علم فسلجة النبات Plant Physiology

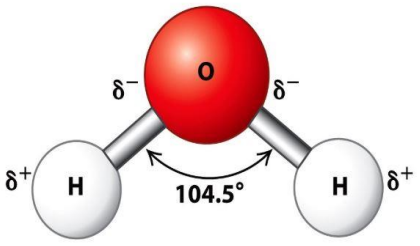
هو فرع من فروع علم النبات يهتم بدراسة الفعاليات الحيوية المختلفة وترابطها مع بعضها البعض مع دراسة علاقة هذه الفعاليات (العمليات) بالمحيط الخارجي الذي يحيط بالنبات ويرتبط هذا العلم مع العلوم الأخرى للنباتات مثل تشريح النبات , وراثة النبات ,تصنيف النبات وتكيف النبات للمعيشة في بيئات مختلفة , كما يدرس في هذا العلم التفاعلات الكيميائية الحياتية لمعرفة وظائف النبات على المستوى العام والمستوى الجزيئي وكيفية مساعدة هذه الوظائف في النمو وتكوين الازهار والثمار والبذور.

العلاقات المائية في النبات

أهمية الماء في نمو النبات وخواصه الكيميائية والفيزيائيه

يعتبر الماء سائل الحياة Fluid of Life حيث يشكل نسبة 80-90% من المحتوى الكيميائي لكثير من الكائنات الحية ويتميز الماء بخواص فريدة هي :

1- له حرارة نوعية عالية Specific heat أي ان الانسجة الحية تمتص او تفقد الماء دون تغير كبير في درجة الحرارة (وتعرف الحرارة النوعية بأنها الحرارة اللازمة لرفع حرارة غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة)
2- له حرارة تبخير عالية نسبياً Evaporation heat أي ان الماء يسبب فقدان مقادير كبيرة من الطاقة تحت ظروف ملائمة للتبخير مسببة عملية تبريد للنبات .
3- يكون الماء اقل كثافة في حالته الصلبة عنه في حالته السائلة ولهذا يطفو الثلج فوق سطح الماء وهذه صفة مهمه جداً للحياة المائيه للأحياء الموجودة كالطحالب و الأسماك وغيرها.
4- ترتبط جزيئات الماء مع بعضها البعض بظاهرة التماسك Cohesion كما تلتصق مع السطوح المختلفة بظاهرة التلاصق Adhesion وكلاهما يمثلان ظاهرة الشد السطحي حيث يعمل على رفع الماء داخل الاوعية الخشبية في النبات.
5- الماء شفاف للأشعه الضوئية حيث ينفذ الضوء خلال أعماق الماء للوصول الى الاحياء الموجودة كالطحالب لغرض قيامها بالبناء الضوئي.
6- يمتلك الماء درجة انصهار عالية أي يحتاج الى درجة حرارة عالية لكي ينصهر الجليد (الثلج) وهذا يساعد على عدم ذوبان الثلج بسهولة.
7- ان الخواص التي ذكرت أعلاه جاءت نتيجه لتركيب جزيئية الماء التي تتكون من ذرتي هيدروجين ترتبطان تساهمياً من جهة واحدة مع ذرة الاوكسجين ومتوسط الزاوية بينهما 105م˚ .



8- ان جزيئية الماء قطبية ذات جانب موجب الشحنة H^+ وسالب O^- وترتبط بأصرة هيدروجينية اما ارتباط H^+ و H^+ فهي اصرة تساهمية والاواصر الهيدروجينية مسؤولة عن الصفات الخاصة بالماء كالحرارة النوعية وحرارة التبخر والتماسك والتلاصق .
9- ان الماء مذيب عام وله القابلية لتكوين محاليل مع عدد كبير من المركبات لقدرته على تكوين أواصر هيدروجينيه وذلك للطبيعة القطبيه للماء مما تجعله مذيب جيد لكثير من الاملاح بهيئة ايونات موجبة وسالبة حيث يعمل الماء على نقلها داخل النبات .
10- ان الماء ناقل ووسط جيد لجميع المركبات الضرورية وينتقل بين انسجة النبات بأحد الاليات التالية :

الانتشار Diffusion ، الازموزيه Osmosis ، التشرب Imbibition

وعليه يمكن القول بأن الماء يكتسب الخواص أعلاه لسببين هما :
1- تركيبة جزيئة الماء (التركيب القطبي).
2- وجود الاواصر الهيدروجينية بين ذرة الهيدروجين و ذرة الاوكسجين .

الأهمية الفسلجية للماء:

1- يعتبرمذيب جيد للغازات والعناصر المعدنية والذائبات الأخرى وله نفاذية جيدة عبر الاغشية الخلوية الحيوية.
2- مهم جداً في التفاعلات الحيوية كالبناء الضوئي والتنفس وعملية التحلل المائي مثل تحلل النشأ لتكوين السكريات كما انه يدخل في تركيب الانزيمات ومنظمات النمو وعملية ايض النتروجين N_2
3- له دور مهم في عملية فتح وغلق الثغور.
4- له دور مهم في عملية انبات البذور و زيادة معدل التنفس فيها .
5- له دور مهم في امتلاء الخلايا وتوسعها.
6- يؤثر في عملية توازن البروتوبلازم ومكوناته.

الانتشار والازموزية و الطاقة الكيميائية الكامنة للماء (جهد الماء) و التشرب
Diffusion , Osmosis, water potential and Imbibition

ان دراسة علاقة النبات بالماء تشمل النظم التي تحكم دخول الماء الى الخلايا النباتية وخروجه منها او حركة الماء من خلية الى أخرى داخل النبات نفسه كما تشمل كيفية صعود العصارة الخشبيه في انسجة النبات الى الأوراق وكذلك كيفية حركة وتوزيع المواد الغذائية بعد تصنيعها فضلاً عن ذلك تشمل دراسة عملية النتح او لفهم علاقة الخلية النباتية وعلاقة النبات عموماً بالماء يجب معرفة بعض الظواهر الطبيعية التالية :

1- الانتشار Diffusion
2- الازموزيه Osmosis
3- الطاقة الكيميائية الكامنة للماء او جهد الماء Water potential
4- التشرب Imbibition

الانتشار Diffusion:

هو انتقال المواد من المنطقة ذات التركيز العالي الى المنطقة ذات التركيز الواطيء نتيجة للطاقة الذاتية التي تمتلكها الايونات او الجزيئات من منطقة ذات ضغط انتشار عالي الى منطقة ذات ضغط انتشاري واطيء وان القسم الأعظم من حركة المواد الداخلة للنبات او الخارجة منه كالغازات و الماء وغيرها تعزى الى عملية الانتشار .

وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار وهي :

1- مقاومة الاحتكاك :

لقد وجد ان معدل الانتشار يتناسب عكسياً مع مقاومة الاحتكاك أي ان : $\text{Diffusion rate} = \propto \frac{1}{f}$

حيث ان f هي مقاومة الاحتكاك وهذا يفسر ان معدل انتشار بخار الماء اكثر بحوالي (1500) مرة من معدل انتشار الماء السائل بسبب انخفاض مقاومة الاحتكاك لجزيئات بخار الماء ولهذا لا توجد مقاومة ميكانيكية في جسم النبات لتقليل سرعة حركة الغازات وعلى النقيض فالسوائل تنتشر داخل جسم النبات ببطء ولهذا اصبح لزاماً على النباتات ان تطور طرقاً ميكانيكيه لأسراع حركة السوائل وتقلل سرعة بخار الماء.

2- التركيز :

وجد ان الذرات او الجزيئات او الايونات تنتقل من الجهه التي يكون فيها تركيزها عالياً الى الجهه التي يقل فيها تركيز هذه المواد حيث ان الحركة الجزيئية تتجه من الجهه ذات الطاقة الحرة العالية الى الجهه ذات الطاقة الحرة الواطئة وبهذا يعتمد الانتشار على معدل حركة الجزيئات وكذلك على عدد الجزيئات بوحدة الحجم ويطلق على الطاقة الحرة للمادة التي تعتمد على هذين العاملين اصطلاح الطاقة الكيميائية او الجهد الكيميائي Chemical Potentialوالتي تحسب من المعادلة التالية : $U=RT \ln A$

U : هي الطاقة الكيميائية للمادة المنتشرة بوحده Joule/gram

R : معدل الغاز الثابت وهو Joule/degree

T: درجة الحرارة المطلقة

A : هي الفعالية او التركيز الفعال للمادة المنتشره

Ln هو اللوغارتيم الطبيعي ويساوي ($2.3 \log_{10}$)

وعند ثبات درجة الحرارة فأن الطاقة الكيميائية تتناسب مع فعالية المادة او تركيز المادة أي عند ثبات درجة الحرارة فأن المواد تنتشر من المنطقة ذات التركيز العالي الى المنطقة ذات التركيز الواطيء.

3- مساحة المقطع (المسافة) :

وجد ان معدل الانتشار يعتمد على المساحة التي تمر عبرها المادة المنتشرة وكذلك المسافة الواقعه بين المنطقة من ذات التركيز المختلف وقد ادمج عاملا فرق التركيز و المسافة من اجل إعطاء اصطلاح يوضح طبيعة الانتشار بين منطقتين مختلفة التركيز وقد سمي هذا الاصطلاح بمنحدر التركيز Concentration gradient بوحدة المسافة وان العلاقة الكمية يوضحها قانون Ficks الأول للأنتشار .

$$\frac{S}{t} = D_a \frac{C1-C2}{X}$$

حيث ان :

S : كمية المادة المنتشرة بالمول.

T : الوقت بالثانية

$\frac{S}{t}$: معدل الانتشار

D : معامل الانتشار Diffusion Constant

A : مساحة المقطع (سم2)

C1 : التركيز العالي mole/liter
C2 : التركيز الواطيء mole /liter
X : سمك المقطع او المسافة بين C1,C2(سم)
$\frac{C1-C2}{X}$: منحدر التركيز

ان المعادلة أعلاه تصلح للنقل من المسافات القليله (مثل عبر الاغشية) اما في حالة المسافة الأكثر بعداً فقد يستعمل قانون Ficks الثاني الذي يكون فيه المعادلة من نوع معادلة تفاضلية Differential Equation وهي :

$$\frac{ds}{dt} = Da \frac{dc}{dx}$$

حيث ان:
$\frac{dc}{dx}$: منحدر التركيز
وان D هي معامل ثابت لكل مادة منتشرة في وسط معين .

4- سرعة الانتشار :
ان سرعة الانتشار تتناسب عكسياً مع حجم الذرات او الجزيئات او الوزن الجزيئي او الوزن الذري أي ان الجزيئات الصغيرة تنتشر بسرعة اسرع من انتشار الجزيئات الكبيرة وحسب المعادلات التالية :

في حالة الجزيئات الصغيره $\text{Diffusion rate} \propto \frac{1}{(mass)^{\frac{1}{2}}}$

في حالة الجزيئات الكبيرة $\text{Diffusion rate} \propto \frac{1}{Radius}$

انتشار الغازات Diffusion of gases

تعتبر من اكثر المواد انتشاراً نتيجة للمسافات البينيه الواسعه التي تكون بين جزيئاتها مقارنة مع المواد السائلة والصلبة فمثلاً عند كسر زجاجة حاوية على غاز البروبين في ناقوس زجاجي مفرغ من الهواء ينتشر الغاز اسرع مقارنة مع ناقوس زجاجي حاوي على الهواء وذلك لأن وجود الهواء يقلل من معدل انتشار غاز البروبين مما لو كان وحده.

العوامل المؤثرة في معدل انتشار الغازات :

1-كثافة الغاز Density of th gase تنتشر الغازات بمعدلات مختلفة حتى لو كانت تحت نفس الظروف من حرارة وغيرها ويوضح قانون كراهام Grahams low للأنتشار والذي ينص على (ان معدل انتشار جزيئات الغاز تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكثافة جزيئات الغاز) وحسب القانون التالي :

$$\frac{r1}{r2} = \frac{\sqrt{d2}}{\sqrt{d1}}$$

حيث ان :

r1 : معدل انتشار جزيئات الغاز الأول

r2: معدل انتشار جزيئات الغاز الثاني

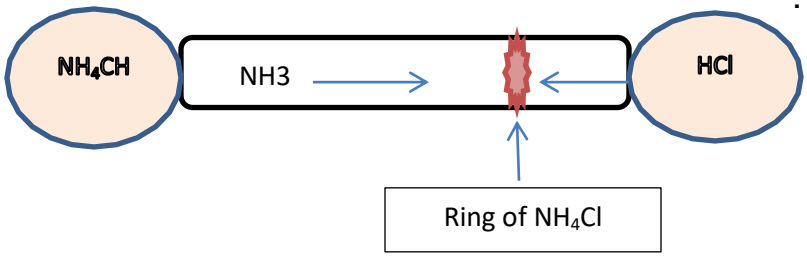
d1: كثافة جزيئات الغاز الأول

d2 : كثافة جزيئات الغاز الثاني.

فلو طبقنا القانون على غازي الهيدروجين و الاوكسجين وبما ان كثافة الاوكسجين تعادل 16مرة اكثر من كثافة الهيدروجين لذا فأن معدل انتشار جزيئات الهيدوجين تكون أربعة مرات بقدر معدل انتشار جزيئات الاوكسجين.

$$\frac{rH}{rO} = \frac{\sqrt{dO}}{\sqrt{dH}} = \frac{\sqrt{16}}{\sqrt{4}} = \frac{4}{1} = 4$$

ويمكن ملاحظة ذلك في تجربة بأخذ انبوبة زجاجية مفتوحة الطرفين يوضع في احد طرفيها قطعه مشبعة بحامض HCl والطرف الاخر قطعه مشبعة بهيدروكسيد الامونيوم NH_4OH نلاحظ تكون حلقة ضبابيه في الطرف القريب من HCl لأن غاز الامونيا ينتشر اسرع من HCl لأن حجم كتلة جزيئات NH_4OH اخف (وزن جزيئي اخف) حيث تنتشر جزيئات غاز HCl وغاز الامونيا NH_3 بسرع تختلف بأختلاف الكثافة وسيلتقي الغازان يكونان كلوريد الامونيوم NH_4CL في منطقة تكون قريبة من جزيئات الغاز الثقيلة HCL ويكون NH_4CL المتكون بشكل مختلف حلقة ضبابية كما في الشكل :



درجة الحرارة Temprature:

يزداد معدل الانتشار بزيادة درجة الحرارة لأنها تزيد من الطاقة الحركية أي الجهد الكيميائي لجزيئات الغاز ويقاس تأثير الحرارة في التفاعلات الكيميائية والفيزيائية بما يسمى Q_{10} او معامل الحرارة (نسبة سرعة تفاعل ماعند درجة حرارة معينة الى سرعتة عند درجة حرارة اقل من السابقة بـ 10 درجات وتقدر قيمته في التفاعلات البيولوجية كالأتي :

حيث ان :

$$\log Q_{10} = \frac{10}{T2-T1} \log \frac{K2}{K1}$$

T1: درجة الحرارة الأقل

T2: درجة الحرارة الأعلى

K1: معدل التفاعل في الحرارة الأقل

K2: معدل التفاعل في الحرارة الأعلى

ان أهمية حساب Q_{10} هو لتحديد طبيعه التفاعل فيما اذا كان فيزيائي او كيميائي فعند زيادته عن واحد يعني التفاعل فيزيائي كالأنتشار اما في التفاعلات الكيميائية فقد تصل الى (2) او اعلى 2.1 و 2.2 وخاصة في التفاعلات الكيميائية الضوئية كعملية البناء الضوئي.

3- تدرج الجهد الكهربائي او الجهد الكيميائي Chemical potential gradient كلما زاد الفرق في تركيزات المادة المنتشرة بين منطقة وأخرى كلما زاد معدل الانتشار وان أي عامل يسبب زيادة او نقصان في تدرج الجهد الكيميائي مثل التركيز ودرجة الحرارة سوف يؤثر على معدل الانتشار .
4- قابلية الذوبان في وسط الانتشار :
كلما زادت قابلية المادة على الذوبان في وسط الانتشار كلما زادت سرعة انتشارها في ذلك الوسط وكلما زاد تركيز وسط الانتشار كلما زادت مقاومته للمواد المنتشرة فيه ويتأثر ذلك بالعوامل الأخرى كدرجة الحراة .

المحاليل Solution:

هو مزيج متجانس من مادتين او اكثر حيث تكون جزيئات الذائب منتشرة بين جزيئات المذيب بصورة متجانسة وحركة جزيئات كل من الذائب والمذيب عشوائية وتحكمها الطاقة الحركية للمذيب ضمن المحلول وهي اقل من الطاقة الحركية لنفس الكمية من المذيب النقي لان هذه الطاقة يستخدم لمنع جزيئات المذيب من الترسيب ولكن تبقى منتشرة بصورة متجانسة وهذا يكون على حساب الطاقة الحركية للمذيب ان المحاليل على نوعين :

1- محاليل ناتجة من اذابة مادة غير متأينة كالسكروز بالماء وتبقى كاملة
2- محاليل ناتجة من اذابة مادة متأينة كالملح (ملح الطعام) NaCl يتأين الى Na و Cl وهذا يتطلب طاقة اكبر مما في النوع الأول حيث جزيئات المذيب تتعامل مع نوعين من الايونات فتحتاج الى طاقة اكبر مرتين مما في حالة السكروز لغرض انجاز الذوبان بصورة جيدة .

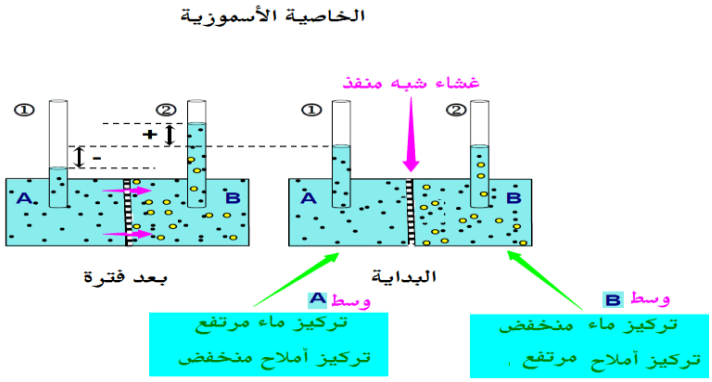
وعلية يمكن تقسيم المحاليل بالنسبة الى حالة وجود المادة المذابة في المادة المذيبة الى ثلاثة اقسام :

1- المحلول الحقيقي : كما هو الحال في ملح الطعام حيث ايوني Na و Cl موزعه بأنتظام في كل المذيب (الماء)
2- المحلول المعلق Suspension Solution: كما في حالة الرمل في الماء فأن الرمل سرعان ما يترسب في الماء
3- محاليل الأنظمة الغروية Colloidal Solution: حيث فيها تتجرأ المادة الى وحدات متوسطة بين المحاليل الحقيقية و المعلقة وتضل الدقائق منتشرة في محاليلها ولاتترسب ابداً من تلقاء نفسها ولا يمكن رؤية الدقائق الغروية بالميكروسكوب.

الجهد الازموزي والمائي والضغطي والعلاقة بينهم :

ان الماء ينتشر بظاهرتي الازموزية والتشرب وعليه يمكن تعريف الازموزية بأنها نوع من أنواع الانتشار تتضمن حركة الماء وانتقاله خلال غشاء انتخابي او انتقائي النفاذية من الوسط الأكثر تركيز الى الوسط الأقل تركيز نتيجة لأمتلاك حزيئات الماء للطاقة الحركية اللازمة . يمكن قياس العملية الازموزية بجهاز Osmometer الازموميتر المكون من جزيئتين مفصولين بغشاء ذو نفاذية اختياريه حيث ان هذا الغشاء يسمح بمرور الماء فقط وليس الذائبات كالسكر ويمكن توضيح الخاصية الازموزية من خلال مليء مثانة (وعاء) بمحلول سكري (B) ووضعها في الماء الموجود في وعاء (A) (انظر الشكل) فنلاحظ ان الماء ينتقل من الوسط الخارجي (الماء النقي) بمعدل اسرع من انتقاله من الداخل (المحلول السكري) وينتج عن ذلك ازدياد حجم المحلول في المثانة (B) محدثاً ضغطاً على الجدران الداخلية لها وبما ان هذا الضغط منشأ عن دخول الماء الى المحلول فقد اطلق عليه اسم الضغط الازموزي للمحلول وبأختصار ان الازموزية يمكن مشاهدتها عند توفر المحاليل او الماء المقطر على ان تكون معزولة بمادة تفيد حركة الدقائق المذابة اكثر من تغييرها كحركة جزيئات المذيب وهذا العازل الذي لايمتزج بالمحاليل المحيطة به يطلق عليه الغشاء نصف الناضج (كما في الشكل) ان معدل سرعة الماء من A الى B اكثر لأن الجهد للماء النقي في A اكثر من B على عكس المحلول B لأمتلاكه طاقة حركية اقل وبذلك يصبح B اكثر تخفيضاً ويقل الفرق في الجهد الكهربائي

بين الماء النقي في A وبين المحلول السكري B حتى يصل الى حالة الاتزن Isotonic فتصبح كمية الماء الداخله الى Bتساوي كمية الماء الخارجة منه.



وتقسم الاغشية تبعاً لنوع المادة المكونة لها الى ثلاثة أنواع هي:

1- يكون الغشاء متكوناً من طبقة من السائل غير القابل للامتزاج مع السائل المذيب في النظام الازموزي ولكن هذه الطبقة تسمح بمرور جزيئات المذيب اكثر من المذاب خلاله.
2- النوع الثاني فقد يكون الغشاء طبقة غازية (هواء بين محلولين مائيين) ولهذا فأن الماء سوف يمر خلال هذه الطبقة الغازية بشكل بخار الماء اما المواد غير الطيارة فلا تستطيع المرور.
3- النوع الثالث من الاغشية فيكون طبقة صلبة وبشكل الصفيحه المنخلية ذات الثقوب التي تستطيع جزيئات الماء من المرور خلالها فقط ويمكن ان تحدث هذه الأنواع الثلاثة من الاغشية خلال النبات او خلال النظام المسمى التربة – النبات- الهواء (الجو).

وقد تقسم الاغشية بالنسبة الى قابلية نفاذيتها الى ثلاثة اقسام هي :

1- الغشاء النفاذ Permeable membrance: يسمح هذا الغشاء لجزيئات المادة الذائبة او المذيب بالنفاذ خلاله مثل ورقة الترشيح
2- الغشاء غير المنفذ Impermeable membrance: لايسمح الغشاء لجزيئات المواد المختلفة بالنفاذ
3- الغشاء نصف الناضج Semipermeable membrances: يسمح الغشاء لجزيئات المذيب بان تمر خلاله ولم يسمح لجزيئات المذاب بالنفاذ وقد يكون طبيعياً كالمثانه و اصطناعياً كورقة السيلوفان والبارشمنت والكلوديون.

ولكي نفهم الازموزيه هناك مصطلحات يجب التعرف عليها ودراستها وهي :

1- الجهد الازموزي Osmatic Potential (Ψs) :

هو احد مكونات الـ water potential وهو اقصى ضغط يمكن ان يتولد في محلول تحت ظروف مثالية للأزموزية عند فصل المحلول عن المذيب النقي بغشاء ذو نفاذية اختياريه وهو يعادل الضغط اللازم احداثه على محلول ما لمنع دخول المذيب اليه عبر الغشاء ويتناسب طردياً مع تركيز الذائب وبما ان الماء النقي لايحوي أي ذائب فيكون (OP) له صفراً وهي اعلى قيمة وكل (OP)للمحاليل يكون سالب ويعبر عنه بوحدات بار او ضغط جوي ويفضل تسميته بالجهد الازموزي بدلاً من الضغط الازموزي لأنه مقياس لقلة او غياب الطاقة التي استنفذت بعملية الاذابة والمحلول عادة له طاقة اقل من الماء النقي فلذا فأن الرمز هو تعتبر غياب الطا قة في المحلول نتيجة للتفاعل بين الذائب والمذيب مقارنة بالماء النقي تحت ظروف مثالية وكلما زاد تركيز المحلول كلما زاد الجهد الازموزي أي تزداد سالبية الجهد الازموزي ويرمز له بقيمة سالبة (-) لأن الجهد الازموزي للماء النقي يساوي صفر لأنه خالي من الذائب.

