الضوء ويعرف بتفاعل الظلام وقد أتضح أن تفكك الماء هو الجزء من عملية البناء الضوئي الذي يتطلب وجود الضوء أما اختزال ثاني أكسيد الكربون وتحويله إلى مادة كربوهيد ا رتية فيكون الجزء من عملية البناء الذي لا يتطلب وجود الضوء

دورة كالفن (نباتات ثلاثي الكربن C_3) هي إحدى الدورات الحيوية المهمة في عملية تثبيت الطاقة خاصة في النباتات ذوات الفلقتين ((Dicot plantsوفيها يتم تثبيت الكربون الموجود في ثاني أكسيد الكربون لتكوين أول مركب كربوهيدراتي ثابت يمكن فصله يسمى 3-فوسفوغليسيرات

- وفيها يتم استغلال الطاقة سابقة التخزين في التفاعلات الضوئية في عملات الطاقة من جزيئات ((**ATP** و **NADPH**)
- يتم باتحاد ثاني أكسيد الكربون ((CO_2) مع ريبوليز ثنائي وسفات وإنتاج مركب وسطي يتفكك تلقائيا إلى جزيئتي حمض فوسفوغليسيرك ويتوسط هذه الخطوة أنزيم ريبيولوز ثنيائي الفوسفات كاربوكسيلاز.
- يمكن استخدام ((PGALلتخليق الجزيئات العضوية مثل الجلوكوز ((Glucoseويتحول (($NADP^+$ إلى(NADPH)
- كما يتحول ((ATPإلى ADP





- المسار الأيضي لدورة كالفن يتم في Stroma
- لفسفرة الضوئيةالدورية و اللادورية تتم في Thylakoid

مرحلة كيموضوئية

ضوء / يخضور

$6O2 + 12\ NADPH^{+}.H^{+} + 18\ ATP \rightarrow 12H2O + 12NADP + 18\ ADP + 18\ Pi$--------

ثيلاكوييد

مرحلة كيموحيوية

ظلام

$6CO2 + 12\ NADPH + .H + 18\ ATP$---- glucose+ 12NADP+ 18 ADP + 18Pi

حشوة

2- المسار الأيضي لهاتش و سلاك:Hatch-slack

- أظهرت الدراسات أن دورة كالفن التي تستخدم كربون ثلاثي ليست الطريقة الوحيدة لتثبيت CO_2فقد وجد أن CO_2 يثبت أيضاً في مركبات رباعية الكربون بالتعاون مع دورة كالفن لزيادة فعالية البناء الضوئي و هي في نباتات مثل القمح و قصب السكر و معظم النباتات الصحراوية و تمتاز هذه النباتات بتغيرات في التركيب التشريحي و تسمى النباتات رباعية الكربون-C_4 Plant . والنباتاتCAM

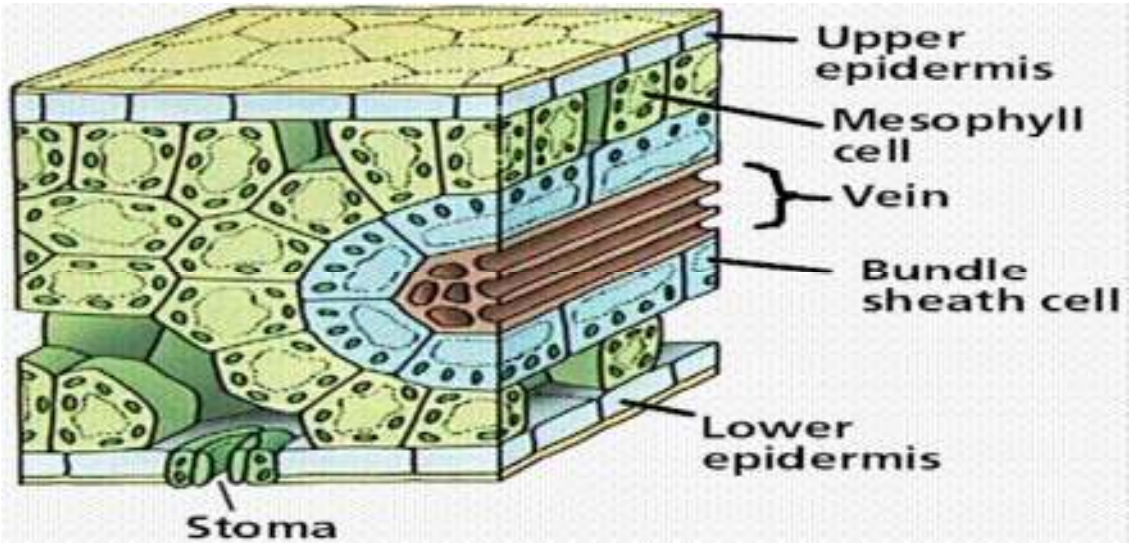
- **تمر جزيئات CO_2 الآتية من الهواء الخارجي إلى خلايا الميزوفيل Mesophyll عن طريق الثغور.**