اما المحاليل التي تحتوي على الذائبات فيكون جهدها سالباً لأن الجهد الازموزي يمثل :

أ- اقصى ضغط يمكن ان يتولد في المحلول الى ان يصل حالة الاتزان.
ب- له علاقه مباشرة بكمية الذائب في المحلول وتزداد سالبيته بأزدياد التركيز.
ت- له علاقه بأنخفاض الجهد الكيميائي والطاقة الحرة نتيجة للتفاعلات بين الذائب والمذيب ويمكن قياس الجهد الازموزي للمحاليل بأستخدام معادلة الباحث Vant Hoff وهي :

$$\| = \frac{N}{V}RT \quad or \| = CXRT$$

حيث ان :

‖= الجهد الازموزي (يكون سالب)

- N : هو عدد مولات المذاب
- V : حجم المذيب باللتر
- R : ثابت الغازات 0.082 liter atm /mole-degree
- T : درجة الحرارة المطلقة
- C : التركيز
- X : هو ثابت التأين (بالنسبة للمحاليل غير المتأينة تكون X تعادل واحد).

ويمكن قياس الجهد الازموزي مثلاً لمحلول سكري (1 Mole) عند درجة صفر م˚ له جهد ازموزي -22.4 بار او ضغط جوي وهذه القيم حصل عليها الباحث Vant Hoff الذي قام بقياس الجهد الازموزي عند تطبيق المعادله أعلاه وقد أدخلت العلاقه السالبة للدلاله على الجهد الازموزي لأنخفاض الجهد الكيميائي للمذيب (الماء) نتيجة للتفاعل بين المذيب والمذاب .

ويمكن القول بأن الضغط الازموزي للمحلول ينشأ عندما يكون ذلك المحلول معزولاً بغشاء او تركيب يتصف بأنه منفذ بصوره تامه للماء وليس للمذاب وان الضغط الازموزي للمحلول يتناسب طردياً مع عدد مولات المذاب كما توضحه المعادله أعلاه , هذا وقد وجد ان المحلول (1 Mole) لمادة غير متأينة في درجة الصفر المئوي يمتلك ضغطاً ارموزياً افتراضياً يقدر 22.7 بار (22.4 ضغط جوي).

اما المواد المتأينة الالكترونيه قد تزيد الضغط الازموزي بنسبة درجة تأينها (X) حسب المعادله أعلاه , حث ان (X) هي ثابت ثابت تأين المواد الالكترونيه المذابة او أي ختلاف عن المحلول المثالي , وبالنسبة للمواد غير المتأينة فأن (X) تساوي واحداً ولكنها بالنسبة للمواد الالكترونية فأن (X) تختلف بأختلاف فعالية تأين المواد الالكترونية كما ان الذائبات تسبب انخفاضاً في ضغط الماء البخاري مقارة بالضغط البخاري للماء النقي.

2- الجهد المائي (Ψw) Water Potential:

لأجل ادراك موضوع Water Potential يجب مراجعة الطاقة الحرة free Energy والتي تعني قابلية النظام لأنجاز العمل ويطلق على الطاقة الحرة للمول الواحد من اي مادة في النظام الكيميائي بالطاقة الكيميائية الكامنة Chemical Potential ولهذا فتكون الطاقة الكيميائية الكامنة للمادة تحت ظروف الضغط و درجة الحرارة المتشابهه معتمدة على عدد مولات (Moles) تلك المادة الموجودة وعند دراستنا لعلاقة النبات بالماء فأن تلك الطاقة الكيميائية الكامنة للماء يشار اليها بأصطلاح Water Potential وقد تسمى جهد الماء ويعرف الجهد الكيميائي بأنه الطاقة الحره لكل مول جزيئي لأي مادة في النظام الكيميائي وبما ان الجهد الكيميائي للمادة تحت ظروف ثابتة (ظروف الضغط والحرارة) يعتمد على عدد مولات المادة الموجودة

وبالنسبة للنبات وعلاقته بالماء يعبر عن الجهد الكيميائي للمادة بالجهد المائي فهو اصطلاح يوضح و يبين الفرق بين الجهد الكيميائي للمحلول والجهد الكيميائي للماء النقي.

أي الجهد الكيميائي للمحلول- الجهد الكيميائي للماء النقي

ولهذا فأن الجهد المائي للماء النقي يساوي صفر وذلك بسبب عدم وجود فرق او نقص او غياب الطاقة الحركية الانتقالية لجزيئات الماء لكونه نقي وخالي من الذائبات (المادة الذائبة) ولهذا فأن الجهد المائي في النظم الحيوية يكون سالب أي اقل من الصفر ويقاس بوحدة البار او الضغط الجوي. فلو اذبنا مادة السكروز في ماء نقي فأن المحلول المتكون يكون له جهد مائي اكثر سالبية (اقل قيمة) من الجهد المائي للماء النقي ويكون جهد الماء يساوي جهده الازموزي ويساوي صفر لأن الماء حر طليق والنظام غير مغلق وعليه فلا يتكون أي ضغط امتلائي لهذا المحلول (الماء)وهناك عدة طرق لقياس او تقدير الجهد المائي للماء في الخلايا النباتيه كطريقة القطرة الساقطة او انحناء سويق نبات الخروع او التغيرات في وزن او طول قطع البطاطا في محاليل سكرية (هذه الطرق تدرس في الجزء العملي).
يمكن حساب جهد الماء من المعادلة التالية :

$$\Psi w = Uw - Uw^{\circ} = RT \ln \frac{e}{e^{\circ}}$$

حيث ان :
UW: الطاقة الكيميائية للماء في أي نظام (erg/mole)
UW: الطاقة الكيميائية للماء النقي (erg/mole)
R: معامل الغازات الثابت ويساوي 8.31 × 107erg/mole/degree
T: درجة الحرارة المطلقة (درجة كالفن)
ln: اللوغاريتم الطبيعي
e: الضغط البخاري للماء في نفس الدرجة (T) بالملمتر/ زئبق
e° : الضغط البخاري للماء النقي في نفس درجة الحرارة (T) بالملمتر / زئبق.

3- الضغط الامتلائي Turgor Prssure (Ψp) (الجهد الضغطي) :

هو ايضا من مكونات الـ Water Potential ويسمى الجهد الضغطي Pressure potential وهو ضغط حقيقي يتولد نتيجة لأنتشار جزيئات الماء (المذيب) بأتجاه معين فهذا الضغط يحد من حركة جزيئات المذيب لذلك الاتجاه ويكون له قيمة موجبة لأنه ضغط حقيقي وهذا يتولد للتعويض عن نقص الطاقة الحرة او يعادل تأثيرها ويكون بأتجاه الجدار الخلوي ويحافظ على الخلية ويجعلها قادرة على الحياة في مدى واسع من التركيزات الازموزيه لذلك فالجهد الضغطي له أهمية فسلجية لأنه يساعد على :

أ- امتلاء الخلايا للقيام بالوظائف الفسلجية
ب- دعم واسناد النبات
ت- زيادة حجم الخلايا وانقسامها عند نمو النبات
ولهذا فعند وضع الخلية النباتية في ماء نقي لاتنفجر للأسباب التالية :
1- وجود جدار خلوي يحيط بالخلايا النباتيه ويمنعها من التمزق

2- تولد ضغط يسمى الضغط الجداري يعاكس الضغط الانتفاخي في الاتجاه ويعادله بالمقدار ولذا فان في حالة الامتلاء وضع الخلية في محلول (Hypotonic) يكون T.P موجب . يكون الضغط الانتفاخي صفر في الحالات التالية:

أ- عندما يكون النظام مفتوح وليس مطلق

ب- عند بداية وضع الخلية في المحلول

ت- في حالة البلزمة الابتدائية (محاليل Isotonic)

يكون T.P سالب عند وضع الخليه في محلول Hypertonic أي الخليه في حالة الشد او سحب او بلزمة تامة اما بالنسبة للعلاقات المائية في الخلايا النباتية فان الماء ينتقل من خلية الى أخرى بالألية الازموزية فينتقل من خلية ذات جهد مائي اقل سالبية الى خلية ذات جهد مائي اكثر سالبية . وترتبط المصطلحات الثلاثة التي ذكرت بمعادلة هي :

$$\Psi w = \Psi s + \Psi p$$

نستنتج مما سبق مايلي:

1- يتولد الجهد الضغطي عادة في الخلايا النباتية و الأنظمة الازموزية المغلقه
2- في أي محلول يكون الجهد المائي يساوي الجهد الازموزي اذا كان النظام مفتوحاً أي ان الجهد الضغطي= صفر
3- عند وضع المحلول في كيس غشائي ذو نفاذية اختيارية ويغمر في محلول اخر اقل تركيز منه أي ان جهده المائي اقل سالبية هنا الماء ينتقل من التركيز الذي اقل سالبية الماء النقي مثلاً الى الأكثر سالبية مثل المحلول مولداً جهد ضغطي T.P تصل قيمته الى قيمة الجهد الازموزي ولكن بعكس الإشارة بحيث تصل الى نقطة تتساوى فيها الجهود المائية بين المحلولين.
4- تتغير قيمة الجهد المائي للمحلول الداخلي فقط وليس الجهود الازموزية استناداً للعلاقة $\Psi w= \Psi s+\Psi p$ وعند حدوث الاتزان تتساوى الجهود المائية للمحلول والعصير الخلوي.
5- ان زيادة قيمة الجهد الضغطي في الداخل هي الي تسبب التغير في الجهود المائية وليس الجهود الازموزية
6- قيمة الجهد الضغطي تتراوح مابين صفر الى قيمة الجهد الازموزي كأقصى حد واعلى قيمة يصلها تغمر الخلية في ماء نقي نتيجة التخفيف
7- ينتقل الماء من الخلية او النظام الازموزي من الأقل سالبية الى الأكثر سالبية للجهد المائي لكون الماء له طاقة عالية وقدرة على الحركة اكبر

البلزمة Plasmolysis:

تحدث البلزمة عند فقدان الماء من الخلايا وتكون على نوعين :

1- البلزمة الابتدائية .Incipient pla وهي بداية انسحاب الغشاء قليلاً عن الجدار وفي بعض الخلايا ليس جميعها حوالي 50% من الخلايا تتبلزم وتحث في محاليل متعادلة التركيز Isotonic يكون الجهد الضغطي فيها صفراً ويمكن اعادتها الى حالتها الطبيعية عند نقلها من المحلول الى ماء نقي وتشاهد عندما يكون هناك صف من الخلايا كما في بشرة البصل وتسمى ايضاً بالوقتية او المؤقتة Limited plas .
2- البلزمة الدائمية او التامة.Permanent plas تحدث في محاليل Hypertonic ويحدث انسحاب كامل للغشاء عن الجدار الخلوي حتى تتكور المحتويات البروتوبلازمية في وسط او جانب من الخلية ولاتستطيع الخلايا

الرجوع الى حالها الطبيعية وتستعيد امتلائها حتى لو وضعت في ماء نقي وتتبلزم معظم او جميع الخلايا ويكون (Ψp= -) نتيجة لخروج كميات كبيرة من الماء وحدوث جفاف وموت الخلايا

البلزمة المؤقتة	البلزمة الدائمية
1- تحدث في محاليل Isotonic	1-تحدث في محاليل Hypertonic
2- يمكن حساب الجهد المائي من الجهد الازموزي لان Tp = صفر	2-لايمكن لانها تحدث تحت تاثير شد لان Tp سالب
3- يحدث انسحاب بسيط للغشاء عن الجدار	3-يحدث انكماش الفجوة والبروتوبلازم وتكون المحتويات البروتوبلازمية في وسط او جانب الخلية
4- ترجع الخلية الى حالتها اذا وضعت في ماء نقي	4-لاترجع الخلية بسبب تقطع الروابط البروتوبلازمية ويحث موت للخلية.
5- تتبلزم 50% من الخلايا	5-تتبلزم جميع او معظم الخلايا.

مثال1 : محلول ذو جهد ازموزي قيمته(-40) بار وضع في غشاء ذو نفاذية اختيارية وغمر هذا الغشاء في ماء نقي ماذا يحدث , ماهي Ψw,Ψs,Ψp عند الاتزان.

في بداية وضع الغشاء في المحلول Ψw = -40 bar, Ψs= -40 bar لان Ψp= صفر.

اما في الماء النقي يكون صفر = Ψw ، صفر =Ψs ، صفر= Ψp

لذا محصلة انتقال الماء تكون من الماء النقي الى المحلول في الغشاء حتى يصل الى حالة الاتزان عندما تتساوى الجهود المائية بين الماء النقي والمحلول في الغشاء ويتولد جهد امتلائي قدره +40بار لكي يصبح الجهد المائي للمحلول صفراً

Ψw= Ψs+Ψp

=-40 + 40

الجهد المائي للمحلول=صفر= الجهد المائي للماء

مثال2 : محلول ذو جهد ازموزي -40بار وضع في غشاء ذو نفاذية اختيارية وغمر في محلول اخر ذو جهد ازموزي -10بار ماذا يحدث وأين يكون اتجاه الماء ؟ ماهي Ψw,Ψs,Ψp عند وضع الغشاء بالمحلول وعند الاتزان.

Ψw= Ψs+Ψp

= - 40+ 0

= - 40

اذن ينتقل الماء من الخارج الى داخل الغشاء أي ينتقل الماء من الأقل السالبية bar 10- الى bar 40- ونتيجة لدخول الماء يتولد جهد ضغطي مقدارة bar 30+

$\Psi w = -40 + 30$

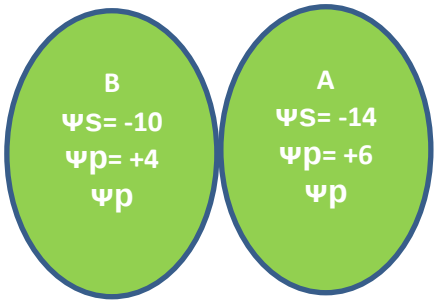
للمحلول الخارجي $\Psi w = -10 = \Psi w$ للمحلول الداخلي.

عند الاتزان تتساوى الجهود المائية للغشاء الداخلي والمحلول الخارجي أي ان الجهود عند الاتزان للمحلول الداخلي $\Psi w = -10$ ، $\Psi s = -40$ ، $\Psi p = +30$

مثال3 : في حالة الخلايا النباتية اذ تعتبر الخلايا النباتية أنظمة ازموزية مغلقه

خليتان متجاورتان الأولى A جهدها الازموزي للعصير الخلوي -14بار وجهدها الضغطي +6باروخليته B جهدها الازموزي -10 بار وجهدها الضغطي +4بارعند لصقها مع بعض؟ اذكر جهودها المائية في االبداية وأين يكون محصلة اتجاه الماء وماهي $\Psi w, \Psi s, \Psi p$ لكل منهما عند الاتزان.

1- عند البداية خلية A :



$\Psi w = \Psi s + \Psi p$

$= -14 + 6$

$= -8$

2- خلية B :

$\Psi w = \Psi s + \Psi p$

$= -10 + 4$

$= -6$

اتجاه محصلة الماء يكون من خلية B الى الخلية A من الأقل سالبية الى الأكثر سالبية عند الاتزان تتساوى الجهود المائية وتكون قيمة الحدود المائية معدل جودهما المائية

$\Psi w = \frac{-8+(-6)}{2} = \frac{-14}{2} = -7$

وعلية ستتغير قيمة الجهد الضغطي لكل خلية .

$\Psi wA = \Psi s + \Psi p$

$-7 = -14 + \Psi p$

$\Psi p = +7$

$\Psi wB = \Psi s + \Psi p$

$= -10 + \Psi p$

$\Psi p = +3$

عند الاتزان تكون الجهود كمايلي:

خلية A = **ψWa = -7 bar** ، **ψs= -14 bar** ، **ψp = +7 bar**

خلية B = **ψWb = -7 bar** ، **ψs= -10 bar** ، **ψp = +3 bar**

مثال 4/ خلية ذو جهد ازموزي 12- bar تبخر الماء منها حتى انكمشت جدران الخلية نحو الداخل بحيث اصبحت الخلية تحت تأثير شد او سحب مقداره 4- bar ، فما هو ψw,ψs,ψp لهذه الخلية .

ψs= -12 bar لايتغير ابدا

ψp = - 4 bar الخلية تحت تاثير شد او سحب

اما الجهد المائي فيصبح ψw = ψs+ψp

-12- 4 = -16 bar

التشرب Imbibition:

هو حالة من حالات الانتشار يتم فيها انتقال الماء اعتماداً على الية الادمصاص Adsorption (التجمع السطحي) لأن صافي حركة الماء تعتمد على فرق الضغط الانتشاري فعند وضع مادة نباتية جافة كالبذور في الماء فأن البذور سوف تتضخم.

شروط حدوث التشرب :

1- وجود تجاذب بين المادة المتشربة وسائل التشرب فمثلاً المطاط لايتشرب بالماء ولكن يتشرب بالكحول بينما يتشرب النشأ بالماء وكذلك البذور

2- ان يكون هناك تدرج او فرق بين الجهد المائي لسائل التشرب وبين الجهد المائي الموجود في المادة المتشربة

خصائص المواد القابلة للتشرب :

1- مؤلفة من دقائق غروية تسمح بحدوث الادمصاص او التجمع السطحي

2- وجود مساحات سطحية داخلية كبيرة والتي تشمل الفجوات والفراغات الشعرية وهذا يساعد على انتشار الماء وشغلة للفراغات ويتجمع سائل التشرب تجمعاً سطحياً حول الدقائق الغروية ثم يصبح هذا الماء جزء من الدقيقة الغروية.

جهد الحشوة او الجهد المتري Matric Potential:

هو جهد يقابل الجهد الازموزي ويمثل اقصى جهد تولده المادة الادمصاصية اذا ما غمرت في الماء النقي وهوبقيمة سالبة- ، **ψw = ψm+ψp** وعندما لا تكون الأنظمة المتشربة مغلقة أي تكون مفتوحة تصبح قيمة الجهد المائي مساوية للجهد المتري أي لايوجد جهد ضغطي (يساوي صفر) ان قيمة جهد الحشوة للبذور يكون شديد السالبية قد يصل الى 1000بار وبعد انتهاء التشرب فتساوي الجهود المائية بين الماء في سائل التشرب وبين الماء في المادة المتشربة وماينطبق على الازموزية ينطبق على التشرب.

مثال: اذا غمرت بذور محتويه على ماء ذات جهد ازموزي -500 بار في محلول جهده -50 بار ماذا يحصل او اين يكون اتجاه الماء .

$$\Psi w = \Psi m + \Psi p$$

$$= -500 + 0$$

$$\Psi w = \Psi m = -500 \text{ bar}$$

ينتقل الماء من الخارج الى الداخل (داخلي البذور) بالألية الادمصاصية ويحصل التشرب حتى تتساوى الجهود المائية بين الخارج والداخل فتصبح قيمة الجهد المائي لتلك البذور.

$$\Psi w = \Psi m + \Psi p$$

$$= -500 + 450$$

$$= -50 \text{ bar}$$

عند الاتزان للبذور $\Psi w = -50$ = Ψw للمحلول .

العوامل المؤثرة في معدل ومقدار التشرب :

1- درجة الحرارة Temprature كلما زادت درجة الحرارة يزداد معدل التشرب فقط اما كمية التشرب لاتتأثر بذلك لأن الحرارة تزيد من الطاقة الحركية لجزيئات الماء فتزيد من معدل دخول الماء وادمصاصه على الدقائق الغروية لأن للتشرب حد معين (أي قابلية محدودة) والحرارة تقلل من الزمن اللازم لحدوث التشرب لزيادتها معدل التشرب.

2- الجهد الازموزي لسائل التشرب : ان إضافة ذائب ما الى الماء النقي يحصل الجهد المائي اكثر سالبية . ويؤثر هذا على تدرج او فرق في الجهد المائي بين سائل التشرب وبين سائل المادة المتشربة (الماء) وسوف يؤثر في معدل التشرب وكلما زاد الفرق في الجهود المائية كلما زاد معدل التشرب فالتشرب بالماء النقي يكون اكثر من التشرب بالمحلول الملحي وهكذا.

نواتج عملية التشرب :

1- زيادة الوزن والحجم : يزداد الحجم ووزن المادة المتشربة حيث يصبح الماء الممتص جزء من المادة المتشربة ولكن حجم النظام (الماء + المادة المتشربة) يقل بسبب :

أ- معظم الماء يتجمع تجمعاً سطحياً على شكل اغلفة تحيط بالمادة المتشربة بصورة متراصة

ب- قسم من الماء يملىء الفراغات الشعرية الموجودة بين دقائق المادة الغروية

2- ارتفاع درجة حرارة النظام او الماء نتيجة لعملية الادمصاص من قبل الماء حول الدقيقة الغروية يفقد الماء طاقته الحركية بعد حدوث التشرب على شكل طاقة حرارية تظهر بأرتفاع درجة حرارة النظام النشوي او المادة المتشربة

3- تولد ضغط يسمى هذا الضغط بالضغط او الجهد الضغطي او التشربي وهو يقابل الجهد الضغطي او ضغط الامتلاء في الأنظمة الازموزية ويحدث عندما يكون النظام مغلق أي كما يحدث في وضع البذور المتشربة في قالب من الجبس وبعد التشرب تكبر بالحجم فيتشقق الجبس ويستفاد من ذلك في تكسير الصخور في السابق قبل اكتشاف الديناميت .

أهمية التشرب :

تحصل البذور على الماء بألية التشرب ليتم تنشيط كثير من الانزيمات والفعاليات الفسيولوجية في البذور مثل تحلل النشأ الى سكر لتغذية ونمو الجنين فيتحول الى البادرة لتحدث عملية الانبات

امتصاص الماء Absorption of water وانتقاله في النبات :

يتم امتصاص الماء من خلال المجموع الجذري تحت الظروف الطبيعية واكثر مناطق الجذر الحديث امتصاصاً للماء هي منطقة الشعيرات الجذرية " انظر الشكل "

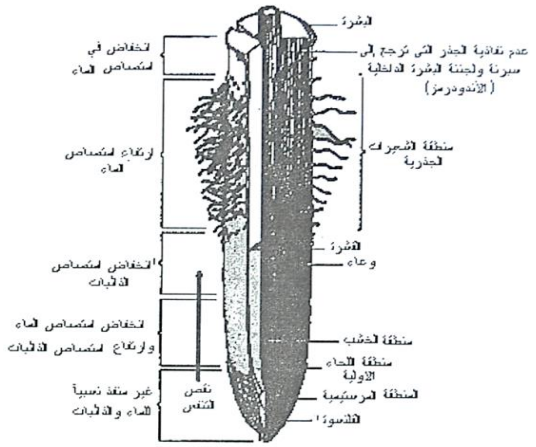
ينتشر الماء الى الشعيرات من المنطقة (الخلايا) الأقل سالبية للجهد المائي الى الخلايا الأخرى للبشرة كنتيجة للتدرج في الجهد المائي وكلما ظل الجهد المائي للعصير الخلوي لخلايا الجذر اكثر سالبية عن ذلك لمحلول التربة فأن الماء يستمر في الدخول الى الخلية والزيادة في تركيز المذيبات في الخلايا او النقص في ضغط امتلائها سوف يسببان سالبية للجهد المائي الذي ينشأ في العصير الخلوي ونتيجة لذلك فأن امتصاص الماء يزداد وبالتالي فأن معظم الماء الممتص يحدث خلال الية الازموزية . ولما كان المجموع الجذري للنباتات المختلفة ربما يختلف اختلافاً كبيراً في المظهر وفي امتداده داخل التربة لذلك فلا يوجد ادنى شك في الاختلاف الشديد في قدرات الجذور على امتصاص الماء

اما في الجذور الحاوية على مادة السوبرين كما في نبات الحور الأصفر Yellow Poplar والصمغ الحلو Sweet gum فأن امتصاص الماء يتم عن طريق:

أ- العديسات Lenticles

ب- الكسور حول الافرع الجذرية break around branch roots

ت- الجروح Wounds



مسار تحرك الماء

أ- مسار حركة الماء خلال الجذر Path of Water movement through root :

يتم امتصاص الماء عن طريق الشعيرات الجذرية في الجذر ثم ينتقل الى بشرة المجموع الجذري نتيجة للفرق في الجهد المائي بين التربة و العصير الفجوي لخلايا الجذر ويستمر الماء بالأنتشار الى داخل النبات مادام هناك فروق في الجهد المائي لخلايا الجذر ثم يدخل خلال انسجة القشرة ثم الى (Endodermis) ثم يتحرك الى الدائرة المحيطية ثم يصل الى اوعية الخشب ونتيجة لوجود اشرطة كاسبر التي هي من مادة السوبرين فيتحول الماء الى داخل خلايا الخشب بالألية الازموزية ومن جهد مائي اقل سالبية الى جهد مائي اكثر سالبية وبما ان نسيج الخشب بالجذر مرتبط بنسيج الخشب بالساق فأن الماء ينتقل من نسيج الخشب في الجذر الى نسيج الخشب في الساق ثم يقع الماء الممتص تحت تأثير الشد النتحي الى بقية أجزاء النبات.

ان حركة الماء خلال جذر خلايا البشرة الداخلية يعاق بسبب شريط كاسبر Casparian Strip وهو شريط من السوبرين يغطي السطوح الداخلية للجدر الأولية العرضية والشعاعية لخلايا البشرة.

ب- مسار حركة الماء في الورقة Path of Water movement in Leaf:

يتشعب خشب الساق ليكون شبكة معقدة من الانسجة الموصلة للماء والتي تنتهي بالعروق او الحزم الوعائية في الورقة والتي ايضاً تتفرع الى تشعبات ثانوية وهكذا والتي تنتهي بالعروق الدقيقة والتي تمثل الحزم الوعائية في الورقة وفي ذوات الفلقة الواحدة تحاط الحزمة الوعائية بخلايا برنكيمية تسمى غلاف الحزمة bandle sheth ويتحرك الماء من العروق الى ميزوفيل الورقة حيث يستخدم نسبة قليله منه في المحافظة على امتلاء الخلايا اما الغالبية العظمى منه يخرج الى الغرف الهوائية تحت الثغور ثم يخرج عن طريق الثغور الى المحيط الخارجي وذلك نتيجة للفرق في تركيز البخار في الداخل والخارج وهذا يسمى بعملية النتح Transpiration.

امتصاص الماء بواسطة أجزاء النبات الهوائية Absorption of Water by aerial of plants:

يحدث احياناً امتصاص الماء بصورتيه السائلة اوبخار الماء وبدرجة محدودة بواسطة الأجزاء الهوائية في النباتات ويعتمد ذلك على :

أ- الجهد المائي لخلايا الورقة

ب- نفاذية طبقة الكيوتكل

اذا كان الجهد المائي لخلايا الورقة اكثر سالبية من الجهد المائي في المحيط الخارجي فأن الماء ينتقل من الخارج الى داخل الورقة وبالعكس اما نفاذية طبقة الكيوتكل فكلما كانت رقيقة سمحت لنفوذ الماء من خلالها اما اذا كانت متثخنه فأنها تمنع ذلك وقد يحتوي الكيوتكل على طبقة متقطعه حيث تتخللها مادة البكتين (نظام غروي محب) ذات قدرات اقتصادية عالية تستطيع اخذ الماء بهذة الطريقة ولكن بصورة عامة نسبة الماء الممتص بهذة الطريقة غير مهمة.

عوامل التربة المؤثرة في امتصاص الماء :

1- **درجة الحرارة** : حيث بأنخفاضها يقل الامتصاص وذلك :

أ- تقل حركة الماء بأنخفاض درجة الحرارة وذلك لزيادة لزوجة الماء

ب- تزداد لزوجة السايتوبلازم فيصبح اقل نفاذية للماء.

ت- يحصل توقف لنمو الجذور وتقليل امتصاص الماء.

2- الجهد المائي لمحلول التربة : ان امتصاص الماء يحدث نتيجة لوجود تدرج في الجهد المائي لمحلول التربة والجهد المائي للعصير الخلوي لخلايا الجذر وذلك يجب ان يكون دائماً الجهد المائي لمحلول التربة اقل سالبية من الجهد المائي للعصير الخلوي للجذور وذلك فالنباتات المتحملة للملوحة والتي تعيش في تربة مالحة Halophytes هي التي تأخذ الماء من التربة بسهولة.

3- تهوية التربة (توفر O_2) : ان تهوية التربة عامل أساسي لنمو الجذور نمواً طبيعياً لأن وجود O_2 مهم لتنفس الجذور وتحرير طاقة تساعد الجذور على القيام بالفعاليات الحيوية ومنها امتصاص الماء ولذا عند السقي بالماء بغزارة يسبب طرد الهواء ونقص O_2 ويتوقف التنفس وينخفض معدل ايض الجذر وقدرته على امتصاص الاملاح تنخفض فتتراكم الاملاح ويؤثر على امتصاص الماء وخاصه عندما تكون التهوية رديئة والنتح سريع فيحدث ذبول للأوراق وقد يموت النبات بالرغم من غمر التربة بالماء (ظروف غدقة).

4-**تركيز CO_2 (زيادة CO_2):** ان تركيز CO_2 وزيادته وتراكمه له تأثير مثبطاً لأمتصاص الماء نتيجة لعدم توفر O_2 وايضاً ان زيادة CO_2 يسبب لزوجة البروتوبلازم وانخفاض في نفاذية الجذر للماء وبالتالي إعاقة امتصاص الماء.

5-توفر ماء التربة (جاهزيتة) : لا يعد كل الماء الموجود في التربة متيسر للنبات فعندما يستنزف الماء من جزء التربة المحيط بالنظام الجذري يصبح امتصاص الماء بواسطة النبات اكثر صعوبة نتيجة للنقص في التدرج للجهد المائي بين الجذور والتربة ولذا فأن العوامل الفيزيائية التي تسمك الماء بالتربة اقوى من العوامل الفيزيائية التي تسهم في امتصاص النبات للماء.

هناك علاقات بين ماء التربة والتبات وهي :

أ- السعه الحقلية Field Capacity (F.C): ويقصد بها محتوى التربة من الماء بعد سقيها و صرف الماء الزائد منها بفعل الجاذبيه الأرضية مباشرة تاركاً فقط الماء المتبقي المرتبط بحبيبات التربة بفعل العوامل الفيزيائية (المحتوى المائي للتربة بعد تشبعها بالماء وصرف الماء الزائد منها مباشرة).

ب- نسبة الذبول الدائم Permanent wilting percentage (PWP) : يقصد بها النسبة المئوية لماء التربة المتبقي عندما تظهر اول اعراض الذبول على النبات أي الماء الذي لايستطيع النبات امتصاصه

ويقصد بها ايضاً هو حالة التربة عندما تكون الأوراق في وضع لاتستطيع استرجاع مائها حتى لو وضعت في محيط مشبع بالماء وتختلف Fc , PWP بأختلاف النباتات وانواع الترب فمثلاً في التربة الطينية تكون كلاهما عالية اما في التربة الرملية فتكون لكلاهما واطئة وتختلف PWP بأختلاف النباتات لأن عوامل ازموزية النبات هي التي تحدد PWP اكثر من عوامل التربة نفسها فمثلاً في النباتات ذات البيئة المعتدلة Mesophytes تكون ذات جهد ازموزي -30 بار بينما النباتات الصحراوية halophytes لها جهد ازموزي -300بار وهذا دليل على اختلاف النباتات في قدرتها على امتصاص الماء أي ان PWP تعتمد على العلاقات المائية في داخل النبات بالنسبة لأمتصاص الماء وليس على رطوبة التربة.

جـ- الاجهاد او الشد الكلي لرطوبة التربة (Total soil moisture stress(TSMS:

هي مجموع الجهد الازموزيه لمحلول التربة والشد الرطوبي للتربة ويقصد بالشد الرطوبي هو تلك القوى التي تمسك الماء بالتربة مثل قوى الجاذبية وقوى الادمصاص والقوى الهيدروستاتية (اتزان الماء) في الليل تقل سالبية TSMS نتيجة لتحرك الماء من أجزاء التربة البعيدة عن الجذر نحو سطح الجذر وكذلك يقل الجهد المائي (اقل سالبية) في النهار نتيجة لعملية النتح ويتبخر الماء يصبح TSMS اكثر سالبية وكذلك الجهد المائي لضمان استمرار امتصاص الماء من قبل جذور النبات من التربة بدلاً من خروجه وان جفاف التربة المستمر يزداد سالبية TSMS وكذلك سالبية Ψw للنبات حتى يصل الى مستوى يكون فيه الضغط الامتلائي (الانتفاخي) للأوراق صفراً اي حالة الذبول الدائم

PWP ونستنتج مماسبق ان الماء المتوفر للنبات يمثل كمية الماء الباقية في التربة والتي تتراوح بين FC, PWP حيث تمثل FC الحد الأعلى لماء التربة المتوفر PWP الحد الأدنى له أي ان الماء لايعتبر متسير بسهولة للنبات الا اذا كان عند مستوى اعلى من FC واقل من PWP.

نظام المكون غير الحي والمكون الحي Apoplast and Symplast

Apoplast :أشار الى هذا المصطلح الباحث munch في دراسات على انسياب الماء والمحلول في النبات وهو مصطلح يعبر عن النظام الذي يتضمن جميع الاجزاء غير الحية وجميع الجدران والمسافات البينية في الجذور والسيقان والأوراق التي ينتقل عن طريقها الماء و الذائبات لذا فأن انتقال الماء في هذا النظام لايكون بسبب فعل الازموزية المباشر وانما يعود الى الخاصية الشعرية Capillary action او مثلما في الذائبات يرجع الى الانتشار الحر.

Symplast: أشار اليه نفس الباحث أعلاه وهومصطلح يعبر عن حركة الماء المستمرة في الأجزاء الحية في النبات والتي تشمل الروابط البلازمية Plasmodesmata وعناصر الغشاء السايتوبلازمي وتكون حركة الماء بالألية الازموزية

وكقاعدة أساسية ان الماء يتحرك من التربة الى داخل الجذر على طول تزايد سالبية تدرج الجهد المائي وهذا يرتبط بتركيز الذائبات في الخلايا الجذرية ويكون المحتوى الملحي في الخلايا الداخلية اعلى مما هو عليه في الخلايا الخارجية للجذر لكي يستمر الماء في الحركة من محلول التربة الى داخل الخلايا وان السبب في ذلك هو ان امتصاص وتراكم الاملاح يتطلب صرف طاقة ايضية وان الاوكسجين يكون عالي التركيز في القشرة ويتناقص في اتجاه الأسطوانة الوعائية بينما ثاني أوكسيد الكاربون يكون عكس ذلك لذا يكون النشاط الايضي عند اقل مستوى في الخلايا الداخليه في المنطقة القريبة في قنوات الخشب لذا لايتوفر مستوى من الطاقة كافي لعدد الاملاح عكسياً الى خارج خلايا الجذر بأتجاه القشرة ثم البشرة الى المحيط الخارجي لذلك فأن خلايا الاسطونة الوعائية تفضل فقد الماء الى اعلى كما ان الفقد الرجعي خلال شريط كاسبر غير ممكن وكما ذكرنا ان فقد الملح في اتجاه واحد داخل تجويف خلايا الخشب بسبب تدرج الطاقة من الخارج الى الداخل بالنسبة لخلايا الجذر فأن الماء لابد ان يسلك هذا الطريق الوحيد الاتجاه وينتشر من محلول التربة ذا الجهد المائي الأقل سالبية الى العصير الخلوي للخلايا الداخلية في الجذر ذات الجهد المائي الأكثر سالبية.

انتقال الماء Translacation of Water:

ان العوامل التي تسيطر على صعود الماء بالنبات قد فسرت من قبل عدة نظريات ومن هذه النظريات هي :

أ- نظرية الضغط الجذري Root Pressure:

يعرف الضغط الجذري انه الضغط الذي يتولد في عناصر القصيبات للخشب بسبب النشاط الايضي للجذور لذا يوصف بأنه عملية نشطة وان حركة الماء في الساق تكون نتيجة الضغط الجذري بسبب الاليات الازموزية التي تتولد نتيجة للأمتصاص النشط للملح بوساطة الجذور ويتأثر الضغط الجذري بالعوامل التي تؤثر ايضاً في عملية التنفس (على سبيل المثال الاجهاد الاوكسجيني (Oxygen tension) والمواد المخدرة (narcotics) والاوكسينات (auxins) ومثبطات التنفس (respiration inhibitions).

تعتبر الية الضغط الجذري عامل مهم في رفع الماء الى النبات عندما تكون ظروف النتح غير ملائمة له وان صعود الماء بهذه الطريقه ماهو الادليل على وجود الضغط الجذري الذي ينقل الماء من الأسفل الى الأعلى الا انه لايكون العامل الوحيد لرفع الماء الى أعالي الأشجار للأسباب التاليه له :

1- لاتزيد قيمة الضغط الجذري عن (2) ضغط جوي وان الضغوط الجذريه الأعلى من (2) ضغط جوي (قد تكون اكثر من 6 ضغط جوي) نادراً ما يتم الحصول عليها
2- الضغط الجذري لم يلاحظ في الأشجار العالية كالمخروطيات
3- ان معدل انسياب الماء بسبب الضغط الجذري يقل كثيراً عن معدل النتح

4- ان الماء في اوعية الخشب وجد انه تحت تأثير شد وليس تحت ضغط.

ويختلف معدل خروج السوائل (الماء) عند السطوح المقطوعه للساق اعتماداً على قابلية الامتصاص فمثلاً في المحاليل الملحية المنخفضه التركيز تظهر معدلات للأرتشاح exudation ونقصد به خروج السائل (الماء) بسبب الضغط الجذري عند قطع الساق وهناك علاقة قوية بين دور الضغط الجذري ومعدل الارتشاح أي ان السرعة النسبية لخروج السائل عن السطح المقطوع للساق قد يكون الضغط الجذري عاملاً مهماً في تحريك الماء وقد يلاحظ في بعض النباتات ظاهرة الادماع (guttation) والتي غالباً ما تلاحظ تحت الظروف الغير مشجعة للنتح وهي انسياب الماء في نهاية العروق.

2- النظرية الحيوية Vital Theory:

ان صعود الماء يقع تحت تأثير الفعاليات الحيوية في الساق ويدعم ذلك ان نسيج الخشب يحتوي على خلايا حية (الخلايا الحشوية و اشعة الخشب) الا ان هذه النظرية استبعدت لأن السيقان التي قتلت خلاياها الحية بالسموم تبقى قادرة على نقل الماء.

3- نظرية الشد – التماسك Cohesion – Tension Theory :

وقد تسمى السحب النتحي Transpiration pull وأول من وضع هذه النظرية العام (دكسن) وهي اكثر النظريات قبولاً لتفسير انتقال الماء بالنبات وان جهاز نقل الماء داخل النبات هو نسيج الخشب ويكون بهيئة شبكة دقيقة مملوءة بالماء حيث تكون أعمدة مائية خيطية متواصلة تمتد من قاعدة النبات الى قمته وبفعل تماسك جزيئات الماء والتلاصق بين جزيئات الماء وجدران الاوعية الخشبية فأن الشد الذي يقع عند أي نقطة ينتقل الى جميع الأجزاء فعند تبخر الماء من جدران خلايا الميزوفيل الى الخارج وهذا الماء يأتي من داخل الخلايا أي من البروتوبلازم الى الجدران ثم ينتقل من الخلايا الداخلية العميقة للميزوفيل الى الخلايا السطحية لها ولذا فأن الخلايا تسحب الماء من قنوات الخشب لعروق الورقة جاعلة الماء في هذه القنوات تحت تأثير شد وهذا الشد يساعد في انتقال الماء من خلية الى اخرى نتيجة للفرق في الجهد المائي .

النتح Transpiration

هو عملية فقدان الماء من النبات على شكل بخار ومن خلال فتحات مجهرية توجد على سطحي الورقة تعرف بالثغور حيث يتبخر الماء من خلال الميزوفيل الى المسافات البينية ثم الى الثغور التي توجد بأعداد هائلة في خلايا بشرة الأوراق وعلى الرغم من ان النباتات تحتاج الماء بكميات كبيرة لتحافظ على حياتها (سير العمليات الحيوية) الا ان الدراسات التشريحية لتركيب أوراق النباتات تدل على ان كمية الماء المفقودة هائلة وان الكمية المستعملة في العمليات الحيوية قليلة ولكي تحافظ النباتات على محتواها المائي فيلزمها ان تمتص كميات من الماء اكثر قليلاً مما تفقده وتحتفظ بالفرق لبناء الانسجة الجديدة وقد لا تحدث هذه الحالة في كثير من الأحيان بل ان معدل فقدان الماء قد يفوق في بعض الحالات معدل امتصاص الماء ويحدث نوعاً من الذبول .

هناك ثلاثة أنواع من النتح هي :

1- النتح الثغري Stomatal transpiration
2- النتح الكيوتكلي Cuticular Transpiration
3- النتح العديسي Lenticular transpiration

1- النتح الثغري : هو تبخر الماء من النبات عن طريق الثغور ويعتبر هذا النوع من النتح اهم أنواع النتح الأخرى اذ يصل الى ما يقارب 95% او اكثر من مجموع مايفقده النبات من الماء.

2- النتح الكيوتكلي (النتح الادمي) : هو انتشار بخار الماء خلال طبقة الكيوتكل (طبقة شمعية او دهنية تغطي سطح الورقة) اما مدى اثر النتح الادمي فيختلف بأختلاف الأصناف وعمر النبات فهو كبير والأكثر في الأوراق الصغيرة وبشرة السيقان الغضه الفتية حيث تكون مغطاة بطبقة رقيقة من الكيوتين اما النباتات التي تكون اوراقها مغطاة بطبقة سميكة من الكيوتين فأن أهمية النتح الادمي تنعدم تقريباً وبصورة عامة تعد طبقة الكيوتين اكثر سمكاً في أوراق النباتات المعرضة للشمس مما في أوراق نباتات الظل والنامية في بيئة رطبة

3- النتح العديسي : هو فقدان الماء عن طريق عديسات السيقان والافرع والعديسات عبارة عن فتحات صغيرة موجودة في النسيج الفليني وعلى الرغم من ان هذا النوع من النتح ضئيل الأهمية مقارنة بالنوعين السابقين الا انه يزداد أهمية في حالة سقوط أوراق النباتات بحلول فصل الشتاء.

إضافة الى أنواع النتح السابقة والمسؤولة اساساً عن الفقد الغزير للماء هنالك عمليات أخرى تسهم في عملية فقد الماء من النباتات هي :

1- الافراز Secretion وهو فقد الماء السائل في الغدد glands او الغدد الرحيقيه nectories
2- الادماء bleeding هو فقد الماء من الجروح
3- الادماع guttation وهوفقد الماء من حواف او قمم الأوراق للنباتات النامية في تربة رطبة دافئة تحت ظروف الجو الرطب ويحدث بسبب :
   أ- الامتصاص الزائد للماء
   ب- الضغط الجذري العالي
   ت- توقف عملية النتح

حيث يندفع الماء الى اعلى عبر اوعية الخشب حيث يخرج من النبات خلال تراكيب متخصصه تسمى الثغور المائية hydathodes وهي فتحات متخصصه توجد اعلى قمة الورقة وتكون مجاورة للعروق وان الماء الخارج بوساطة الادماع لايكون ماء نقياً وانما محلول يحتوي الكثير من المواد الذائبة.

مدى النتح :

تكون معدلات النتح في بعض النباتات العشبية كبيرة جداً اذ انه تحت الظروف المشجعه للنتح قد يستدل الحجم الكلي للماء في النبات في مدة يوم واحد مثال ، نبات ذرة واحد قد ينتج (45 غالوناً) من الماء في موسم نمو واحد وان كمية الماء المفقودة تتباين بين الأنواع النباتية.

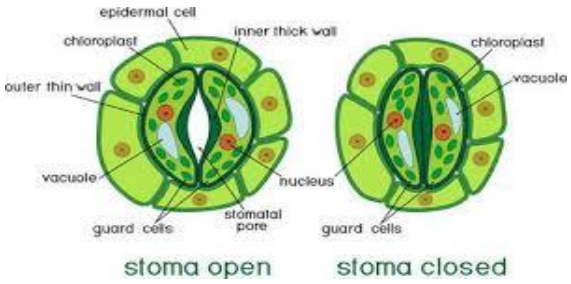
نوع النبات	معدل النتح في الموسم (غالون)
البازلاء	13
البطاطا الايرلندية	25
الحنطة الشتوية	25
الطماطم	34
الذرة	54

1 غالون = 4.55 لتر

كما لوحظ ان شجرة واحدة من الاسفندان الفضي بطول (48) قدم نامية في جو مكشوف قد تنتج= 58 غالون / ساعه من هذا يتضح أهمية الترشيد المائي Water management في مجال الزراعة .

الاليات الثغرية في فتح وغلق الثغور Stomatal mechanism of opening and closing

يوجد في سطح بشرة الورقة عدداً كبيراً من الثقوب المجهرية تسمى بالثغور Stomata يحاط كل ثغر بخليتين حارستين تتحكمان في فتح وغلق الثغور تصل فتحة الثغر عند الانفتاح الكل طولاً من 10-40 مايكرون وعرضاً من 3-12مايكرون وقد يحتوي سطح الورقة تبعاً للنوع من 1000- 60000 ثغر/سم2 ومع ذلك فأن مساحة الفتحات الثغرية لا تمثل سواء 1-2 % فقط من السطح الكلي للورقة وعادة تكون الثغور على السطح السفلي للأوراق وقد تكون على السطحين معاً اما كيف يحدث غلق وفتح الثغور (أي حركة الثغور) هو استجابة مباشرة للزيادة او النقصان في المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة وان التغيرات في الجهود المائية الناتجة عن تغير المحتويات الازموزية تسبب حركة الماء من و الى الخلايا الحارسة فاذا دخل الماء الخلايا الحارسة امتلأت واذا خرج منها ترهلت وعند امتلاء الخلايا الحارسة ينفتح الثغر وعند ترهلها يغلق الثغر ولأجل حدوث حركة الماء لابد من تبادل الماء و المواد الأخرى بين الخلايا الحارسة وخلايا النسيج المتوسط او البشرة فعند ازدياد المحتويات الازموزية في الخلايا الحارسة يصبح Water Potential للخلايا الحارسة اكثر سالبية مما في الخلايا المجاورة وينتشر الماء الى داخل الخلايا الحارسة مسبباً انتفاخها وبالتالي فتح الثغور ويحدث العكس عند قلة المحتويات الازموزية في الخلايا الحارسة



صفات الخلايا الحارسة ودورها في فتح وغلق الثغرة:

1- احتوائها على البلاستيدات الخضراء (chl.b, chl.a) وتقوم بعملية البناء الضوئي وتكوين مركبات نشطة ازموزياً مما يزيد الجهد الازموزي والجهد المائي فتسحب الماء من الخلايا المجاورة.
2- الخلايا الحارسة لها تركيب خاص وتختلف عن خلايا البشرة حيث ان الليفات الدقيقة المكونة للسيلوز لجدار الخلية الحارسة تترتب شعاعياً وتقريباً عمودياً على فتحة الثغرة بدل من ترتيبها طولياً على امتداد الجدار كما في خلايا البشرة الاعتيادية
3- جدار الخلية الحارسة المقابل لخلية الثغرة اسمك من بقية الجدران بسبب تداخل الليفات الشعاعية لهذه المنطقة وعليه فأن دخول الماء الى الخلايا الحارسة يعمل على زيادة الجهد الضغطي ونتيجة لتركيبها الخاص والمتميز تكون هنالك مناطق في الجدار اكثر مطاطية من غيرها فيحصل تمدد خاص في جدار الخلية الاسمك والمقابل لخلية الثغرة وكذلك الترتيب الشعاعي للخلايا السليلوزية بحيث تزداد بالامتلاء وتتباعد الخليتان الحارستان عن بعضها البعض فتفتح الثغرة والسؤال المهم هو ماهي العوامل المنظمة لحركة الثغور والمعتمدة على تغير مكونات جهد الماء للخلايا الحارسة؟ ان الإجابة على هذا السؤال هو من خلال وجود بعض التفسيرات لتعليل ميكانيكية تنظيم الجهاز الثغري وعليه فأن العوامل المؤثرة في الحرك الثغرية هي :

1- الضوء Light : تفتح الثغور عند تعرضها للضوء وتغلق عند تعرضها للظلام وهناك استثناءات لهذه القاعدة لأن شدة الضوء اللازمة لحدوث اقصى انتفاخ للثغور يختلف بأختلاف الأنواع ولكنه اقل من تلك الشدة الضوئية اللازمة لأحداث اقصى بناء ضوئي تفتح الثغور تحت اشعة المنطقة الحمراء والمنطقة الزرقاء للطيف الضوئي وتغلق الثغور في اشعة المنطقة الخضراء و الاشعة الحمراء البعيدة والاشعة فوق البنفسجية وان في بعض النباتات المسماة النباتات العصارية مثل الصبير Cacti تفتح ثغورها ليلاً وتقوم بعملية البناء الضوئي ليلاً ثم تغلق ثغورها نهاراً وقد يختلف تأثير الضوء على حركة الثغور باختلاف النباتات وبصورة عامة يمكن القول بأن كلما ازداد الضوء الذي تمتصه الأوراق زادت فتحة الثغر اتساعاً.