يتكاثف CO_2 مع Phosphoenol-pyruvate (PEP) الثلاثي الكربون و يتكون Oxaloacetate الرباعي الكربون و ينشط التفاعل يتأثر Phosphoenol pyruvate carboxylase .

و يتحول Oxaloacetate إلى Malate أو Aspartate حسب نوع النبات و يتم ذلك في خلايا غلاف الحزمة الوعائية ليحدث نزع CO_2 Decarboxylation في بلاستيدات خلايا الغلاف الوعائي.

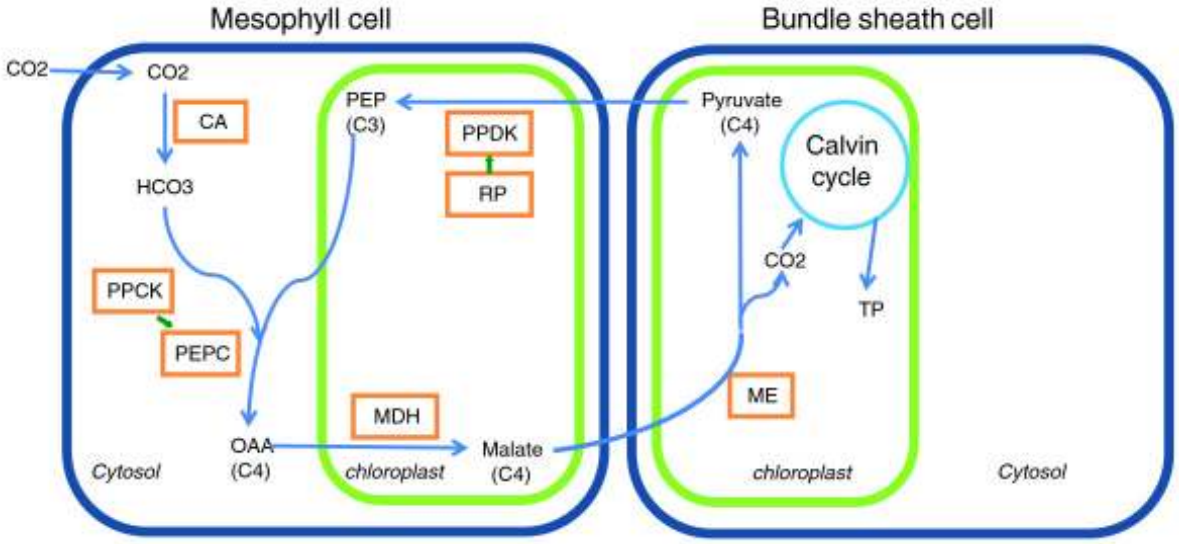
البنية التشريحية للنباتات رباعية الكربون C_4

تمتلك نباتات C_4 بنية تشريحية ورقية خاصة ومميزة. تحاط حزمها الوعائية بحلقتين من الخلايا تدعى الحلقة الداخلية خلايا غمد الأوعية والتي تحوي صانعات يخضورية غنية بالنشاء وفقيرة ب granum وبذلك تختلف عن تلك التي في خلايا الميزوفيل والموجودة في الحلقة الخارجية. لهذا السبب تدعى الكلوروبلاست بأنها مزدوجة الهيئة أوالتركيب



التمثيل الضوئي عند نباتاتC4

- **تستخدم أنزيم PEP carboxylase كأنزيم مطبق في امتصاص CO_2 وهذا الأنزيم يسمح لِـ CO_2أن يؤخذ إلى النبات بسرعة ثم يسلم CO_2 مباشرة إلى RuBisCoمن أجل التمثيل الضوئي.**
- **يحدث التمثيل الضوئي في الخلايا الداخلية (يتطلب تشريح خاص يسمى تشريح. (Kranz**
- **ينسق تثبيت الكربون و التمثيل الضوئي بين خلايا الميزوفيل و خلايا غمد الأوعية.**



تضم نباتات C_4 عدة آلاف من الأنواع النباتية، نذكر منها الذرة الصفراء، العديد من النباتات الحولية المزروع في الصيف، قصب السكر والذرة البيضاء.