دور الضوء في عملية فتح وغلق الثغور:

1- بما ان الخلايا الحارسة تحوي على البلاستيدات الخضراء فعند تعرضها للضوء يسبب الضوء تقليل تركيز CO_2 تحدث عملية البناء الضوئي وتتكون مركبات سكرية نشطة ازموزياً أي تزداد المحتويات الازموزية في الخلايا الحارسة فيصبح الجد الازموزي والجهد المائي اكثر سالبية فينتقل الماء الى الخلايا الحارسة من الخلايا المجاورة مما يؤدي الى زيادة الامتلاء وانتفاخ الثغر ولكن لوحظ هنا مايلي:

أ- ان معدل البناء الضوئي في الخلايا الحارسة يكون واطيء ولايمكن ان يكون السبب او العامل الوحيد في زيادة المركبات او المحتويات النشطة ازموزياً.

ب- ان المحتوى النشوي للخلايا الحارسة يزداد في الظلام ويقل في الضوء بينما في خلايا البشرة الأخرى والميزوفيل يحدث العكس

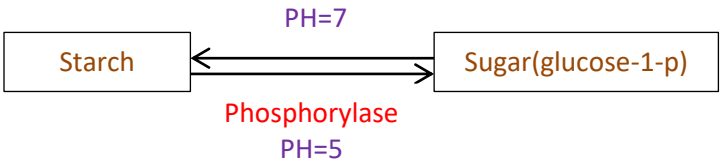
ت- نستنتج من ذلك وجود الية أخرى تسبب زيادة المركبات النشطة ازموزياً للخلايا الحارسة.

2-تأثير الضوء في PH الخلايا الحارسة :

أ- لوحظ ان الضوء يسبب ارتفاع PH في الخلايا الحارسة

ب- ان ارتفاع PH يكون مصحوب بنقص النشأ و زيادة السكريات المختلفة والنشطة ازموزياً وبالتالي يعمل هذا على زيادة الامتلاء وفتح الثغوروالعكس صحيح عند انخفاض PH

ت- وجود انزيم الفسفوريليز Phosphorylase في البلاستيدات الخضر والذي يشجع على تحلل النشأ عند PH7 الى سكر بينما يشجع بناء النشأ عند PH5 وعليه فأن PH ينظم عمل هذا الانزيم وبالتالي ينظم المحتوى النشوي او السكري للخلايا الحارسة مما يؤدي الى تحرك الماء من والى الخلايا الحارسة وتؤدي الى فتح او غلق الثغور.

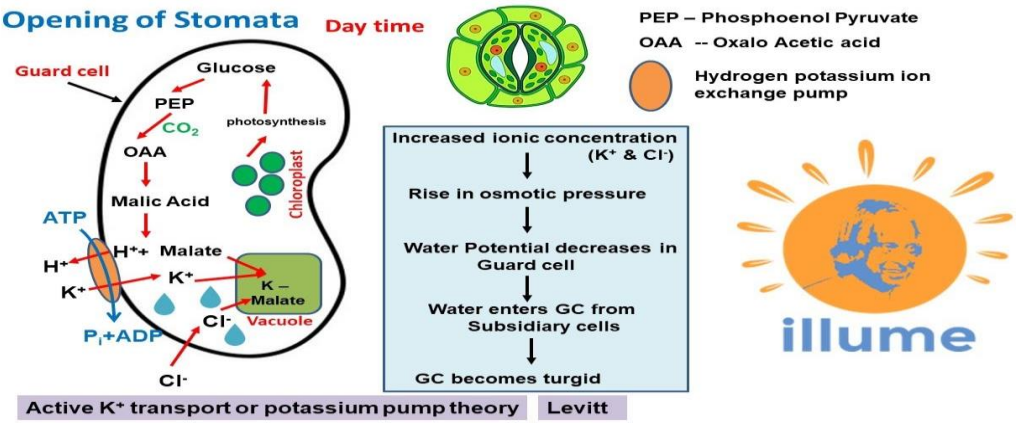


وتشير الدراسات الى ان هذا الانزيم يكون متخصصاً بصفة اكثر في تحلل النشأ اكثر منه في بنائه مع ذلك ان الدلائل المتوفرة لحد الان لاتفسر تماماً تراكم السكر من الخلايا الحارسة والذي يسبب تغير امتلائها.

3-تاثير الضوء في ضخ ايونات البوتاسيوم ، الكلوريد، الهيدروجين والاحماض العضوية:

ان الكثير من الأدلة تشير الى ان امتلاء الخلايا الحارسة للعديد من الأنواع النباتية ينظم بوساطة ايونات CL, H, K والاحماض العضوية يبدو ان الضوء يحفز التراكم النشط لأيونات البوتاسيوم من الخلايا المحيطة الى الفجوات

العصارية للخلايا الحارسة ويصاحب ذلك تحلل النشأ وتكوين حامض الماليك (Malic acid) غالباً وزيادة في PH ويبدو ان تراكم البوتاسيوم يرجع الى عملية التبادل النشط والتي فيها تضخ بروتونات H خارج الخلية الحارسة الى داخل الخلايا المساعدة ويلاحظ ان الكلوريد يكون استجابة للأختلاف الكهربائي المتولد عن امتصاص الخلايا الحارسة للبوتاسيوم ويلاحظ تكون حامض الماليك بوصفه بروتون H يتحرك من الخلايا الحارسة الى الخلايا المساعدة وتتعادل الانيونات العضوية (غالباً الماليت malate) في داخل الخلايا الحارسة بدخول البوتاسيوم لذلك فأن الازموزية وبالتالي الجهود المائية تصبح اكثر سالبية في الخلايا الحارسة بسبب وجود (K,Cl) وملات البوتاسيوم او ثنائي ملات البوتاسيوم او كلاهما لذلك يتحرك الماء الى داخل الخلايا الحارسة فتنفتح الثغور.

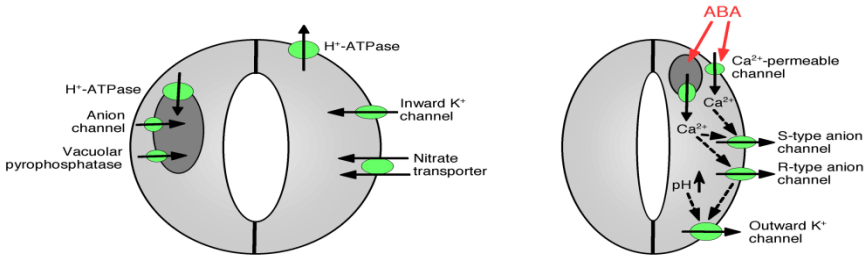


2-تركيز ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 concentration:

الثغور حساسة تماماً لتباين تركيز CO_2 ان زيادة تركيز CO_2 فوق تركيز المحتوى العادي الذي يوجد في الهواء 0,003 يسبب غلق الثغور حتى في الضوء ان تركيز CO_2 في المسافات البينيه للورقة يتحكم اساساً في حركة الثغور وليس تركيز CO_2 في الهواء الخارجي لأن الثغور التي تغلق بسبب تعرضها لتركيز عالي من CO_2 لاتفتح بسرعة عند نقلها الى جو خال من CO_2 في الظلام ان تفسير ذلك هو ان CO_2 في المسافات البينية يبقى عالي ويثبط انفتاح الثغور الا ان اضاءة الثغور يسبب انفتاحها بسبب استهلاك CO_2 في عملية البناء الضوئي ويلاحظ ان الثغور الموجودة في المناطق غير الكلوروفيلية للأوراق المبرقشة تستجيب للضوء والظلام ببطء شديد عن تلك الموجودة في المناطق الاكلوروفيلية من المحتمل ان يكون ذلك راجعاً الى التحول البطيء في تركيز CO_2 في المسافات البينية المصاحبة للمناطق اللاكلوروفيلية.

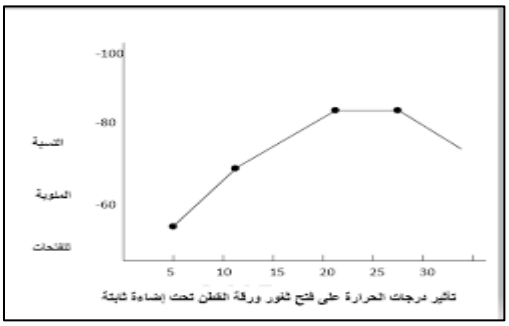
3- نقص الماء وحامض الابسيسك Water deficits and abscisic acid :

ينشأ نقص مائي في النبات عندما يفوق معدل النتح معدل الامتصاص وتحت هذه الظروف تغلق الفتحات الثغرية في العديد من النباتات في المناطق المعتدلة كما يلاحظ تراكم هرمون (ABA) في أوراق النباتات التي تعاني من نقص الماء (اجهاد مائي) وان إضافة (ABA) الى أوراق النبات يشجع انغلاق ثغورها لذلك يعد (ABA) هرموناً منظماً للانفتاح الثغري في النباتات التي تعاني من الجفاف لذا يعتقد ان النباتات الصحراوية تعتمد على دور (ABA) في تنظيم المحتوى المائي فعند الجفاف يزداد تركيزه لغلق الثغور وعند توفر الماء الكافي تتفتح الثغور.



4-الحرارة Temperature:

عندما تكون العوامل الأخرى غير محددة فأن زيادة الحرارة يؤدي الى زيادة انفتاح الثغور لاحظ الشكل حيث يوضح تأثير درجة الحرارة في فتح ثغور ورقة القطن تحت تأثير اضاءة ثابتة.



العوامل المؤثرة في معدل النتح Factors affecting rate of transpiration

اولا- عوامل النبات Plant Factors

- نسبة المجموع الجذري الى المجموع الخضري Root-shoot ratio يتحكم سطح التبخر (سطح الورقة) وسطح الامتصاص (سطح الجذر) بمعدل النتح ان النتح يزداد بزيادة المجموع الجذري الى المجموع الخضري مثلاً يلاحظ ان معدل النتح في الذرة البيضاء Sorghum اكثر منه فـــي الذرة الشامية Corn يعزى الفرق الى ان النمو الثانوي لجذر الذرة البيضاء يكون اكثر تطوراً عنه في الذرة الشامية
- مساحة الورقة Leaf area

يفترض انه كلما ازدادت مساحة الورقة ازداد معدل النتح ولكن عند اعتماد وحده المساحة الورقية فأن النباتات الأصغر غالباً تنتج بمعدل اكبر مما هوعليه في النباتات الأكبر بالرغم من ان النبات الأكبر يفقد ماء اكثر الا ان كمية الماء المفقودة لوحدة المساحة يكون اكبر في النباتات الأصغر ويلاحظ ان نزع الأوراق من النبات (أي تقليل المساحة الأوراق) ربما يزيد معدل النتح لوحدة المساحة الورقية لهذا النبات لكن الفقد الكلي للماء يكون اعلى في الأشجار غير المقلمة اما تقليم الأشجار يزيد من معدل نتحها لكل وحدة من مساحة الورقة ويفسر ذلك بأن المجموع الجذري للأشجار المقلمة يمدها بكمية اكثر من الماء الى عدد اقل من الأوراق وبالتالي زيادة كفاءة النتح.

ثانيا- العوامل البيئية

1- الرطوبة النسبية في الجو : ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو يترتب علية زيادة الضغط البخاري لبخار الماء فى هذا الجو ،ويؤدى ذلك بالطبع إلى تقليل التبخر وبالتالي تقليل النتح .

2- الرياح : يتسبب عن حركة الهواء تقليل الرطوبة النسبية بإزالة الهواء الرطب في الجو الملامس مباشرة لسطح الاوراق وبالتالي يزداد النتح . أما عند اشتداد الرياح فان الثغور تقفل ، وبالتالي يقل معدل النتح وتقفل الثغور هنا بسبب فقد النبات لكميات هائلة من الماء تؤدى الى نقص شديد فى انتفاخ البشرة والخلايا الحارسة وبالتالى تقفل الثغور .

3- درجة الحرارة : يؤدى ارتفاع درجة الحرارة الى زيادة التبخر وبالتالى الى زيادة النتح وتعتبر عملية النتح عملية تلطف من حرارة النبات لان قدر كبير من الحرارة التى تتعرض لها أسطح الاوراق تستنفذ فى تبخير كميات كبيرة من الماء فى صورة نتح.

4- الضوء : يتجلى دور الضوء من خلال تأثيرة على حركة فتح وغلق الثغور كما ان الضوء الشديد يزيد من درجة الحرارة وبالتالى يزيد من معدل النتح.

5- تييسر ماء التربة : كلما كان ماء التربة محددا كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائى فى النبات وعلى النتح.

العناصر المعدنية الموجودة في النباتات Element found in plants

العناصر الاساسية او الكبرى Essential Elements

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسبيا وهي الكاربون C والهيدروجين Hوالاكسجين O_2 والنتروجين Nوالفسفور P والبوتاسيوم Kوالكالسيوم Ca والكبريت Sوالمغنسيوم Mgوالحديد Fe.

العناصرالضئيلة او الصغرى Trace Elements: وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات ضئيلة نسبيا وهي المنغنيز Mnوالزنك Znوالبورون Bوالنحاس Cuوالمولبدينيوم Mo . وفضلا عن ذلك فان هناك عناصر اخرى تعد اساس للنمو الطبيعي لبعض النباتات (وليس لمعظم النباتات)وهي الصوديوم Naالالمنيوم Alوالسيلكون Siوالكلور Clوالكاليوم Gaوالكوبلت Co.

طرائق الكشف عن العناصر:

للكشف عن بعض العناصر المعدنية النباتية يمكن تعريض النبات لدرجات الحرارة العالية (حوالي 600م˚)و ثم تحليل محتوى الرماد الذي يمدنا بالمعلومات الخاصة بالكميات النسبية للعناصر الموجودة او الممتصة بوساطة النبات .

ويمكن دراسة تاثير بعض العناصر باستخدام المزارع السائلة .

من ايجابيات المزارع المائية :

1- يمكن السيطرة على كمية ونوعية العناصر .
2- يمكن دراسة ومراقبة نمو الجذور.

3- يمكن دراسة العناصر الصغرى بعد اخذ بعض الاحتياطات.

سلبيات او(مساوئ)المزرعة المائية :

1- ضرورة وجود دعامة للنباتات
2- تحتاج النبانات الى تهوية مستمرة
3- يجب ان يكون المحلول المغذي في ظلام كامل
4- يجب تبديل المحلول المغذي وهي عملية ليست سهلة .

المزارع الرملية : وهي اوساط رملية حاوية على العناصر الضرورية لنمو النبات وفي هذا النوع من المزارع يزرع النبات في رمل sandنظيف مغسول عدة مرات بالماء المقطر وحامض الهيدروكلوريك او حامض الكبريتك ثم يغسل بالماء المقطر عدة مرات ويجفف قبل استعماله .

ايجابيات المزرعة الرملية

1- سهولة زراعة البذور مباشرة
2- التهوية في المزرعة الرملية جيدة
3- كلفتها قليلة
4- يمكن دراسة تجارب نقص العناصر والاجهاد المائي والملحي بصورة ناجحة
5- لا يحتاج النبات الى دعامة

سلبيات المزرعة الرملية :

1- صعوبة الحصول على رمل نقي خال من العناصر الغذائية
2- صعوبة دراسة نمو الجذور ومتابعة نموها
3- لا تصلح لدراسة العناصر الصغرى .

الشروط الواجب توفرها بالعنصر لكي يكون اساسي هي :

1- ان يدخل في تركيب اوتكوين احد اعضاء النبات المهمة .
2- يساهم في اتمام التفاعلات الحيوية المهمة .
3- لايمكن لعنصر اخر تعويضه .
4- بغياب العنصر يتوقف النمو ويصبح شاذا او تظهرعليه اعراض النقص .
5- وجوده يزيل التأثير السام لبعض المركبات السامة مثل الحديد الذي يدخل في تركيب انزيم الكاتليز لذي يزيل التأثير السام لبيروكسيد الهيدروجين

اولا : العناصر الكبرى (Macro Elements)

1-عنصر النتروجين Nitrogen (N)

الصيغة التي يمتصها النبات من عنصر النتروجين

1- امونيوم NH_4^+
2- نترات NO_3^-

وبعد ذلك تختزل داخل النبات وتتحول الى الشكل العضوي في بناء الخلية النباتية.

وظائف النتروجين الفسلجية :

1- يدخل في تركيب الاحماض الامينية وبالتالي البروتينات
2- يدخل في تركيب الاحماض النووية DNA,RNA
3- يدخل في تركيب البورفيرينات Porphyrinsالتي تدخل في تشكيل جزيئات الكلورفيل والسايتوكرومات .
4- يدخل في تركيب المرافقات الانزيميةNAD,NADP
5- تحتوي الفيتامينات على النيتروجين ويدخل في تركيب الهرمونات النباتية .

اعرض نقص النتروجين :

1- انخفاض في معدل النمو وبالتالي تبقى النباتات صغيرة ويعود سبب ذلك الى انخفاض في عمليتي الانقسام الخلوي والاتساع الخلوي .
2- شحوب الاوراق Chlorosis ويكون ذلك في الاوراق السفلى ولا يلبث ان نتشر الى باقي الاوراق .
3- اعاقة نمو الجذور وخصوصا التفرعات الجذرية .
4- نتيجة اضطراب الفعاليات الحيوية تزداد صبغة الانثوسيانين في اوراق النبات .
5- تزداد نسبة المجموع الجذري /الخضري وهذا يعني نمو الجذور نسبيا اكبر من نمو الاوراق والسيقان.

2-الفسفور Phosphorus (P)

الصيغة التي يمتصها النبات من عنصر الفسفور

وهو من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى ويطلق عليه اسم مفتاح الحياة The key to lifeوذلك لدوره المباشر في معظم العمليات اذ لايمكن لهذه العمليات داخل الخلايا النباتية ان تتم بدونه .يوجد فسفور التربة بشكلين اساسين هما الفسفور المعدني والفسفور العضوي ،غير ان الفسفور المتاح للنبات يكون بثلاثة اشكال وهي:

po_4^{-3}

HPO_4^{-2}

$H_2PO_4^{-1}$

الايونان الاخيران من اهم ايونات الفسفور في محلول التربة وان النسبة بين هذين الايونين تعتمد على الرقم الهيدروجيني فعند الرقم الهيدروجني 5 ينعدم وجود HPO_4^{-2} بينما عند الرقم الهيدروجيني 7فان الايونين يكونان بكميات متساوية تقريبا .

وظائف الفسفور الفسلجية :

1- تحليل الكربوهيدرات والمواد الاخرى الناتجة من عملية البناء الضوئي لتحرير الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية
2- يشترك في تركيب العديد من المركبات مثل UridineTriphosphate (UTP) مهم في تكوين السكروزوالسكريات المتعدة

cytidine Triphosphate (CTP)مهم في تكوين الدهون الفوسفاتية

وAdenosine Triphosphate(ATP)مهم في بناء البروتينات والاحماض النووية

Guanosine Triphosphate(GTP)مهم في تكوين البروتينات والاحماض النووية الرايبوزية

3- يشارك في تكوين المرافقات الانزيمية NADوNADP
4- له اهمية في عملية تكوين و انقسام الخلايا
5- يدخل في تركيب الاحماض النووية DNA,RNA

اعراض نقص الفسفور:

تتشابه اعراض نقص هذا العنصر مع عنصر النتروجين حيث تظهر اعراض النقص على الاوراق القديمة

1- سقوط الاوراق مبكرا ويكون لونها وردي او احمر نتيجة لزيادة صبغة الانثوسيانين
2- تتكون مساحات ميتة على الاوراق واعناقها والثمار .
3- يتصف النبات بالنمو البطئ وتكون النباتات صغيرة وذات نمو جذري محدود .
4- تكون نوعية الثمار والبذور غير جيدة.

3-الكالسيوم Calcium (Ca)

وهو احد العناصر الغذائية الضرورية للنبات والذي يتركز بكميات كبيرة في قشرة الارض يوجد بشكل ايونات الفوسفات الاحادية الكالسيوم $Ca(H_2Po_4)_2$والفوسفات الثنائية Ca_2HPO_4 والفوسفات الثلاثية $Ca3(PO_4)_2$ ويمتص من قبل النبات بشكل Ca^{+2} .

وظائف الكالسيوم الفسلجية :

1- احد المكونات الاساسية في تركيب الجدار الخلوي .
2- عنصر ضروري لعمليتي الانقسام الخلوي والاتساع الخلوي .
3- يدخل في تركيب الاغشية الخلوية .
4- منشطالبعض الانزيمات .

5- يساهم في تكوين بروتينات النبات.
6- يمنع عملية انفصال اجزاء النبات .
7- يساهم في نمو حبوب اللقاح .

اعراض نقص الكالسيوم :

1-عنصر غير متحرك لذلك اعراض نقصه تظهر على الاوراق السفلى .

2-ظهور تشوهات في اجزاء النبات مثل قصر الجذور وتلونها باللون البني كما تظهر الاوراق بشكل غير طبيعي .

3- ظهور اصفرار على طول حافات الاوراق الفتية .
4- تتأثر عمليات الاتساع الخلوي

4-المغنيسيوم Magnesium(Mg)

الصيغة التي يمتصها النبات من عنصر المغنيسيوم : وهو احد العناصر الكبرى والضرورية في خصوبة التربه وتغذية النبات ومصادر المغنيسيوم في التربة هي المعادن الاولية مثل بيوتايت Biotite وسيربنتاين Serpentineوالمعادن الثانوية مثل معدن الطين وبعض الترب تحوي مغنيسيوم بشكل كربونات مغنيسيوم ودولومايت Dolomite($CaCO_3.MgCO_3$) وقد يضاف بشكل اسمدةكيمياوية

ويمتص من قبل النبات بصيغة Mg^{+2}

وظائف المغنسيوم الفسلجية :

1- كل جزئ كلورفيل يحوي ذرة واحدة من المغنيسيوم وهو يوجد في مجموعة البورفيرين porphyrin
2- له دور في ايض الكربوهيدرات
3- عنصر ضروري في تكوين السكريات داخل النبات .
4- له دور مهم في التفاعلات الخاصة ببناء الاحماض النووية .

اعراض نقص المغنيسيوم:

عنصر متحرك وبالتالي اعراض نقصه تظهر على الاوراق المسنه ثم تنتقل الى الاجزاء الحديثة من النبات.
1- شحوب الكلوروفيل بين العروق.
2- زيادة صبغة الانثوسيانين في انسجة النبات .
3- ظهور بقع ميتة عند النقص الشديد.
4- يتغير التركيب الدقيق للبلاستيدة الخضراء .

5-البوتاسيوم Potassium(K)

عنصر مهم في تغذية النبات ولا تقل اهميته عن NوPوهو من العناصر المتحركة جدا ويتركز في الاماكن النشيطة مثل الانسجة الانشائية واهمية البوتاسيوم تتوضح في علاقة بتكوين البروتين وتجهيز منظمات النمو مثل السايتوكاينينات فضلا عن علاقة بمعدل النمو ، وهو يمتص بكميات كبيرة عن طريق الامتصاص النشيط .

يوجد في التربة بثلاثة صور هي :

1- **الصورة الذائبة** :حيث يوجد كأيون في محلول التربة وهذه الصورة هي الاكثر جاهزية للنبات .
2- **الصورة المتبادلة** :حيث يوجد البوتاسيوم متبادل في مواقع التبادل في حبيبات التربة وخاصة حبيبات الطين التي تحمل الشحنة السالبة وهذه الصورة تعوض النقص الذي يحصل في الصورة الذائبه نتيجة للامتصاص من قيل النبات .
3- **الصورة المثبتة** :وهي تمثل ايونات البوتاسيوم غير الجاهزه للنبات والمثبتة في الوحدات البنائية لمعادن الطين .

الصيغة التي يمتصها النبات من هذا العنصرهي K^+

وظائف البوتاسيوم الفسلجية -

1- له دور في فتح وغلق الثغور .
2- يؤثر في العديد من العمليات الفسيولوجية مثل البناء الضوئي والتفس وتكوين المادة الخضراء.
3- يسرع انتقال المواد التمثيلية كما يثبت تثبيت ثاني اوكسيد الكربون .
4- يساهم في عمليات الفسفرة الضوئية والنقل الكتروني
5- يشجع انقسام الخلايا
6- له دور في تكوين البروتينات

اعراض نقص البوتاسيوم :

لا تظهر اعراض نقص البوتاسيوم بصورة مباشرة على شكل اعراض ظاهرة ولكن تظهر من خلال بعض الملاحظات والمشاهدات.

1- الاصفرار المبرقش يعقبه تكون مناطق ميتة عند قمة وحافة الورقة
2- عنصر متحرك اعراض نقصة تظهر على الاوراق السفلى
3- انحناء قمة الورقة الى الاسفل
4- تقزم النبات وتكون السلاميات قصيرة
5- ضعف في النمو الخضري .

6-الكبريت Sulfur(S)

يعد من العناصر الغذائية المهمة الكبرى وهو من العناصر غير المتحركة ويمتص الكبريت من قبل النبات على صورة ايون الكبريتات SO_4^{-2}

وظائف الكبريت االفسيولوجية

1- يدخل في تكوين بروتينات (Fe-SProtiens)المشتركة في التفاعلات الضوئية للبناء الضوئي .

2- يساهم في النشاط الايضي للفيتامينات التي تحتوي على الكبريت مثل بيوتين Biotinوالثايمين Thiamineوالمرافق الانزيمي coA-enzym A

3- يدخل في تركيب الحوامض الامينية الحاملة لل(S) مثل Cystineو Cysteineو Methionine

اعراض نقص الكبريت :

1- اعراض نقصه تشبه اعراض نقص النيتروجين
2- تظهر اعراض نقصه اولا على الاوراق الفتية لكونه عنصر بطئ الحركة
3- شحوب كلوروفيلي
4- انتاج صبغة الانثوسيانين
5- هناك تغيرات في التركيب الدقيق للبلاستيدة الخضراء

ثانيا : العناصر الصغرى Micro Elements

1-الحديد Iron(Fe)

وهو من العناصر الضرورية للنبات ويؤدي ادوارامهمة في حياة النبات

الصيغة التي يمتصها النبات من عنصر الحديد

Fe^{+2} الحديدوز و Fe^{+3}الحديدك

وظائف الحديد الفسيولوجية :

1- يدخل في تركيب السايتوكرومات النباتية المسؤولة عن نقل الالكترونات
2- يدخل في تركيب البلاستيدات الخضر.
3- يدخل في تركيب الفيريدوكسين ferredoxin
4- يوجد في مختلف الفلافوبروتينات
5- له دور في تنشيط بعض الانزيمات مثل Nitrogenaseو Nitrate reductase
6- ينشط انزيمات بناء الكلوروفيل

اعراض نقص الحديد

عنصر الحديد غير متحرك وبالتالي تظهر اعراض النقص في الاجزاء الغضة

1- تتمثل اعراض النقص بظهور اصفرار ما بين العروق الدقيقة
2- يسبب تغيرات في التركيب الدقيق للبلاستيدة من خلال تثبيط بناء البروتين

2- المنغنيز(Mn) Manganese

المنغنيز اما يكون ثنائي التكافؤ او ثلاثي او رباعي التكافؤ وان الايون الثنائي التكافؤ (الصورة المختزلة)فهو يوجد ذائبا في محلول التربة وهو الصورة الممتصة من قبل النبات Mn^{+2}.

وظائف المنغنيز الفسيولوجية :

1- منشط لانزيمات التنفس وايض النتروجين .
2- يشترك في انشطار الماء ضوئيا .
3- مهم في اختزال النترات
4- يلعب دورا في عملية البناء الضوئي .

اعراض نفص المنغنيز :

1- ظهور بقع صفراء وميتة في المساحات مابين عروق الورقة.
2- ان نقص المنغنيز له تاثير ملحوظ في البلاستيدة الخضراء.

3- النحاس Copper(Cu)

عنصر غير متحرك ان الجزء الاعظم من النحاس للصخور الاولية يوجد بهية جالكوبيريت Chalcopyrite($CuFeS_2$) وان كمية قليلة من النحاس الذائب توجد في محلول التربة .

وظائف النحاس الفسيولوجية :

1- يدخل في تركيب عدد من الانزيمات Ascorbic acid oxidase
2- يدخل في تركيب البلاستوسيانين
3- يشترك في عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون بعملية البناء الضوئي .

اعرض نقص النحاس:

1- من ابرز الاعراض هي وجود طفح شض ومرض الاستصلاح فمرض الطفح الجلدي الذي يظهر على اشجار الفاكهة يتميز بالتصمغ gummosis(نضوج الصمغ)ويكون مصحوبا بظهور مناطق ميتة وتبقع بني على الاوراق والثمار .اما مرض الاستصلاح في النجيليات فهو يظهر على تلك النباتات بخاصة في الاراضي الدوبالية الحديثة الاستصلاح وهذا المرض يتميز باصفرار قمم الاوراق وعجز تلك النباتات عن انتاج البذور
2- موت في قمم الاوراق الحديثة والذي يمتد الى حواف الاوراق وبالتالي يسبب الذبول وتحت النقص الشديد فقد تفقد الاوراق ويبدو النبات كلة ذابل .

4-الزنك(Z) Zinc:

يوجد في المعادن الحديدية المغنيسية (Ferromagnesium) والماغنيتيت magnetite و البايوتيت biotite والهورنبلندhornblend والتعرية الجوية لهذه المعادن تحرر الزنك في صورة ثنائية التكافؤ Zn^{+2} وهذه الصورة تدمص على التربة وعلى المادة العضوية في بصورة متبادلة .

وظائف الزنك الفسيولوجية :

1- يسهم في البناء الحيوي لIAA
2- ينشط الكثير من الانزيمات.

اعراض نقص الزنك

1- اصفرار المساحات مابين عروق الاوراق الاكبر عمرا ويبدا هذا الاصفرار بالظهور من القمة الى الحواف .
2- صغر الاوراق وقصر السلاميات التي ينتج عنها تقزم النمو تعد من مميزات نقص الزنك الشديد
3- ظهور اوراق مشوهه حيث تكون هذه الاوراق بصفة عامة صغيرة الحجم ويحتمل ان تتجمع على افرع قصيره تعرف بظاهرة التورد .

5 - البورون (B)Boron:

يوجد البورون في التربة على ثلاث صور :متبادلة وذائبه وغير متبادلة وهي على التسلسل حامض البوريك H_3BO_3 وبورات الكالسيوم او بورات المنغنيز .

وظائف البورون الفسيولوجية :

1- يساهم في انتقال الكربوهيدرات في داخل النبات .
2- يساهم في النشاط الايضي وخاصة في القمم النامية للسيقان والجذور.

اعراض نقص البورون :

1- موت قمة المجموع الخضري وذلك لحاجتها لبناء DNA.
2- الاوراق تكون ذات قوام سميك ونحاسي اللون واحيانا تلتوي وتصبح قابلة للكسر
3- عدم تكون الازهار وتتوقف الجذور عن النمو .

6-المولبيدينومMolybdenum(Mo)

يوجد في التربة ثلاث صور:ذائبا في محلول التربة ايونات المولبيدات (MoO_4^{-2})($HMoO_4^-$)التربة ومدمص على دقائق بهية غير متبادلة بوصفه مكونا لمعادن التربة والمادة العضوية .

وظائف المولبيدينوم الفسيولوجية :

1-يلعب دورا في تثبيت غاز النتروجين وفي تمثيل النترات .
2-يلعب دورا في ايض الفسفور .

اعراض نقص المولبيدينوم:

1- تبرقش المناطق المصفرة مابين عروق الاوراق السفلى يعقبه موت الحواف والتفاف الاوراق .
2- يسبب مرض الذنب السوطي على القرنابيط .

ملاحظة :ان عنصر H وo ياخذ من الجو عن طريق الثغور
عنصر السليكون :بعض النباتات تحتاجه مثل والدخن والشعير وزهرة الشمس .
عنصر الكلور :عنصر ضروري لنمو الحنطة السوداء والطماطة
عنصر البروم :يحل محل Cl في نبات البنجر السكري
عنصر الكوبلت :مهم للطحالب الخضر المزرقة ولكن ساما للنباتات الراقية .

امتصاص الاملاح المعدنية وانتقالها Mineral Salt Absorption And Translocation

هناك نوعين من انواع الامتصاص :

1- الامتصاص السلبي(الحر) passive absorption
2- الامتصاص النشط النقل الفعال Active Transport

1- **الامتصاص السلبي passive absorption:**يحدث امتصاص الملح عن طريق التلامس المباشر للمجموع الجذري وغرويات التربة او محلول التربة ،وقد استخدم مصطلح الفراغ الحر الظاهري (apparent free space)والذي يسمح بالانتشار الحر للايونات .

وهناك سؤال كيف تتراكم الايونات ضد تدرج التركيز (الجهد الكيميائي) دون اسهام الطاقة الايضية ؟

يحتمل وجود عدة صيغ او اليات لحدوث الامتصاص السلبي تعرف بالتبادل الايوني ion exchangeواتزان دونان Donnan effect and equilibriumوالتدفق الكتلي للايونات massflow of ionsوهي المسؤولة عن تحرك الايونات ضد تدرج الجهد الكيميائي .

ويتميز الامتصاص الحر بمايلي :

1- غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات
2- امتصاص غير اختياري
3- امتصاص متعاكس

1- التبادل الايوني Ion Exchange

قد تتبادل الايونات المدمصة (المتجمعة سطحيا)على اسطح الجدر الخلوية او اغشية الانسجة وايونات المحلول الخارجي المغمور فيه النسيج ، ويحصل تبادل ايوني مماثل مابين محلول التربة وغرويات التربة ،وعلى سبيل المثال ان كتيون K^+للمحلول الخارجي يتبادل وايون H^+ المدمص اوالمتجمع سطحيا على اسطح الغشاء ،عندئذ يمكن للانيونات ان تتبادل وايونات الهيدروكسيل الحرة بالطريقة نفسها وبالتالي فان اليات التبادل الايوني سوف تسمح بحدوث امتصاص اكبر للايونات من الوسط الخارجي مقارنة بالانتشار الحر Free diffusion.

2- تاثير واتزان دونان Donnan effect and Equilibrium

يفسر اتزان دونان تاثير الايونات غير القابلة للانتشار ،كما انها تاخذبنظر الاعتبار تراكم الايونات ضد التركيز .

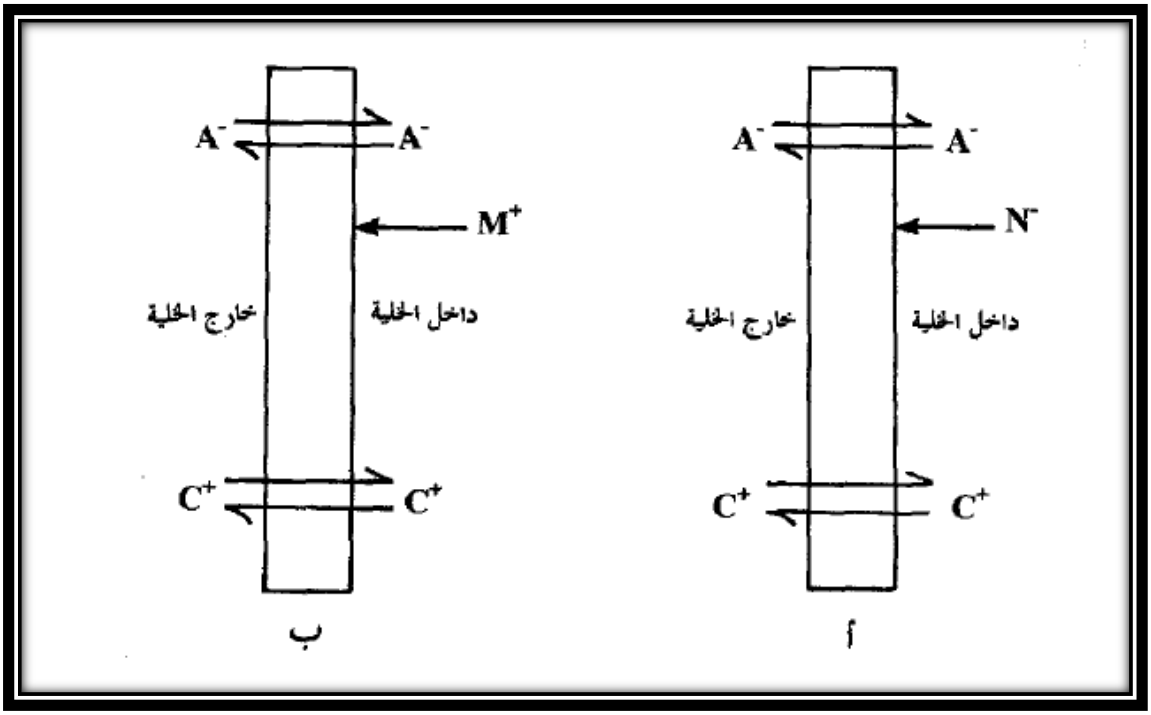
1- في الحالة (ا)يلاحظ ان الغشاء غير منفذ للايونات N^- لانها ايونات ثابتة ،وان هذا الغشاء منفذ بصورة حرة للايونات الموجبة C^+والايونات السالبة A^- من المحلول الخارجي وهذا يعني ان كميات متساوية من الايونات الموجبة والسالبة تنفذ من المحلول الخارجي عبر الغشاء حتى حصول حالة التوازن غير ان هذا الاتزان لابد وان يكون متعادلا كهربائيا ،ولذلك فان هناك حاجة الى ايونات موجبة اضافية لموازنة الايونات السالبة الثابتة (غير القابلة للانتشار) على الجانب الداخلي للغشاء وعلية فان الايونات الموجبة تكون بتركيز اكبر في محلول الخلية مما في المحلول خارج الخلية ،كذلك فان تركيز الايونات السالبة في الداخل يكون اقل مما في خارج الخلية .

2- في الحالة (ب) هناك حاجة للايونات السالبة لموازنة الايونات الموجبة الثابتة M^+(غير القابلة للانتشار)على الجانب الداخلي للغشاء وعليه ستكون الايونات السالبة بتركيز اعلى مما في المحلول الخارجي وان تركيز الايونات الموجبة في المحلول الداخلي سيكون اقل مما في المحلول الخارجي.

ولابد من تحقيق شرطين للوصول الى الاتزان :

ا-تركيز الايونات الموجبة يساوي تركيز الايونات السالبة على كل جانب من الغشاء البلازمي .

ب- نسبة الايونات الموجبة القابلة للنفاذ في الداخل الى نسبتها في الخارج لابد وان تساوي نسبة الايونات السالبة القابلة للنفاذ في الخارج الى نسبتها في الداخل بمعنى



(شكل تخطيطي يوضح فكرة اتزان دونان)

$$\frac{\text{الايونات الموجبة في الداخل}}{\text{الايونات الموجبة في الخارج}} = \frac{\text{الايونات السالبة في الخارج}}{\text{الايونات السالبة في الداخل}}$$

3-التدفق (السريان)الكتلي للايونات Mass flow of ions

يرى بعض الباحثين ان الايونات يمكن ان تتحرك خلال الجذور على طول مسار حركة الماء وان زيادة تيار النتح يسبب زيادة في امتصاص الايونات وقد يكون للنتح تاثير مباشر او غير مباشر التاثير الغير مباشر للنتح في امتصاص الايونات عن طريق ازالة الايونات بعد تحررها الى قنوات الخشب زيادة في نشاط امتصاص الايونات وهذا يعارض الافتراض الذي ينص على ان الايونات تتحرك بطريقة التدفق الكتلي في الماء من محلول التربة خلال الجذور وبالتالي الى المجموع الخضري ويدعم البحث الذي اجراهlopushinky, على نبات الطماطة المقطوعة القمة بصورة غير مباشرة الراي ان اي زيادة في النتح تحدث زيادة في امتصاص الملح وقد استخدم الكالسيوم والفسفور المشع (C^{45} ^{32}p)

وان الزيادة في تدفق الماء سواء بزيادة الضغط الهيدروستاتيكي او من السحب النتح يؤدي الى زيادة في الامتصاص الاجمالي للايونات .

النقل الفعال Active Transport

اثبت التحليل المباشر لعصارة الفجوة في النباتات المغمورة في محاليل ملحية معروف تركيز الملح فيها تراكم الانيونات والكتيونات في النباتات ضد تدرج التركيز.وفضلا عن ذلك فان مدى التراكم الذي يتم بالاليات الكيميائية الكهربائية مثل التبادل الايوني وتاثير اتزان دونان لا يكفي لتفسير هذا التراكم (التراكم ضد تدرج التركيز) ان تراكم الايونات يثبط النشاط الايضي في النبات باستخدام

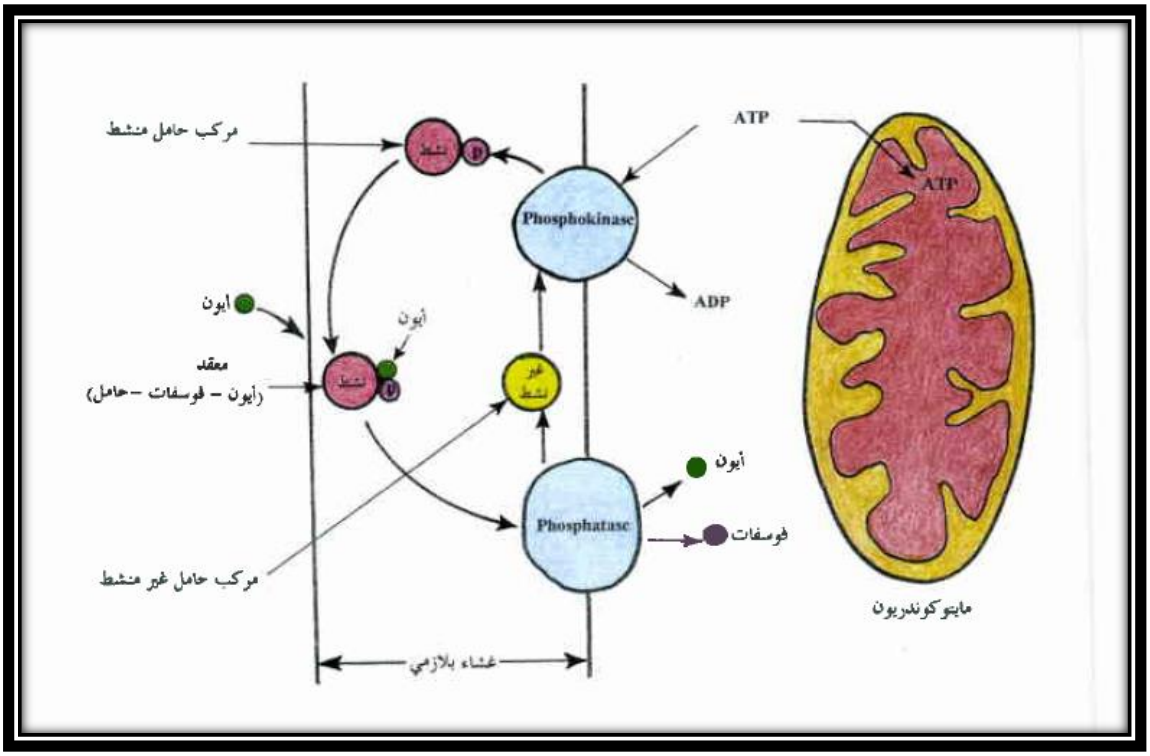
1- درجات حرارة منخفضة
2- نقص الاوكسجين
3- استخدام المثبطات الايضية لذلك ان النقل الفعال هو نقل الايونات بمساعدة الطاقة الايضية .

اليات النقل الفعال :وان النقل الفعال هو نقل الايونات بمساعدة الطاقة الايضية وقد افترضت اليات مختلفة تشرح فكرة النقل الفعال ولم ينال اي منها القبول العام الان جميع الاليات المقترحة قد قبلت بالفكرة القائلة ان النقل الفعال للايون عبر الغشاء الغير منفذ يتم عن طريق مركب يسمى بالحامل carrierيوجد في الغشاء .

1- فكرة الحامل Carrier concept

الفراغ الداخلي inner– spaceهو الفراغ الذي يوجد في النسيج او الخلية والذي من خلاله تنفذ الايونات بمساعدةالطاقة الايضية .وان المساحة او الحاجز barrierمابين الفراغ الخارجي والداخلي تعد غير منفذة للايونات ،ويعتقد ان المرور عبر هذه المساحة يتطلب حوامل معينة متخصصة والتي ترتبط والايونات في الفراغ الخارجي وتحرر هذه الايونات في الفراغ الداخلي ويحتمل ان يكون الحاجز غالبا هو الغشاء البلازمي واهم صفات نظرية الحامل هي افتراض وجود وسيط (معقد الحامل والايون (carrier-ion complex)وان اتحاد الحامل والايون في مركب واحد والذي يسهل حركة الايون عبر الحاجز غير المنفذ وان الايونات المتحررة الى داخل الفراغ الداخلي لا يمكنها التحرك الى الخارج لذا فانها تتراكم .

الحامل الايوني ينشط اولاوهذا التنشيط يتطلب ATPوالانزيم المناسب وان انزيم Phosphokinaseالذي يوثر في عملية فسفرة الحامل (اي تنشيط الحامل)وهذا يسرع اتحاد الحامل بالايون وبذلك يتكون معقد الحامل والايون والذي ينشق عنه عند سطح الحاجز الداخلي وبالتالي فان الايون ينطلق للفراغ الداخلي



(شكل تخطيطي يوضح كيفية اشتراك ATP و بعض الانزيمات في الاغشية لتسهيل عملية نقل الايونات)

ويمكن تمثيل تلك العملية التي تحدث عند الحاجز حسب الخطوات الاتية :

1- **Carrier** $\xrightarrow[\text{ATP} \longrightarrow \text{ADP}]{\text{kinase}}$ **Carrier***

2- **Carrier *** $\xrightarrow{\text{Ion (+ or -)}}$ **Carrier*-ion**

3- **Carrier*-ion** $\xrightarrow{\text{Phosphatase}}$ **Carrier+ ion**

هناك ثلاث سمات (صفات) لامتصاص الملح والنقل النشط تؤيد بشدة صحة فكرة الحامل

1- تبادل النظير isotopic exchange : ان الامتصاص الايوني المعتمد على النقل الفعال هو في الغالب غير قابل للتبادل مع الايونات من نفس النوع في الفراغ او الوسط الخارجي .