القيمة التكيفية:

- **التمثيل الضوئي في** نباتات C_4 **أسرع من نباتات C3 تحت شدة ضوئية عالية وحرارة مرتفعة لأن ثاني أوكسيد الكربون يكون قد سلم مباشرة إلى أنزيم RuBisCo ولا يسمح بمسك الأوكسجين وحدوث التنفس الضوئي.**

- لها كفاءة استعمال ماء أعلى لأن نشاط أنزيم PEP carboxylase الذي يأخذ ثاني أوكسيد الكربون بشكل أسرع وكذلك لا يحتاج لإبقاء الثغور مفتوحة بنفس القدر (أقل فقد للماء بالنتح) من أجل نفس الكمية من ثاني أوكسيد الكربون الممتص للتمثيل الضوئ

نباتاتCAM

سميت بـ CAM بعد عائلة النباتات التي كانت أول ما وجدت في عائلة Crassulaceaeولأن CO_2 يخزن بشكل حمض قبل أن يستخدم في التمثيل الضوئي.

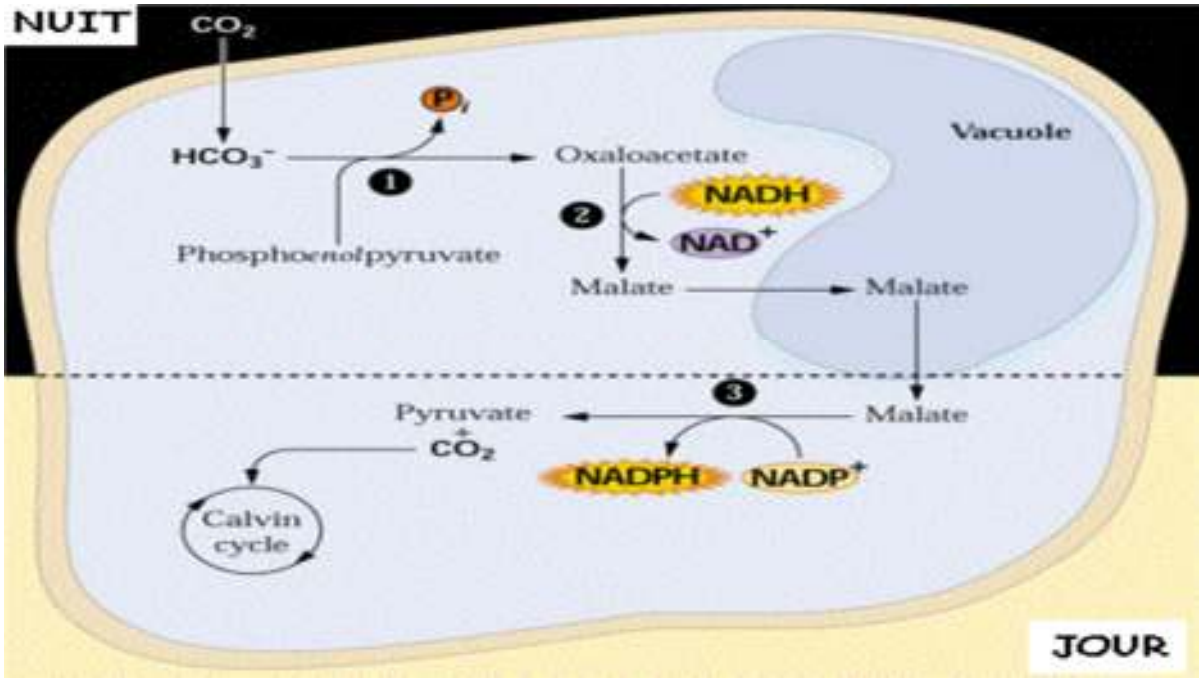
التمثيل الضوئي عند نباتاتCAM

- تفتح الثغور في الليل (عندما تكون نسبة التبخر منخفضة) وتكون عادة مغلقة أثناء النهار وثاني أوكسيد الكربون يحول إلى حمض ويخزن أثناء الليل . وفي النهار يتحطم الحمض وينطلق CO_2 إلى $RuBisCo_2$ من أجل التمثيل الضوئي.