2- تاثيرات التشبع saturation effects :ان زيادة تركيز الملح في الوسط المحيط فيبدو ان معدلات الامتصاص تقترب من الصفر وبمعنى اخر فان نقطة التشبع تقترب من نهايتها والتي عندها تكون جميع المواقع الفعالة على الحوامل مشغولة .

3- التخصصspecificity:ان الايونات تمتص بمعدلات مختلفة وتتراكم بمستويات مختلفة في نسيج الجذر وهذا يدل على وجود الحوامل المتخصصة.

2- نظرية الامتصاص الفعال للملح بواسطة لندكارد Lundegardh

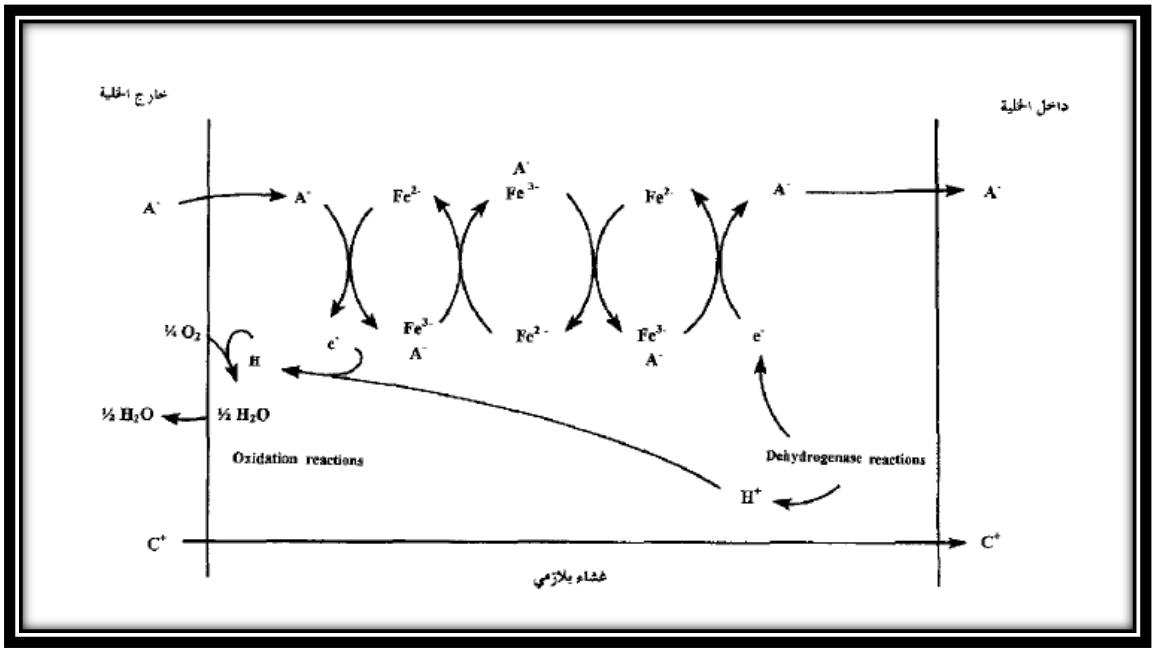
وقد افترضت هذه النظرية ما يأتي :

1- يكون امتصاص الانيون(-) مستقلا عن امتصاص الكتيون ويحصل باليات مختلفة .

2- يوجد تدرج في تركيز الاوكسجين من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للغشاء وبالتالي يشجع الاكسدة على السطح الخارجي والاختزال على السطح الداخلي .

3- يحصل النقل الفعلي للانيونات عن طريق النظام السايتوكرومي .

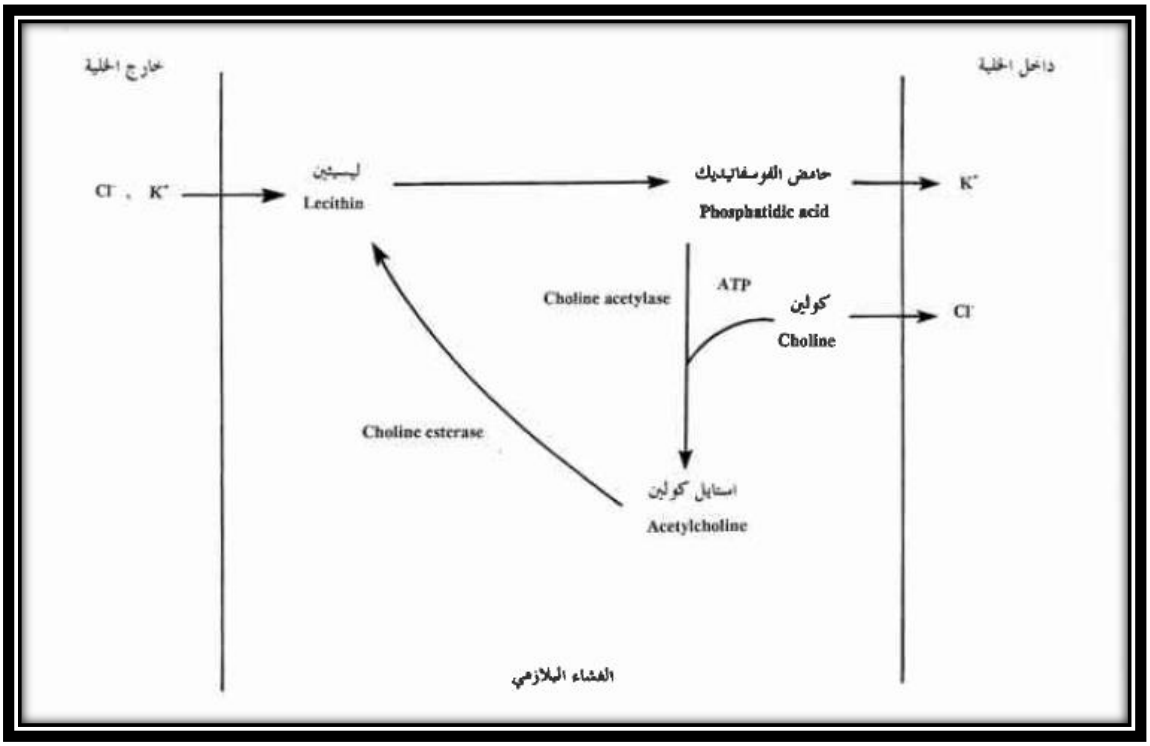
وهناك علاقة كمية بين امتصاص الانيون والتنفس الملحي وعدم وجود مثل هذه العلاقة في حالة امتصاص الكتيون(+) وقد افترض ان الانيونات(-) فقط هي التي تنقل بالنقل الفعال ،وان تنشيط التنفس الملحي يثبط امتصاص الانيون بوساطة السيانيد cyanide او اول اوكسيد الكاربون شجع lundegardhلان يفترض ان انتقال الانيونات يتم من خلال توسط انزيم cytochrome oxidaseويحتمل ان السايتوكرومات هي الحوامل الانيونية .



(شكل يوضح مضخة السايتوكروم لنقل الايونات عبر الاغشية البلازمية)

الية الحامل المتضمنة ATP:

الية الامتصاص الفعال الذي يستخدم ATPحيث افترض ان اللبيدات المفسفرة Phospholipidsيحتمل ان تكون مهمة في نقل الالكترون عبر الاغشية غير المنفذة.ان الليسيثين lecithin(لبيد مفسفر)يتكون ويتحلل مائيا بطريقة دائرية _يلتقط في اثنائها الايونات على بناء والسطح الخارجي ويطلقها بالتحليل المائي الى الفرع الداخلي وان بناء واحد في الاقل من مكونات هذه الدورة الفوسفاتيدية يتطلب ATP.وقد لاتحتوي النباتات على الليسيثين اوالكولين او انزيم Choline esterase.



(شكل يوضح اليه النقل النشط التي تتضمن اشتراك ATP)

العوامل المؤثرة في امتصاص الملح Factors Affecting salt Absorption

1- درجة الحرارة Temperature

زيادة درجة الحرارة تؤدي الى اسرع امتصاص للملح الا ان تاثير درجة الحرارة في امتصاص الملح تنحصر في مدى ضيق نسبيا وفضلا عن تسريع امتصاص الملح فان الزيادة درجة الحرارة اكثر من الحد الاقصى يثبط وينهي بالكامل العملية .

2- تركيز ايون الهيدروجين Hydrogen ion Concentration

ان توفر الايونات في محلول التربة يتأثر جدا بتركيز ايون الهيدروجين ويتاثر تاين الالكتوليات او ارقام التكافؤ للايونات المختلفة الانواع بالتغيرات في pHعلى سبيل المثال ايون الفوسفات الاحادي التكافؤ وهو صورة الفسفور الاكثر امتصاصا بوساطة النباتات لا انه عندما تقترب بيئة الوسط من القلوي تتكون الفوسفات الثنائية التكافؤ Hpo_4^{-2} ثم تتكون الفوسفات الثلاثية التكافؤ po_4^{-2} الايون الثنائي التكافؤ يكون غير متيسرللنبات ،اما الايون الثلاثي التكافؤ غير متيسر للنبات اما الايون الاحادي فهو متيسر لذلك فان امتصاص الفوسفات يكون اسرع عند pHالحامضي.

3- الضوءLight

ان تاثير الضوء في فتح وغلق الثغور في عملية البناء الضوئي توثر تاثيرا غير مباشر في امتصاص الملح .فالتغور المفتوحة تزيد من سريان الماء في مجرى التنح وهذا بالتالي يؤثر في امتصاص الملح

4- الفعل المتبادلInteraction Effect

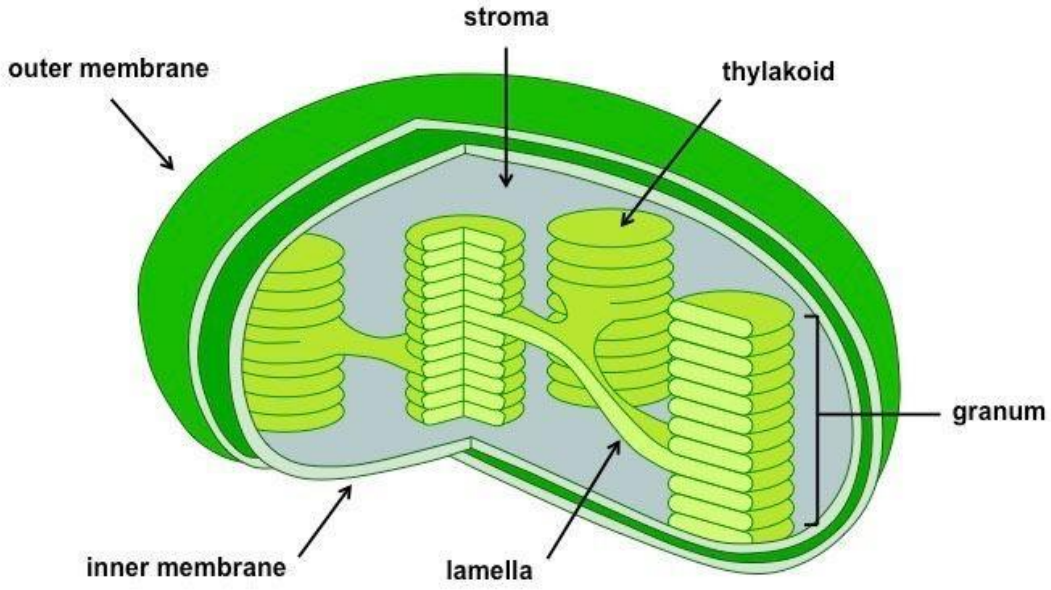
يحتمل ان تاثير امتصاص ايون ما بوجود ايون اخر ففي دراسة اجراها احد الباحثين عن امتصاص بروميد البوتاسيوم بوساطة جذور الشعير المفصولة وجد ان امتصاص البوتاسيوم يتاثر بوجود الكالسيوم والمغنسيوم والكيتونات الاخرى العديدة التكافؤ في الوسط الخارجي .

5- النمو Growth

ان امتصاص الملح يحتمل ان يتاثر جدا بالنمو لان نمو النسيج او النبات ربما يزيد المساحة السطحية وعدد الخلايا وبناء مواقع ارتباط جديدة او حوامل جديدة وهذه العوامل تحفز امتصاص الملح .

البناء الضوئي photosynthesis

تحدث عملية البناء الضوئي من بدايتها حتى نهايتها في داخل البلاستيدة الخضراء ،وهي عضية سايتوبلازمية ذات تركيب هندسي معقد جدا وتوجد البلاستيدات الخضر في الطحالب الخضر والنباتات الحزازية والنباتات الوعائية الاانها لا توجد في الفطريات والطحالب الخضرالمزرقة وبكتريا البناء الضوئي توجد الصبغات في تراكيب غشائية تسمى حاملات الصبغة chromatophoresاما في الطحالب الخضر المزرقة فتوجد الصبغات اما على الاغشية او في داخلها ، تشاهد بسهولة بالمجهر الضوئي لا ان تركيبها الدقيق يمكن تميزه فقط بالمجهر الالكتروني تحاط محتوياتها بنظام غشائي مزدوج او بغلاف (يتالف من غشاء مزدوج)وان الغشاء اختياري النفاذية ،في النباتات الراقية تحتوي البلاستيدات الخضر على صفائح (اغشية)الكرانا grana lamellaوالتي تحتوي على معظم العوامل الكيميائية الحياتية اللازمة لحدوث التفاعلات الكيميائية الضوئية لعملية البناء الضوئي اي تحدث فيها التفاعلات الكيميائية الضوئية) الكرانا مزدوجة او مكونه من تراكيب تسمى بالثايلاكودthylakoids.البلاستيدات الخضر في الطحالب تخلو عادة من الكرانا وفي الطحالب الخضر المزرقة فان الاغشية توجد في داخل السايتوبلازم بدون غلاف يحددها ،اما في النباتات الراقية فان الصبغات توجد في الاغشية فقط .وتنشا البلاستيدة من البلاستيدة الاولية propastid وتمتلك البلاستيدة معلومات وراثية خاصة ببناء البروتينات ،وان الاحماض DNA,RNA التي توجد فيها تسلسل القواعد يختلف عن تلك الموجودة في النواة .



الصبغات المشاركة في البناء الضوئي :

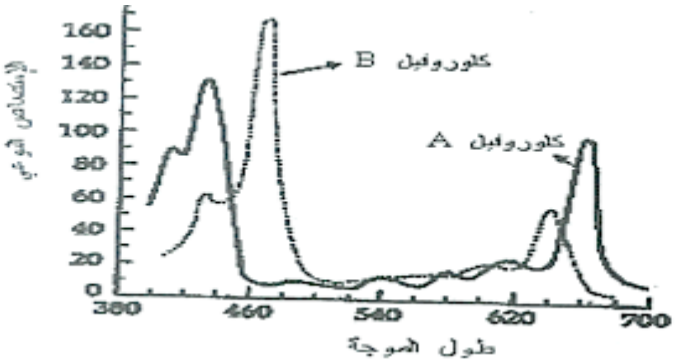
1- صبغات الكلورفيل :هي صبغات خضراء اللون ويتميز فيها E,D,C,B,A والكلورفيلات البكترية ويعد كلورفيل A,Bاكثر توفرا.

كلورفيل Aيوجد في جميع الكائنات ذاتية التغذية ماعدا بكتريا البناء الضوئي .

كلورفيل Bيوجد في جميع النباتات الراقية والطحالب الخضراء فقط

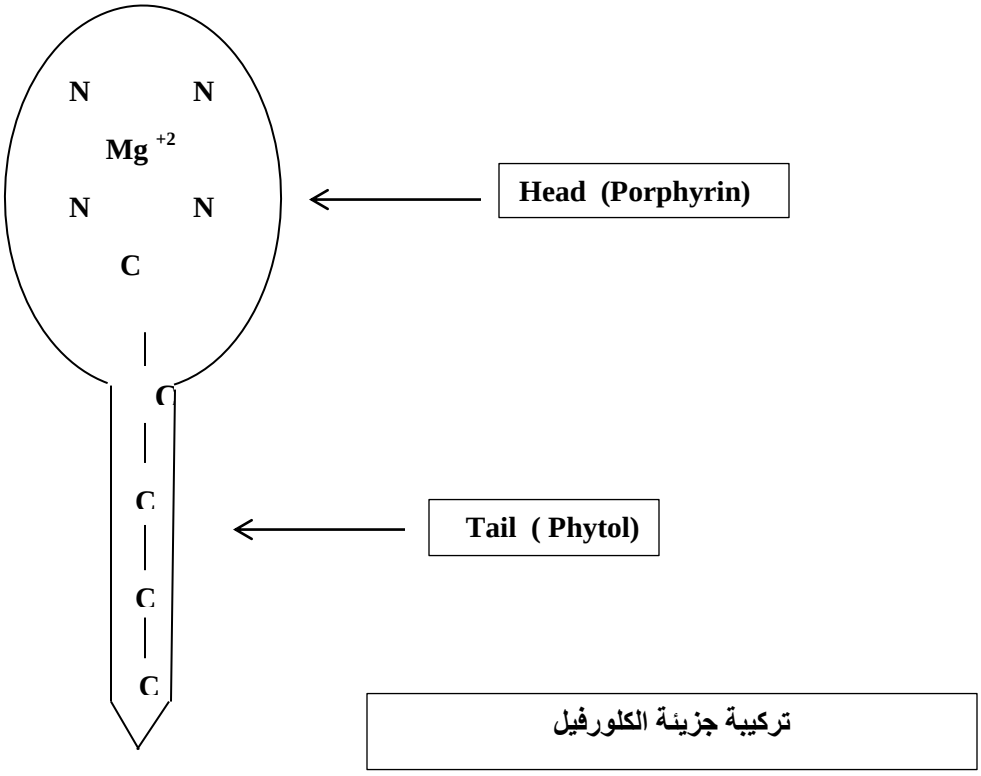
كلورفيل E,D توجد في الطحالب فقط

الكلورفيلات البكترية توجد في بكتريا البناء الضوئي .



شكل يوضح اطياف الامتصاص لكل من كلوروفيل AوB

تركيب جزيئة الكلورفيل A :يتكون جزئ الكلورفيل من تركيب دائري رباعي البيرول يسمى بالبورفرينporphyrin وحلقة شبه دائرية تحتوي في وسطها ذرة مغنسيوم ،وتمتد من احدى حلقات البيرول سلسلة كحول الفايتول phytol chain

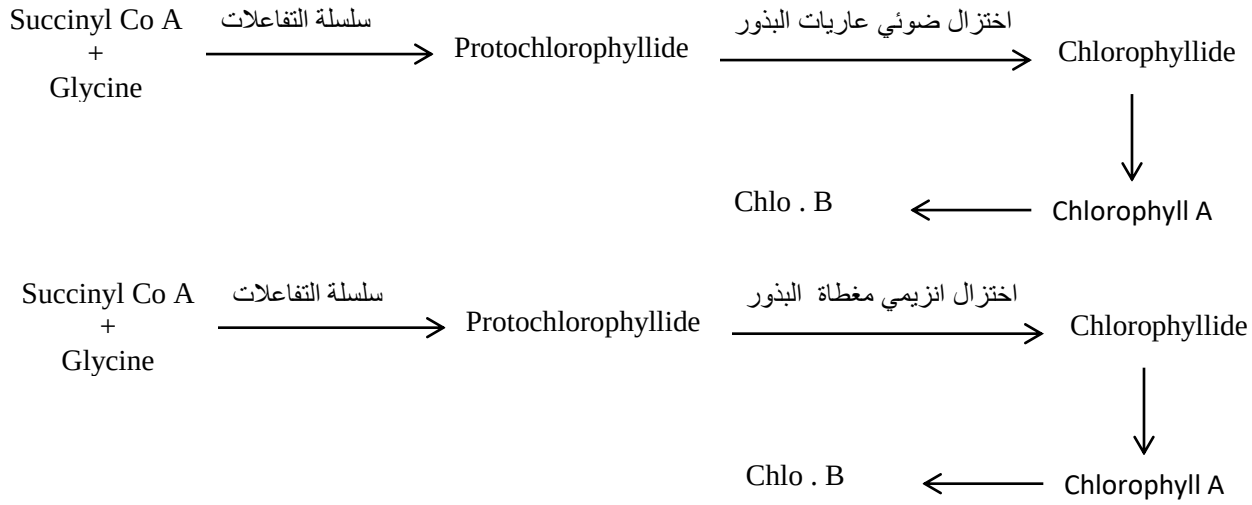


تركيبة جزيئة الكلورفيل

الفرق بين كلورفيل Aوكلورفيل B

كلوروفيل A	كلوروفيل B
الصيغة الجزيئة $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
الوزن الجزيئي 892.3	906.32
ترتبط ذرة الكاربون رقم 3 بمجموعة مثيل CH_3	ترتبط ذرة الكاربون رقم 3 بمجموعة الالديهايد CHO
افضل مذيب هو بتروليوم ايثر	افضل مذيب هو الكحول الاثيلي

بناء الكلوروفيل : ان اساس عملية بناء الكلورفيل مادة Scuccinyl COA وهو احد مركبات دورة كربس الوسطية ،والحامض الاميني الكلايسين Glycineوبتحادهما وبعد سلسلة معقدة من التفاعلات تؤدي الى تكوين protochlorophyllidويتحول الىChlorophyllide بوجود الضوء
يحصل اختزال ضوئي في نباتات مغطاة البذور ،ثم في سلسلة تحولات يضاف الفايتول ليتحول الى chla،ثمchlBاما في عاريات البذور (كالسرخسيات)والحزازيات والطحالب يتحول Protochlorophyllideالى كلورفيل حتى في الظلام لانه اختزال انزيمي (بوجود الانزيمات)



عند عدم وجود الضوء (النباتات النامية في الظلام)تحدث ظاهرة الشحوب الكلورفيلي **Etidation** تبقى البادرات في مغطاة البذور ذات لون اصفر لعدم تكون الكلورفيل هذا اللون الاصفر بسبب اشباه الكاروتينات وتتحول البلاستيدة الاولية الى خضراء بوجود الضوء اي ان نقص الضوء ونقص العناصر مثلN,Mg,Fe والاصابات الفطرية تسسبب هذا الشحوب

الصبغات المساعدة الاخرى:

1- **اشباه الكاروتينات Carotenoid pigments :** مركبات دهنية واسعة الانتشار في الحيوانات والنباتات وتتدرج من اللون الاصفر الى الارجواني وتوجد بتراكيز مختلفة في جميع النباتات الراقية تقريبا وفي كثير من الاحياء المجهرية بما فيها الطحالب الحمر والخضر وبكتريا البناء الضوئي ،استخلصت لاول مرة من جذور الجزروعندما تتالف فقط من الكاربون والهيدروجين تسمى بالكاروتينات واشباه الكاروتينات التي تتالف من الكاربون والهيدروجين والاوكسيجين تسمى بالزانثوفيلات وان تركيز الزنثوفيلات الى الكاروتينات يكون 1:2تقريبا ،واشباه الكاروتينات شانها شان الكلوروفيل توجد في البلاستيدات الخضر وفي حاملات الصبغة chromatophores .

الاهمية الفسلجة لاشباه الكاروتينات في النباتات
2- **لها دور في وقاية الكلورفيل من الاكسدة الضوئية**
3- **لها دور في امتصاص ونقل الطاقة الضوئية الى كلوروفيل A.**

2-صبغات الفايكوبلينات phycobilins: توجد البروتينات البلينية الحمراء المسماة بالفايكواريثرينات phycoerythrinsوالبروتينات البلينية الزرقاء المسماه بالفايكوسيانينات Phycocyaninsفي الطحالب وبكتريا البناء الضوئي

يشار الى اشباه الكاروتينات والفايكوبلينات على انها صبغات مساعدة assessarypigments لان دورها في البناء الضوئي يكون غير مباشر اي ان الطاقة التي تمتصها هذه الصبغات تنقل الى الكلورفيل قبل ان تصبح فعاله في البناء الضوئي .