- تكون معادلة التمثيل الضوئي لنباتات ال CAM هي نفسها لنباتات C4 لكن باستبدال الليل لخلايا الميزوفيل والنهار لخلايا غمد الأوعية.
- تكون هذه النباتات قابلة لمسك معدلات عالية منCO_2, لأن الثغور تكون مغلقة أثناء النهار.
- وقد وجد هذا التكيف في النباتات العصارية , كالصبار ونبات Euphorbs كذلك التي توجد في المناطق الصحراوية (الجافة جداً. (
- تعتبر هذه النباتات مستهلكة للطاقة.

القيمة التكيفية:

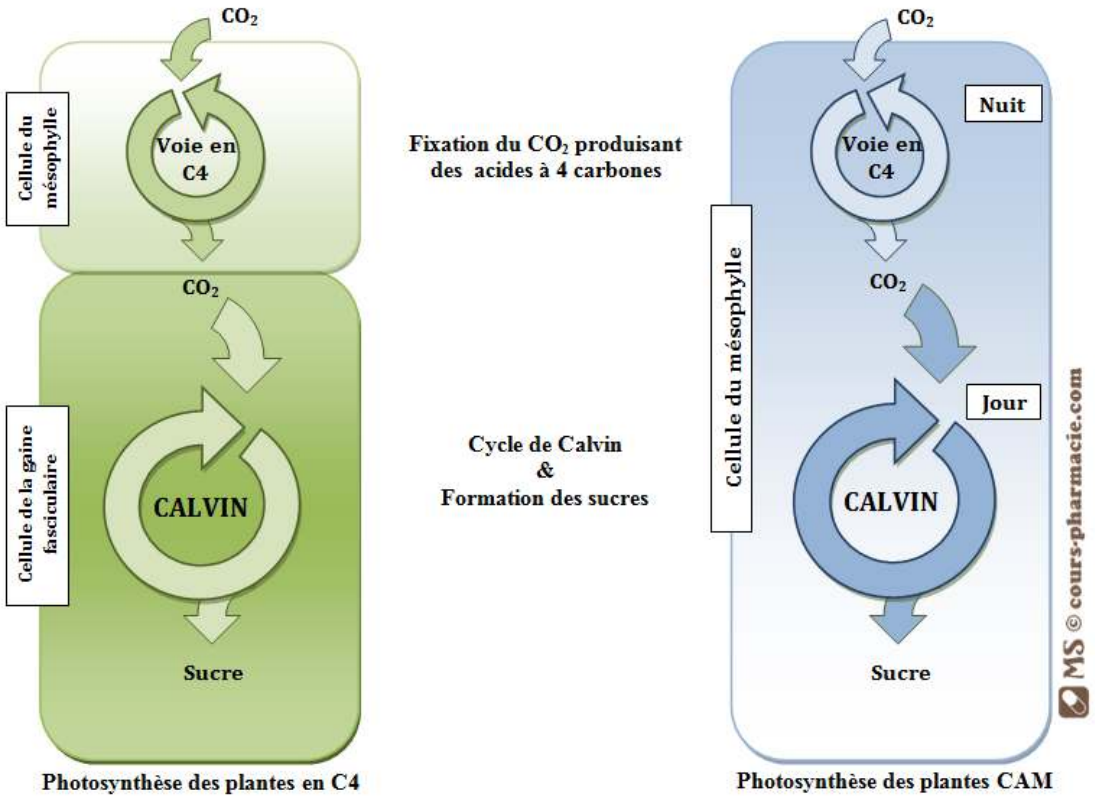
- تكون كفاءة استعمال الماء اكبر من نباتات C3 تحت الشروط الجافة بسبب فتح الثغور في الليل عندما يكون معدل النتح اقل (بدون أشعة شمس – حرارة اقل – سرعات رياح منخفضة) ...
- ربما تكون نباتات CAM خاملة عندما تكون الشروط قاحلة جدا وأوراق نباتات CAM تستطيع فقط أن تغلق ثغورها ليلاً ونهاراً.

- **الأوكسجين المطروح بالتمثيل الضوئي يستعمل للتنفس وثاني أوكسيد الكربون المنطلق بالتنفس يستعمل بالتمثيل الضوئي**



المقارنة بين الأنواع الثلاثة للتمثيل الضوئي عند نباتات **C3 و C4 وCAM**

- **التمثيل الضوئي لنباتات C3هو التمثيل الضوئي المثالي (النموذجي)**
- **التمثيل الضوئي عند نباتات C4 و CAM كلاهما تكيف مع الشروط الجافة لأنهم ينتجون كفاءة استعمال للماء أفضل**
- **أن نبات CAM تستطيع أن تنفق الطاقة المخزنة الثمينة والماء أثناء الأوقات القاسية**
- **نباتات C4 تستطيع أن تقوم بالتمثيل الضوئي بشكل أسرع تحت حرارة الصحراء العالية وظروف إضاءة عالية أكثر من نباتات C3 لأنها تستخدم طريق بيوكيميائي إضافي وتشريح خاص لتخفيض التنفس الضوئي.**



العوامل التي تؤثر في التمثيل الضوئي:

العوامل الداخلية:

- ✓ تركيب الورقة : ويشمل سمك القشيرة والبشرة، وجود الأوبار على سطحها، تركيب النسيج المتوسط، موضع الجسيمات في الخلايا ,حجم المسام وتوزعها.
- ✓ نواتج التمثيل الضوئي : عندما يزداد تركيز نواتج التمثيل الضوئي في الخلايا الخضراء يقل معدل العملية وبخاصة إذا كان انتقال تلك النواتج بطيئا.
- ✓ حالة المادة الحية البروتوبلازم والانزيمات وخاصة جفاف البروتوبلاسم واضطراب عمل الانزيمات.

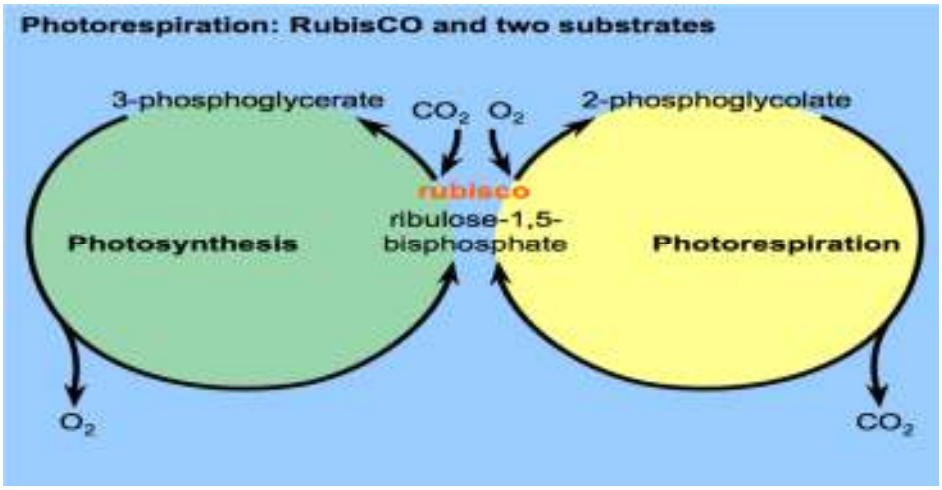
العوامل الخارجية:

شمل العوامل الخارجية : الحرارة، الضوء وشدته، تركيز ثنائي أكسيد الكربون، الماء، العناصر المعدنية.
وكل عامل يؤثر بعملية التمثيل الضوئي ويتأثر بالعوامل الأخرى.

التنفس الضوئى La photorespiration:

يحدث التنفس فى عضويات صغيرة تعرف بالميتاكوندريا هى بمثابة بيت الطاقة حيث تحتوى على انزيمات التنفس وهى أجسام محاطة بوحدتين غشائيتين يضمان بداخلهما الحشوة و أنزيمات دورة كربس ومركبات عديدة من نواتج التفاعلات الأنزيمية والسيتوكرومات ويلاحظ كثافة الميتوكوندريا في الخلايا النشطة مثل الخلايا الميرستيمية حيث تسود بها الميتوكوندريا . ونظرا لاحتواء الميتوكوندريا علي DNA فان لها القدرة علي الانقسام دون الأعتماد علي النواة .