اصل الاوكسجين في البناء الضوئي origin of oxygen in photosynthesis
ان اصل الاوكسجين في عملية البناء الضوئي هو الماء وهناك ادلة على ذالك:

1- اوضح Van Niel بان اصل الاوكسجين المتحرر في البناء الضوئي هو ا $2H_2S+Co_2$----------$\rightarrow 2S+(CH_2O)+H_2O$
في بكتريا الكبريت الخضراء

$$2H_2O+CO_2 \text{---------} \rightarrow O_2+(CH_2O)+H_2O$$

في الطحالب والنباتات الراقية

وان التشابة الواضح بين البناء الضوئي في كل من البكتريا والنباتات الراقية شجع Van Nielافتراض صيغة عامة للبناء الضوئي

$$2H_2A+CO_2 \text{--------} \rightarrow 2A+(CH_2O)+H_2O$$

ومن هذا استنتج نقطتان مهمتان

1- ان مصدر الاوكسيجين المتحرر في عملية البناء الضوئي هو الماء وليس ثاني اوكسيد الكاربون
2- لا يعتمد التمثيل الفعلي لثاني اوكسيد الكاربون على الضوء .
الدراسات التي تمت باستخدام النظائر المشعةوذلك باستعمال الاوكسجين الثقيل (O^{18})ولو تمت عملية البناء الضوئي في وجود H_2O^{18}وco_2العادي فان الاوكسجين الجزيئي المنطلق يكون من النوع الثقيل (O^{18})

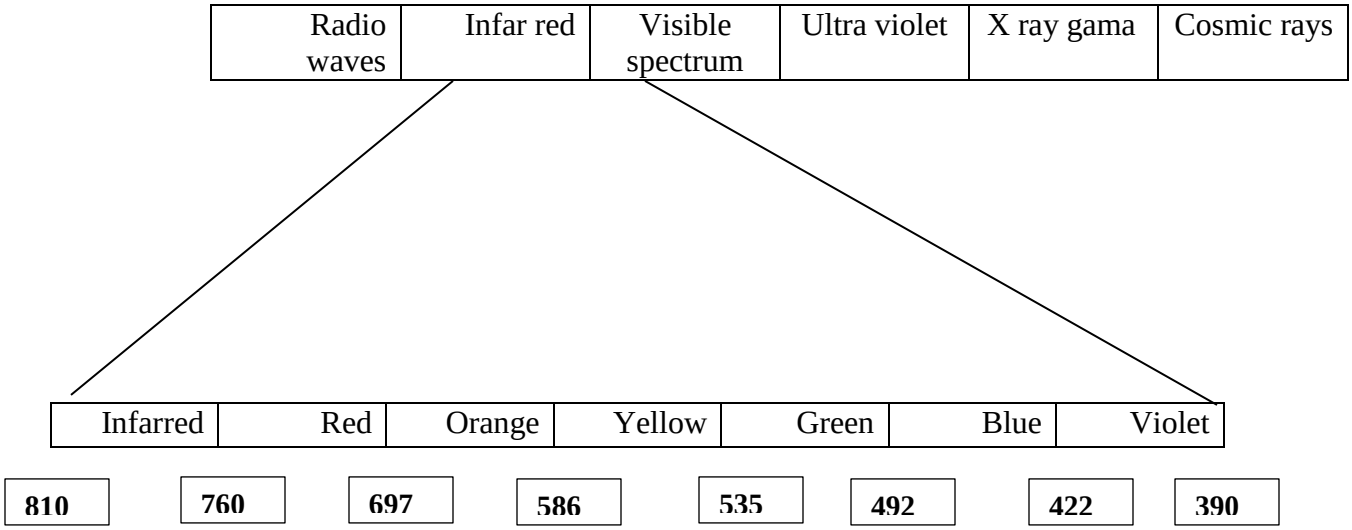
$$2H_2O^{18}+CO_2 \text{-------} \rightarrow O_2{}^{18}+(CH_2O)+H_2O$$

ولو تمت عملية البناء الضوئي بوجود الماء العادي و$co_2{}^{18}$ فان الاوكسجين المنطلق يكون من النوع العادي

$$2H_2O+CO_2{}^{18} \text{-------} \rightarrow O_2+(CH_2O^{18})+H_2O^{18}$$

اوضح تفاعل Hillان البلاستيدات الخضر المعزولة تستطيع ان تحرر الاوكسجين بشرط تمده بالضوء والماء والمستقبل الملائم للهيدروجين .

الطيف و الطاقة الاشعاعية :تنتشر الطاقة الاشعاعية بصورة امواج متذبذبه كما يوضح الشكل التالي :



تتراوح اطوال الموجات الضوئية التي توثرفي نمو النبات مابين 0,00003سم و0,0009سم وان استخدم مثل هذه الوحدات الكبيرة للقياس لوصف طول موجة الضوء يعد امر مربكا ومزعجا و،لذا يستخدم العلماء في دراسة تاثيرات الضوء في النباتات كسور المتر ويعبر عن اطوال الموجات بوحدات اصغر مثل النانوميتر ،ويمكن تقدير طاقة الكوانتم quantumمن طول موجة الاشعاع الضوئي حيث تكون الطاقة اعظم كلما قصر طول الموجة .

وعندما يمتص جزئ الكلورفيل فوتونا ضوئيا فانه يثار اي يرتفع مسوى حالته المستقرة الى مستوى الاثارة اي طاقة اعلى وان فوتونات الضوء ليست جميعها قادرة على اثارة الكلورفيل ورفعه الى مستوى طاقة اعلى وان الضوء لابد ان يمتص وان الفوتون الممتص يجب ان يحتوي كمية الخاص بالمكافئ الكيميائي الضوئي فان الفوتون الواحد يثير جزي واحد او ذرة واحدة اي ان الفوتون الضوئي الواحد بصرف النظر عن مستوى طاقتة ينشط جزيئا واحد فقط

امتصاص الضوء بواسطة الكلورفيل وانتقال الطاقة

لا تمتص كل جزيئات الصبغة الضوء ويعتقد ان الطاقة الضوئية الممتصه بوساطة جزئ صبغي واحد تنتقل خلال جزيئات صبغية اخرى قبل ان تصل مكان فعلها وتتنتقل طاقة الكترون مابين الصبغات المساعدة وجزيئات الكلورفيل عن طريق الرنين وهو الرنين الموجي Wave resonancneوهو يشبه موجه الماء التي تتولد نتيجة رمي حجر في الماء ويجب ان تكون الجزيئات متجمعة ومتلاصقة والمسافة بينها لا تتعدى 100نانومتر لحدوث انتقال الطاقة الجيد بالرنين ،وان الترتيب الجزيئي للبلاستيدة الخضراء يكون بصورة تجعل الجزيئات الصبغة متلاصقة بما فيه الكفاية لحدوث ظاهرة انتقال الطاقة بالرنين بالموجي .

تاثير امرسون Emerson Effect

تنتقل الطاقة الضوئية الممتصة بالصبغات المساعدة الى كلورفيل Aقبل ان تصبح فعالة في البناء الضوئي, وقد لاحظ الكثيرمن الباحثين عند دراستهم للدور الفسلجي للصبغات المساعدة في عملية البناء الضوئي في الطحالب فقد وجدو ان الضوء الممتص مباشرة بالكلورفيلA كان اقل فعالية في عملية البناء الضوئي عن مثيله الممتص بالصبغات المساعدة ,واكتشف امرسون ومساعدوه ان تاثير حزمتي (شعاعي)الضوء معا في ان واحد (الموجات الضوئية الاطول والاقصر من 680 نانومتر في معدل البناء الضوئي يزيد عن مجموع كل من النوعين من الاشعة عند استعمال كل منها بمفرده هذا يسمى بتاثير امرسون.

النظامان الصبغيان Two pigment systems

ان عملية البناء الضوئي تحتاج الى التعاون (الفعل المتبادل) مابين مجموعتين متميزتين من الصبغات الفعالة والتي تسمى بالنظم الصبغية photosystmes .

النظام الصبغي الاول photosystem 1:يكون غنيا بكلوروفيل Aويحتوى على اشباه الكاروتينات وعلى كمية اقل من كلورفيل Bذروه امتصاصه عند 703نانوميتر ويسمى P700.

النظام الصبغي الثاني Photosystem2يكون غنيا بكلورفيل Aويحتوي على اشباه الكاروتينات وكمية اكثر من كلوروفيل Bوذروه امتصاصة عند 686ويسمى P680.

وفي كلا النظامين الضوئين فان معظم الصبغات تعمل على تجميع اوحصاد الطاقة الضوئية ونقلها بالرنين الموجي الى جزيئات كلورفيل Aالموجودة عند مراكز نشاط التفاعلات الكيميائية الضوئية والتي تسمى بالمصايد او مراكز اقتناص او اسر الطاقة،فالمركز الصبغي النشط للنظام الضوئي الاول يتكون من كلورفيل Aوالذي يسمى P700والمركز الصبغي النشط للنظام الضوئي الثاني يتكون من كلورفيل A والذي يسمى P680وان جزيئات الكلورفيل Aالمانحة تختزل مستقبل الكترون الخاص وبذلك تصبح موكسدة ،اما مستقبلات او حوامل الالكترونات التي اختزلت تبدا في سريان اونقل الكترونات وتعمل على تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية

وحدة البناء الضوئي Photosynthetic unit:اصغر مجموعة من جزيئات الصبغة المتعاونة مع بعض لتؤثر في احداث التفاعل الكيميائي الضوئي اي امتصاص وانتقال كونتم الضوء الى مركز الاقتناص حيث يسبب تحفيز انطلاق وتحرير الالكترون.

ان جزئ الكلوروفيل الذي يمتص كوانتم اوفوتون الضوء يرتفع مستوى طاقته الى حالة الاثارة ويضل في حالة الاثارة لمدة 10^{-9}من الثانية وهو وقت قصير لا يتيح فرصة كافية لهذه الطاقة الفائضة ان تفعل اي عمل كيميائي وان هجرة هذه الطاقة مابين الجزيئات المرتبة باحكام تكون بكفاءه عالية جدا تتم بمعدل 1000جزئ تقريبا لكل 10^{-12}من الثانية ولاتكون الهجرة عشوئيا ويكون انتقال الكوانتم اوالفوتون من الاطوال الموجية القصيرة (اي مستوى طاقة اعلى)الى صبغة اخرى لها ذروة امتصاص عند الاطوال الموجية الاطول (اي مستوى طاقة اقل).

تفاعلات البناء الضوئي Reaction of photosynthesis

تقسم تفاعلات البناء الضوئي الى قسمين رئيسين

1- تفاعلات الضوء Light reactionاو التفاعلات المعتمدة على الضوء .
تفاعلات الظلام Dark reaction او التفاعلات غير المعتمدة على الضوء .

تفاعلات الضوء Light Reaction:وهي المرحلة الاولى من تفاعلات عملية البناء الضوئي وتحدث هذه التفاعلات في اغشة الثايلاكويد حيث توجد صبغات الكلورفيل تحدث بوجود الطاقة الشمسية ومن نواتج هذا التفاعل هي ATP,NADPH

الفسفرة الضوئية photosynthetic phosphorylation:ادى اكتشاف قدرة البلاستيدت الخضراء المعزولة على تثبيت وتمثيل co_2 الى ادراك ان هذه العضيات تحتوي على الانزيمات اللازمة لانتاج جزيئات ATPلتثبيت CO_2 وانتاج الكربوهيدرات . واوضح ARNONواخرون ان البلاستيدات الخضر المعزوله والمضاءه لها القدرة على انتاج جزيئات ATPواطلقوا على هذه العملية بالفسفره الضوئية photophosphoryalationاو بفسفرة البناء الضوئي photosynthetic phosphorylationوكشفت هذه العملية ان المايتوكوندريا ليست العضيات السايتوبلازمية الوحيدة التي لها القدره على تكوين جزئيات ال ATP.وان تكوين معظم جزيئات ATPفي المايتوكوندريا يتم عن طريق عملية الفسفره التاكسدية oxidative phosphorylationوكذلك تختلف عملية تكوين جزيئات ATPفي البلاستيدات الخضر عما هي عليه في المايتوكوندريا في انها غير معتمدة على التاكسدات التنفسية .اي ان الطاقة الضوئية قد استغلت في تكوين جزئ ATPاي ان الطاقة الضوئية تحولت الى طاقة كيميائية ،وان جزئ ATPهو احد المتطلبات الضرورية لانتاج الكربوهيدات .

مخطط Zلانتقال الالكترون والفسفرة الضوئية :سمي هذا المخطط بسبب شكله المشابه لحرف Z ويوضح هذا المخطط كيفية انتقال الالكترون وانتاج جزيئات ATP,NADPHفي البلاستيدات الخضر.

الفسفرة الضوئية غير الدائرية : Non cyclic photophosphorylation

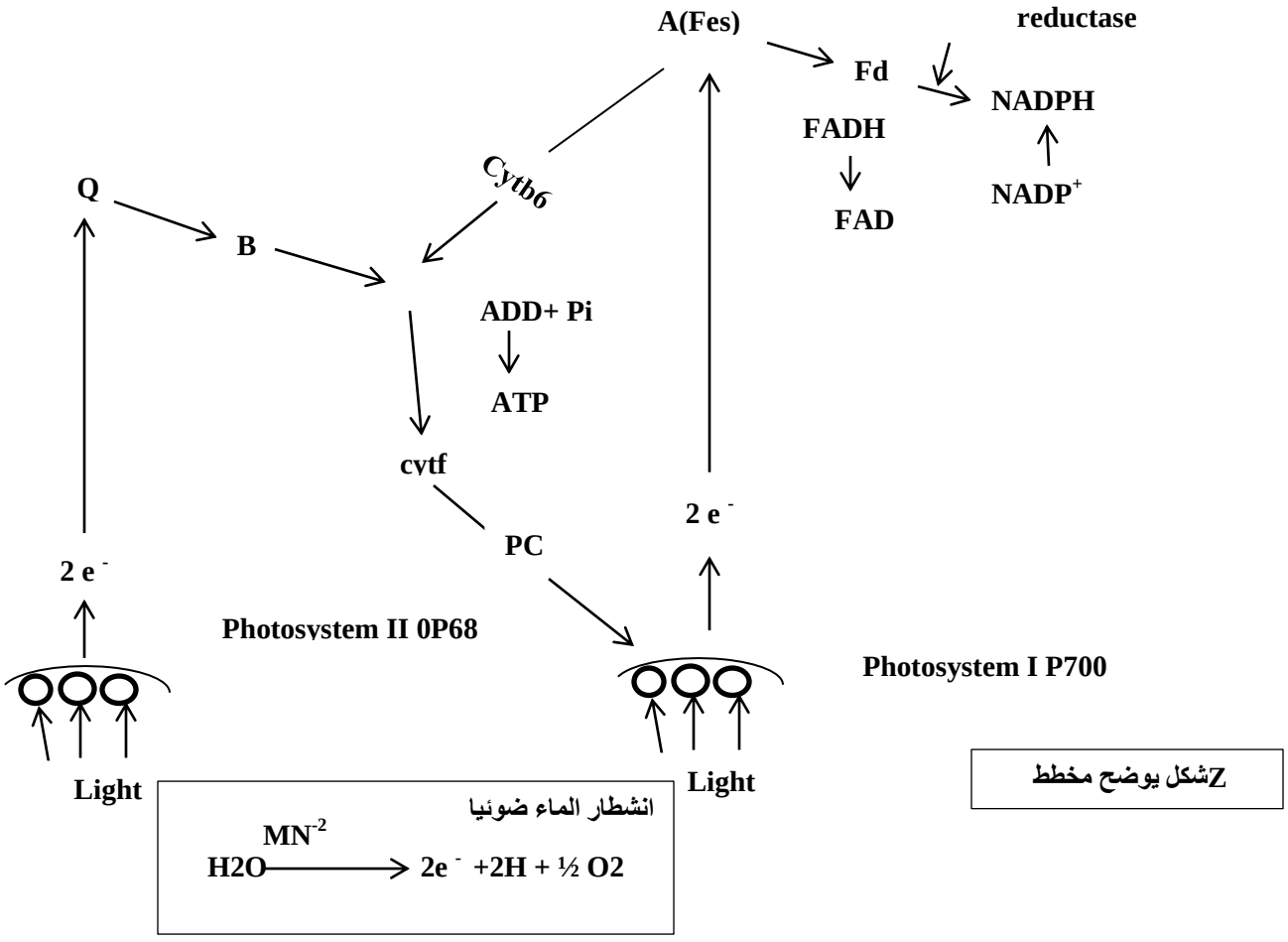
ويمكن ان يشار اليها ايضا بانتقال الكترون غير الدائري noncyclic يحتمل ان يبدا الانسياب الاولي للالكترونات في داخل الثايلاكويد thylakoid في ان واحد لكل من النظامين الصبغيين وذلك من خلال التفاعلات المترابطة مع بعضها والتحلل الضوئي للماء photolysis والذي يمد النظام ككل بانسياب الالكترونات اللازمة لانتاج ATP وNADPHويشار الى هذا التكامل بين النظامين الضوئيين بالفسفرة الضوئية غير الدائرية وهي تعد احدى الوسائل لانتاج ATPفي البلاستيدات الخضر .

بعد اثارة جزئ P700 وهو الكلورفيل القانص للنظام الضوئي الاول فان الالكترونات تسري الى بروتين حامل الحديد والكبريت ويرمز له A(FeS)وبعد ذلك تسري الالكترونات الى الفيريدوكسين Ferredoxinويرمز له (Fd)وفي النهاية تذهب الى $NADP^+$ فيختزل الى NADPH+Hولسهولة والاختصار نرمز للصورة المختزلة $NADP^+$ بالرمز NADPHوان انتقال الالكترونات الى $NADP^+$ يولد عجزا في الالكترونات في النظام الضوئي الاول ،وبذلك تحصل

اثارة كلورفيل P680 في النظام الضوئي الثاني وتنتقل الالكترونات الى كلوروفيل P700 من خلال حوامل الالكترونات وهيQ ,Bوالبلاستوكونون(PQ(Plastoquinone وسايتوكروم F (Cytf) والبلاستوسيانين plastocyanine(pc) وان حوامل Q وBتعد مركبات غير معروفة التركيب حتى الان وكما هو موضح في الشكل فان pcيبعد البروتونات ويحرر الالكترونات الى سايتوكروم f وفي هذا الموضع ينتج ATPويتولد فراغ النظام الضوئي الثاني يملا بالالكترونات الناتجة من انشطار الماء ضوئيا Photolysisكذلك فان مرور او سريان الالكترونات يتطلب مساهمة النظامين الضوئين ويؤدي الى بناء كل من ATPو NADPH.

الفسفرة الضوئية الدائرية :cyclic photophosophorylation

بسبب تنشيط النظام الضوئي الاول بالموجات الضوئية الاطول من 680nmفان الالكترونات تسري الى بروتين حامل الحديد والكبريت A(Fes)وعندما لا تسري الالكترونات الى $NADP^+$فانها تسري الى سايتوكروم b6وهذا بدوره يمررها مرة ثانية الى p700 عن طريق سايتوكروم (f)والبلاستوسيانين(pc) وان بناء ATPيحدث في موقعين هما بين A(Fes)والسايتوكروم b6وبين سايتوكرومb6وسايتوكروم Fوهذا يحدث بوجود البلاستوكونون PQ ويدل مصطلح الفسفرة الضوئية الدائرية ان دورة الالكترون تبدا من المانح وهو كلوروفيل P700المثار ومن ثم يعود الى كلوروفيل P700مع توليد جزئ ATP .



شكل يوضح مخطط Z

الاليات المقترحة لتكوين ATP:ترتبط عملية سريان الالكترونات بعملية فسفرة ADPالى ATPوالماء وان الطاقة تنتقل الطاقة من احداهما الى الاخرى عن طريق بعض المواد وان الادلة على هذا الاقتران او الارتباط استند الى الملاحظات الاتية :

1- وجود العوامل الفاصلة يثبط انتاج ATP بينما يستمر سريان او انتقال الالكترون .
2- يعيق انتقال الالكترون او تثبيطه باستخدام مبيدات عشبية معينة وان عملية الفسفرة تثبط انتاج ATP
3- ان اكسدة NADPHو NADHفي التنفس وFADHتتم في ان واحد ويرافق ذلك تكوين ATP.

وعلى الرغم من العلماء قد درسو باستفاضة سريان الالكترون وارتباطه بالفسفرة ،الا انهم حتى الان لم يوضحو الاليات بالكامل ،الا ان النظريات الرئيسية المعتمدة التي افترضها الباحثون هي :

1- الاقتران التكويني او التركيبيConformattional Coupling :التي تستند الى ان اغشية المايتوكوندرات او اغشة ثايلاكويدات البلاستيدة الخضراء تعاني تغيرات تركيبية وهذه التغيرات تحفز الطاقة ذات المستوى العالي تساعد على تحرير الطاقة لانزيم ATPaseالذي تحفز ويسرع انتاج ATP.
2- الاقتران الكيميائي Chemical Coupling

تفترض هذه النظرية ان هناك بروتين رابط غير معروف يحتمل ان يقوم بنقل الطاقة مابين انتقال الالكترونات وتكوين ATP.

3- الاقتران الازموكيميائي Chemiosmotic Coupling

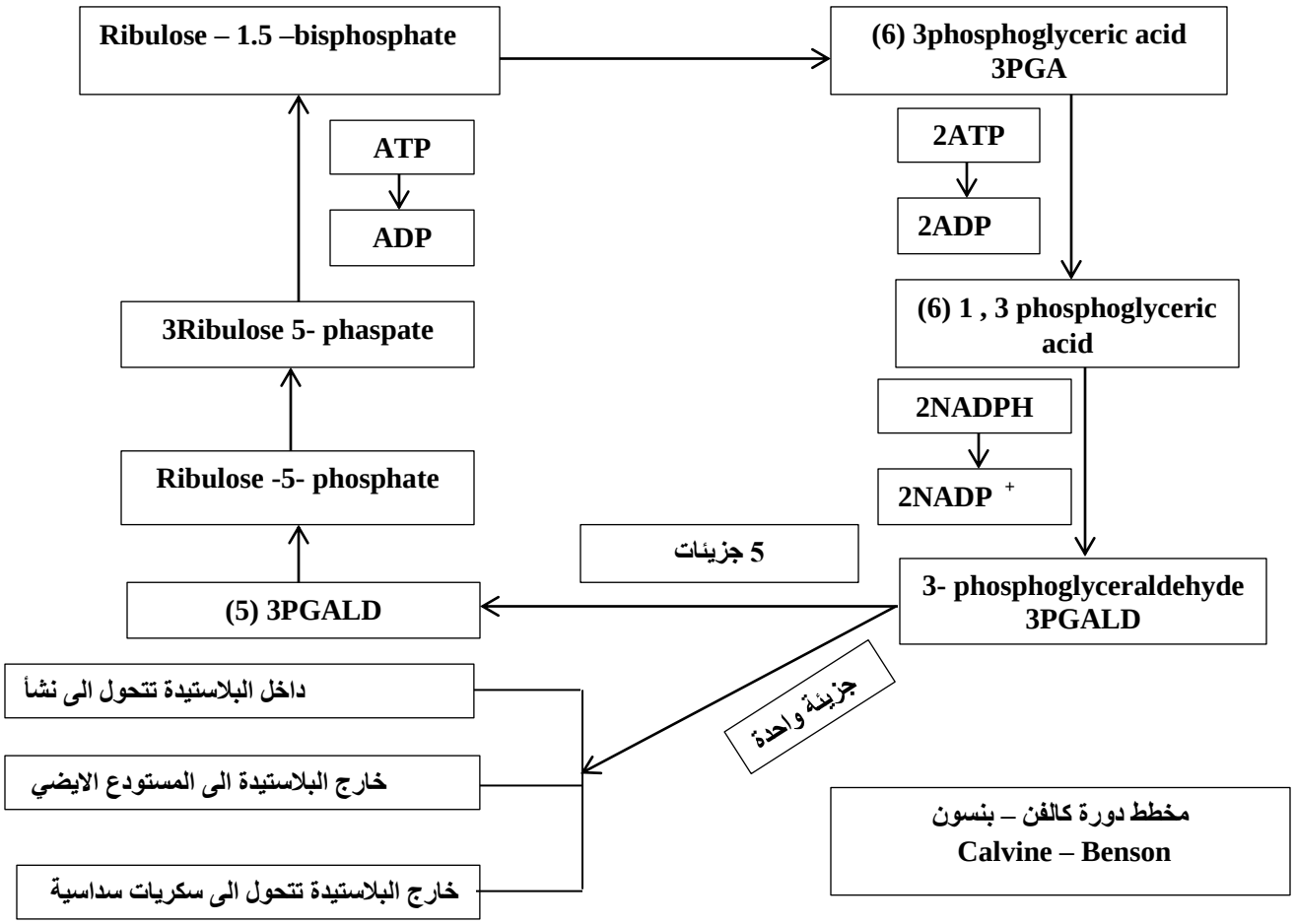
تعد هذه النظرية الاكثر قبولا وشيوعا في تفسيرها للفسفرة التاكسدية في المايتوكوندرات وقد افترض Michellفي سنة 1961 م ان ايونات الهيدروجين تتحرر بسرعة من المايتوكوندريا المتنفسة على حساب الطاقة التي تنطلق اثناء انتقال الالكترونات،اما في البلاستيدات النشيطة هناك تدرج في تركيز H^+ في اثناء عملية البناء الضوئي وينتج كل من ATP ,NADPHعلى جوانب الثايلاكويدات المواجهة للحشوة Stroma.