آليتي البناء الضوئي والتنفس مترابطتان ومتممتان لبعضهما

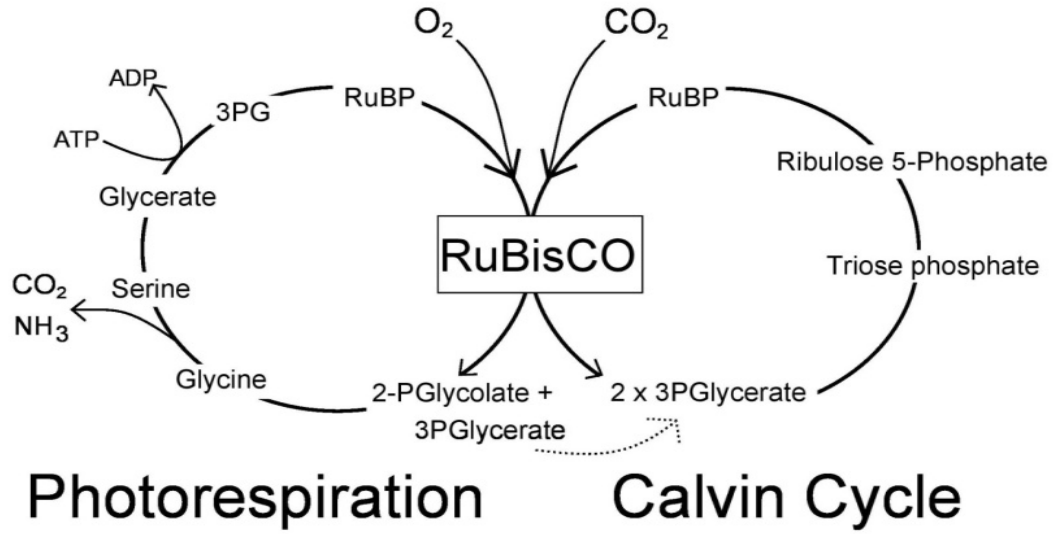


معادلة البناء الضوئي

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{صبغة كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{أنزيمات}} 6O_2 + 6H_2O + \text{طاقة} (38\ ATP)$$

معادلة التنفس الخلوي



<u>نواتج حلقة كربس , $ATP, NADH,FADH_2$وفي حلقة كالفن يتم إستخدام ATP,NADH</u>

<u>العوامل المؤثرة على معدل التنفس:</u>

- ✓ **<u>لاكسجين:</u>** يختلف مدي الضرر باختلاف نوع النبات أو النسيج وعمره ومدة التعرض لهذة الظروف البيئية ويرجع حدوث هذه الأضرار الي العديد من العوامل ومنها نقص الطاقة
- ✓ **<u>الحرارة :</u>** تعتبر تأثيرات الحرارة علي معدل التنفس راجعه للعديد من العوامل المتداخلة وعموما يمكن القول ان زيادة الحرارة يزيد من سرعة عملية التنفس بدرجة ملحوظة
- ✓ **<u>تركيز ثاني اكسيد الكربون:</u>** بزيادة تركيز CO_2 بالخلايا يقل أو يبطل عمل الانزيمات الخاصة بنزع جزيئات CO_2من المركبات الكربوهيدراتية وغيرها decarboxylases
- ✓ **<u>العناصر الغذائية:</u>** أغلب الانزيمات المتحكمه فى هذه التفاعلات يلزم لها مساعدات انزيمية من بعض العناصر المعدنية مثل Mn ، Mg، Cl، Feوغيرها . فالمغنسيوم يلزم لتفاعلات الفسفرة وتفاعل نزع CO_2 بينما البوتاسيوم يعمل كمساعد انزيمي في تفاعل انتاج حمض البيروفيك في

حين ان الحديد يقوم بنفس العمل في تفاعل تحول حمض الستريك الي الايزوستريك في التنفس الهوائي بل ويقوم المنجنيز كعامل مساعد للانزيم المتحكم في انتاج حمض الاوكسال سكسينيك

- ✓ **الضوء :** عتبر الضوء من العوامل المؤثرة تأثيرا مباشرا أو غير مباشر علي التنفس فالضوء يزيد من حرارة الانسجة مما يؤدي الي زيادة عملية التنفس كما وان ارتفاع الكثافة الضوئية يشجع عملية البناء الضوئي وبالتالي تزداد تركيزات السكريات الناتجة واللازمة كمادة تفاعل لعلملية التنفس
- ✓ **درجة رطوبة الانسجة:** كلما ارتفعت درجة رطوبة الأنسجة كلما ارتفع معدل التنفس عادة يرجع ذلك اساسا لزيادة احتياج الانزيمات الي محتويات مائية مرتفعة

إنتهى بحمد الله

أ.د شوقي سعيدة