تفاعلات الظلام Dark Reactions: وهي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي تحدث في سترومااالبلاستيدة وتجري بمعزل عن تاثير الضوء ،حيث ان NADPHو ATP الناتجة من تفاعلات الضوء تستغل في اختزال ثاني اوكسيد الكاربون لتتكون الكاربوهيدرات وعملية الاختزال هي عملية بناء.

مسلك كالفن وبنسون Calvin –Benson استطاع كالفن ومساعده ان يرسموا المسلك الايضي لتمثيل CO_2 وكما هو موضح في الشكل فان كل جزيئا من RUBPيثبت جزيئا واحد من CO_2، وينتج جزيئتين من 3-PGA(-3 Phosphglyceric acid) ويتطلب تحويل جزيئين من حامض (3-PGA) الى حامض(1,3 - diPGA) diphosphglyceric acid

1,3- acid ويحتاج ذلك استهلاك جزيئتين من ATPياتيان من تفاعلات الضوء ومن ثم ينتج جزيئتين من 3-Phosphoglyceraldehydeويتطلب هذا التفاعل جزئتين من NADPHتنتج من التفاعل الضوئي لذا فان تثبيت واختزال جزئ واحد من CO_2يتطلب ثلاث جزيئات من من NADPHوهي تاتي من التفاعلات الضوئية وبذلك فان انتاج 6 جزيئات من 3-Phosphoglyceraldehydeيؤدي الى استهلاك 9 جزيئات من ATPو6 جزيئات من NADPHو3 جزيئات من CO_2 وان جزئ واحد من الجزيئات الستة ل 3-Phosphoglyceraldehydeيذهب الى التجمعات الايضية بوصفه نتاج صافي للطاقة ومادة خام للنظام الايضي .اما الجزيئات الخمسة المتبقية فيحدث لها

تحولات داخلية تؤدي الى انتاج سكريات مفسفرة تعمل على بناء ثلاث جزئيات من سكر Ribulose -5- phosphateوهذا الاخير يتفاعل ليعطي RUBPوهو الذي يستقبل CO_2 لتبدا الدوره من جديد وان النباتات التي تستخدم RUBPمستقبلا اوليا لco_2 والذي يؤدي الى تكوين المركب الثلاثي الكربون 3PGAتسمى نباتات C_3.



1- تحدث في نبات C3
2- نباتات C3 لا تحتوي على تشريح الكرانز
3- المستقبل الاول لـ CO2 ,هو RUBP
4- اول مركب يتم فيه تثبيت CO2 ,هو 3PAG
5- الانزيم المسيطر في هذه الدورة RUBP carboxylase
6- المستويات العالية من O2 تثبط البناء الضوئي
7- التنفس الضوئي في نباتات C3 عالي
8- يوجد نوع واحد من البلاستيدات
9- التنفس الضوئي عالي
10- النتح عالي
11-نقطة التعويض الضوئي عالية

نباتات C_4 وتثبيت CO_2(مسلك هاج- سلاك): توصل العلمانان حامض الاوكزالوخليك المشع غير المستقر نسبيا بوصفه مسار جديد لتثبيت CO_2 عن طريق كربكسلة PEP(phosphoenolpyruvic acid) بواسطة انزيم (carboxylation of PEP).

ان نواتج هذه الدورة رباعية الكاربون (حامض الاوكزا لوخليك ،والماليك والاسبرتيك لذا تسمى النباتات التي يحدث فيها هذا المسلك بنبات C_4، ان تشريح اوراق نباتات C_4يحمل ملامح او مميزات تدل على ايض المركبات رباعية الكربون C_4وان هذه الاوراق لاتشبه تشريحيا اوراق نباتات C_3 والتي تثبت CO_2عن طريق مسلك كالفن وبنسون ، وتتميز اوراق نباتات C_4 بوجود غمد (غلاف) Sheathفي الخلايا الحشوية paranchyma cellsالمرتبةشعاعيا حول كل حزمة وعائية Vascular bundleثم تحاط الحزمة الوعائية والغمد بخلايا النسيج المتوسط المفككة (الاسفنجية)وهذا الترتيب المحكم لغلاف (غمد) الحزمة الوعائية يسمى بتشريح الضفيرة kranz anatomy او الاكليل wreethوهذ الترتيب يعد من الخصائص التشريحة لنباتات C_4 مثل قصب السكر والذرة البيضاء والذرة .

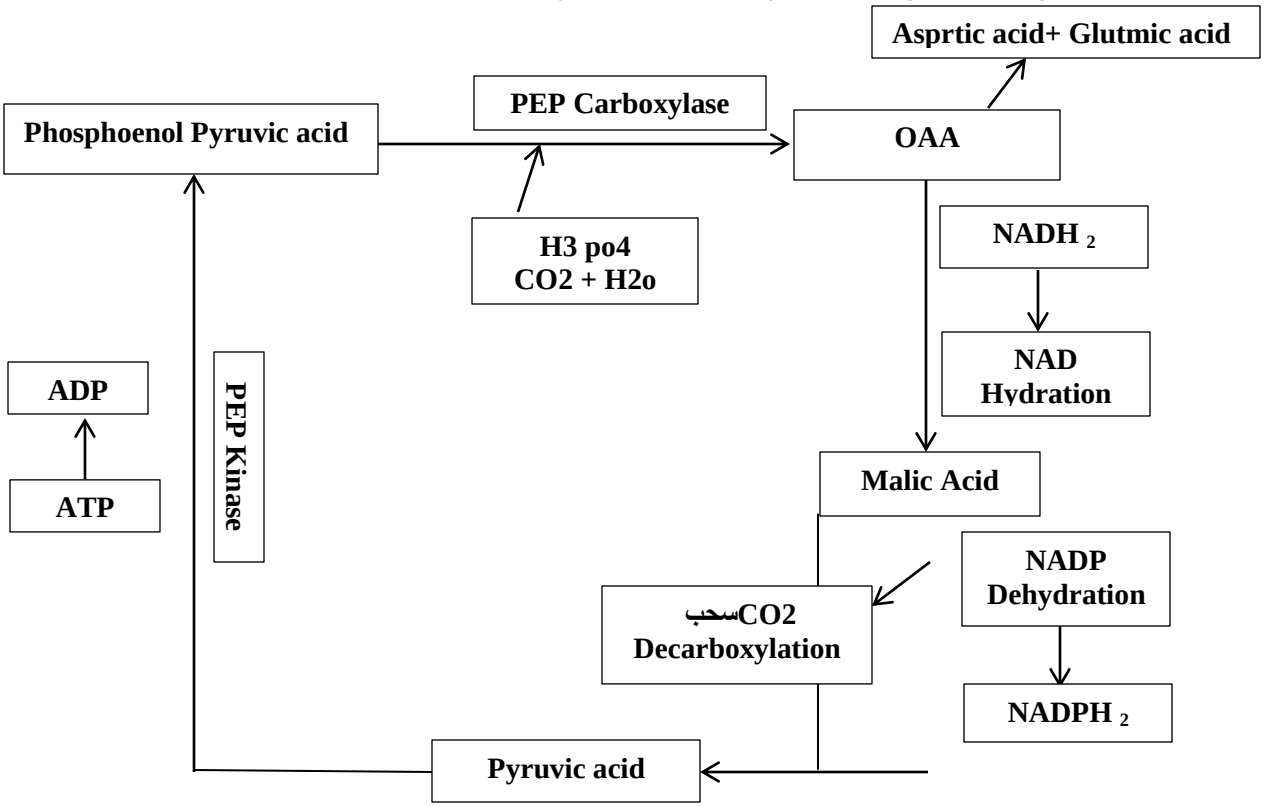
ان خلايا اوراق نباتات C_4 تحتوي على نوعين من البلاستيدات الخضراء ففي داخل خلايا غمد الحزمة bundle sheath توجد بلاستيدات خضر كبيرة الحجم عديمة الكرانا وتحتوي على الكثير من حبيبات النشا .

اما خلايا النسيج المتوسط في الورقة فتحتوي على بلاستيدات خضر اصغر حجما وتحتوي على كرانا ولا يتراكم فيها النشا .

تظهر خلايا النسيج المتوسط لنباتات C_4نشاطا عاليا لانزيم phosphoenolpyruvat(PEP)Carboxylase الذي يسرع تثبيت CO_2 وPEPلتكوين Oxaloacetic ,acid.

اما خلايا غمد الحزمة تظهر نشاط عالي لانزيم RUBP والانزيمات الاخرى الخاصة بدورة كالفن وبنسون وان اوراق نباتات C_4مقسمة الى اقسام متخصصة كل قسم له عمل خاص بتثبيت CO_2 ان البلاستيدات الخضر للنسيج المتوسط تقوم بتثبيت CO_2 في الاحماض رباعية الكاربون عن طريق مسلك هاج –سلاك بينما تقوم البلاستيدات الخضر لغمد الحزمة بتكوين السكريات المفسفرة والنشا .

المخطط التالي يوضح مسلك هاج – سلاك (Hatch – Stack)



رسم تخطيطي يوضح مسلك هاج سلاك Hatch – Slack

1- يحدث في نباتات C4

2- تحتوي نباتات C4 على تشريح كرانز

3- المستقبل الاولي لـ CO2 هو PEP

4- اول مركب يتم فيه نثبيت CO2 هو OAA

5- الانزيم المسيطر في هذه الدورة PEP Carboxylase و RUBP Carboxylase

6- المستويات العالية لـ O2 لاتثبط البناء الضوئي

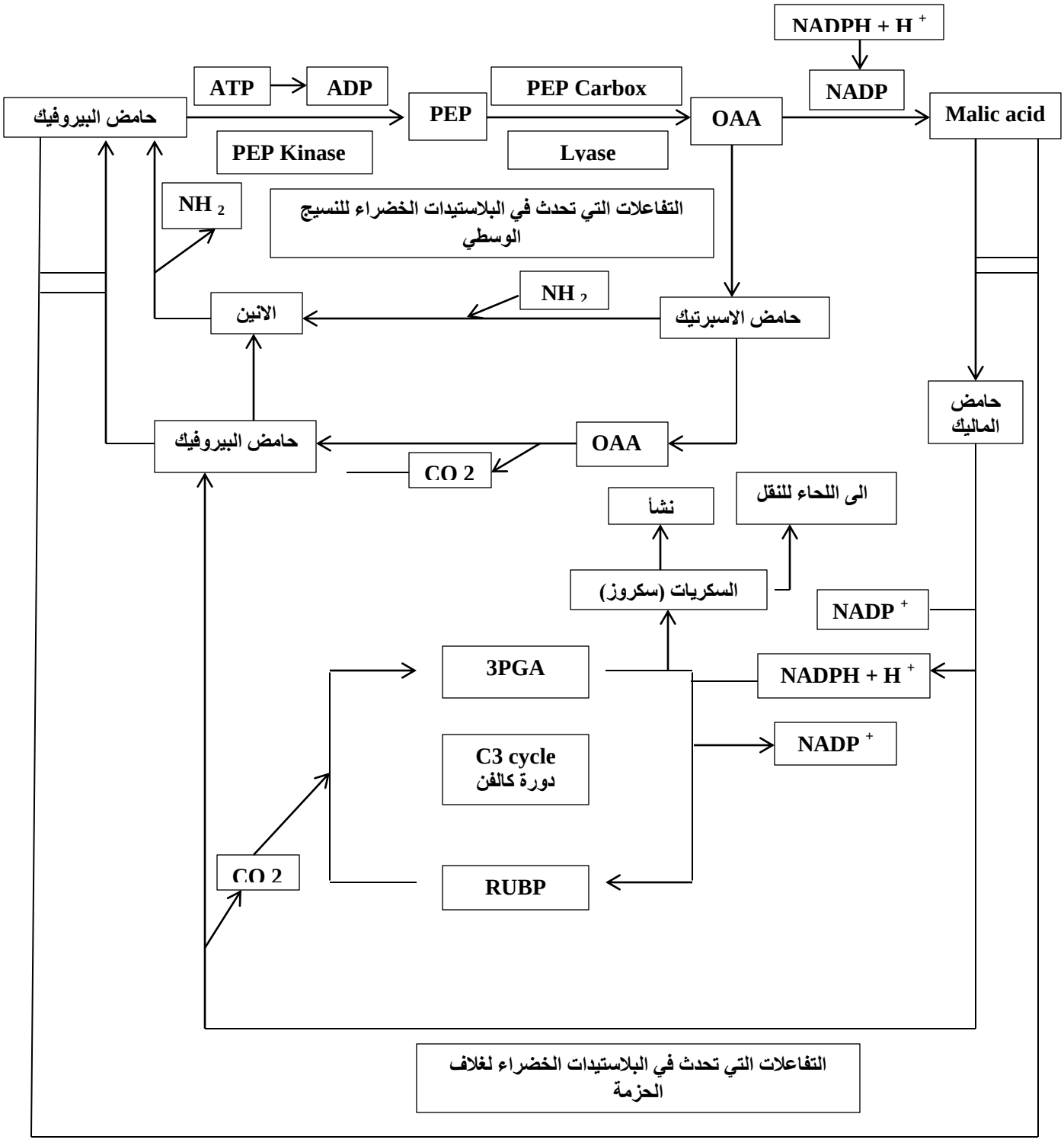
7- التنفس الضوئي في نباتات C4 واطئ

8- توجد نوعين من البلاستيدات في نباتات C4

9- التنفس الضوئي واطي

10-النتح واطي

11-نقطة التعويض الضوئي منخفضه



للبناء الضوئي يعتمد على انتاج حامض الماليك او انتاج C4مخطط يوضح مسارين لدورة حامض الاسبرتيك

ايض حامض الكراسيولايسين (CAM)Crassulacean Acid Metabolism

النباتات العصارية هي نباتات C_4 وتثبت CO_2 في حامض الماليك وان هذه النباتات لا تمتلك التركيب التشريحي الخاص بنباتات C_4 Kranz anatomyوان هذه النباتات تثبت ثاني اوكسيد الكاربون في اثناء الليل لان ثغورها تفتح في اثناء الليل وتغلق في اثناء النهار وهذا يساعدها على العيش والبقاء في الصحراء والمناطق القاحلة ،كما اوضح Laetschان نسبة المساحة السطحية الى الحجم تكون منخفضة في النباتات وتعد هذه صفة تركيبية مهمة للاحتفاظ بالماء ،ان تثبيت تاني اوكسيد الكاربون يحدث في الظلام حيث تحدث الحموضة(acidification) في الليل بينما تتكون الكربوهيدرات في اثناء النهار (التخلص من الحموضة deacidfication).

1- لا يوجد تشريح كرانز
2- المستقبل الاولي ل co_2هو PEP
3- اول مركب يتم فيه تثبيت CO_2هو OAA
4- انزيم الكاربوكسليز هو PEPaseوRUBP ase
5- االتراكيز العالية من الاوكسجين لا تثبط البناء الضوئي لا ن الثغور مغلقة .
6- انواع البلاستيدات الموجودة غير معروفة
7- التنفس الضوئي واطي جدا
8- نقطة التعويض الضوئي منخفضة

العوامل المؤثرة في البناء الضوئي Factors Affecting Photosynthesis :

يتاثر البناء الضوئي مثل اي عملية فيزيوكيمائية اخرى بظروف المحيط .

1- الضوءlight: ان الضوء المرئي محصور بين 390-790 nmوعلى الرغم من يستخدم الضوء الاحمر والازرق تظهر الورقة باللون الاخضر لان معظم الضوء المنعكس يكون في المنطقة الخضراء وان الورقة تمتص حوالي 14%من الضوء ولكن مايستخدم 3%فقط منه، وهناك علاقة مباشرة بين معدل البناء الضوئي وشدة الاضاءة بازدياد شدة الضوء ,فان معدل البناء الضوئي ينخفض بسبب بعض العوامل المحددة الاخرى و ان معدل البناء الضوئي يبقى ثابتا اذا ماوصل الى نقطة الاشباع .
ان حوالي 90-95%من الضوء الممتص من قبل الورقة يفقد بشكل حرارة والباقي يستخدم للتفاعلات الضوئية الكيماوية وبهذا فان النباتات تختلف في مابينها في حاجتها الى الطاقة الاشعاعية اللازمة لموازنة البناء الضوئي مع التنفس ,وتسمى شدة الضوء التي يكون فيها CO_2 المستعمل في البناء الضوئي مساويا ل CO_2 المتحرر في التفس بنقطة التعويض الضوئي Light compensation pointوتختلف نقطة التعويض الضوئي باختلاف انواع النباتات ويجب ان يتجاوز النبات هذه النقطة لكي يقاوم وينمو ويكبر .
نباتات C_3 تختلف عن نباتات C_4 وان كفاءة البناء الضوئي في نباتات C_4لها علاقة بنقطة التشبع الضوئية العالية لهذه النباتات وهي النسبة الحجمية بين مركز التفاعل وبين الكفاءة الضوئية او مايسمى بحجم وحدة البناء

الضوئي Photosynthetic unit sizeحيث يكون حجم وحدة البناء الضوئي صغيرا في نباتات C_4 ونباتات الشمس، لكنه يكون كبيرا في نباتات C_3 ونباتات الظل .

2- الاوكسجين :

اشار عالم الحياتية الالماني الشهير واربراغ Warburg بان الاوكسجين يثبط عملية البناء الضوئي بالمستويات العالية،وان التفس في الضوء light respirationمشابها للتنفس الهوائي الذي يحدث في كثير من النباتات والذي يتميز باستهلاك الاوكسجين وتحرير ثاني اوكسيد الكاربون لكن في التنفس الضوئي لا يحصل تحرير طاقة (لايتكون ATP)وقد اطلق على هذا الشكل من التنفس بالتفس الضوئي Photorespiration،وان تعرض النبات للشدة العالية للضوء والتركيز العالي للاوكسجين ودرجات الحرارة العالية ،فان خلايا الميزوفيل في اوراق نباتات C_3 تبدي معدلات عالية من التفس الضوئي في حين تبدي C_4معدلات واطئة لعملية التفس الضوئي ،وتحدث عملية البناءالضوئي في ثلاث عضيات هي البلاستيدات الخضراء Chloroplastsوالبيروكسيسومات peroxisomes والمايتوكوندريا mitochondria، ويعتبر التنفس الضوئي عملية بنائية غير منتجة لان الكاربون يستخدم لاعادة بناء مركب RUBP ولا يحصل بناء الكاربوهيدرات يستفاد منها للتنفس او الخزن ،وعند الشدة الضوئية العالية نسبيا فان البناء الضوئي في نباتات C_3 يكون مشبعا ،لان معدل البناء الضوئي يكون مساويا لمعدل تثبيت CO_2اما عند الشدة الضوئية الاعلى يصبح التنفس الضوئي هو السائد او المتغلب يرافقه خسارة محسوسة في تثبيت CO_2.

3- ثاني اوكسيد الكاربون CO_2:

تعتبر عملية فتح وغلق الثغور عامل مهم جدا في توفير CO_2 الى الاوراق اكثر اهمية في تنظيم دخول O_2 حيث ان O_2 له القابلية على اختراق طبقة الكيوتكل المحيطة بالاوراق بسهولة ،بينما يعاق نفاذ CO_2 خلال هذه الطبقة وبذلك فان فتح وغلق الثغور لها تاثير مهم في تنظيم فعالية البناء الضوئي ،خاصة في نباتات C_3 التي تستهلكه وتدمجه مباشرة في مركباتها الوسطية وهي السكريات ،وهناك علاقة بين تركيز CO_2 وبين معدل البناء الضوئي وقد لاحظ العلماء زيادة في معدل البناء الضوئي عند زيادة تركيز CO_2 تحت ثلاث شدات اضاءة مختلفة ،فعند تركيز منخفض معين من CO_2 وشدة اضاءة ملائمة يكون معدل البناء الضوئي لنبات معين مساويا للكمية الكلية التنفس (التنفس الحقيقي +التنفس الضوئي)ويطلق على تركيز CO_2في الجو الذي يجعل عملية البناء الضوئي تعوض عن عملية التنفس بنقطة تعويض CO_2 (CO_2Compensation point)

4- درجة الحرارة :تؤدي زيادة درجة الحرارة الى زيادة في البناء الضوئي عندما تكون العوامل الاخرى غير محددة وتكون هذه الزيادة في البناء الضوئي ذات علاقة خطية عند درجات الحرارة الواطئة ثم يبدا معدل البناء الضوئي بالانخفاض كلما زادت درجة الحرارة واخيرا يصل الى درجة الحرارة المثلى عندما تكون درجة الحرارة اعلى من درجة الحرارة المثلى يثبط البناء الضوئي ،وان تاثير درجة الحرارة العاليةعلى البناء الضوئي في نباتات C_3ترجع الى ان درجة الحرارة العالية تحفز عملية التنفس الضوئي وان تثبيط عملية تثبيت CO_2في نباتات C_3عند درجة حرارة بين 25م˚-30م˚اما في نباتات C_4 فان معدل البناء الضوئي يزداد بصورة طردية بزدايا‌د درجة 30م˚وفي بعض الاحيان فوق 35م˚لان التنفس الضوئي يكون واطئ في نباتات C_4،وان تاثير درجة الحرارة على معدل البناء الضوئي وذلك عن طريق تاثيره على التاثيرات الانزيمية .

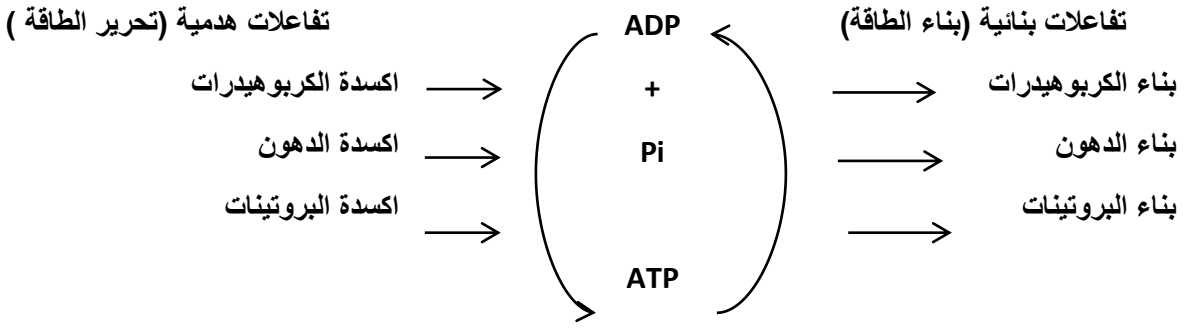
5- الماء :ان نقص الماء يثبط عملية البناء الضوئي كما يثبط باقي العمليات الحيوية الاخرى في النبات ،وان نمو النباتات في تربة تفتقرللماء يؤدي الى انخفاض معدلات البناء الضوئي وان غلق الثغور هو العامل الرئيسي لتثبيط البناء الضوئي في حالة نقص الماء .

التنفس والتحولات الداخلية الكيميائية Respiration and chemical interconversions

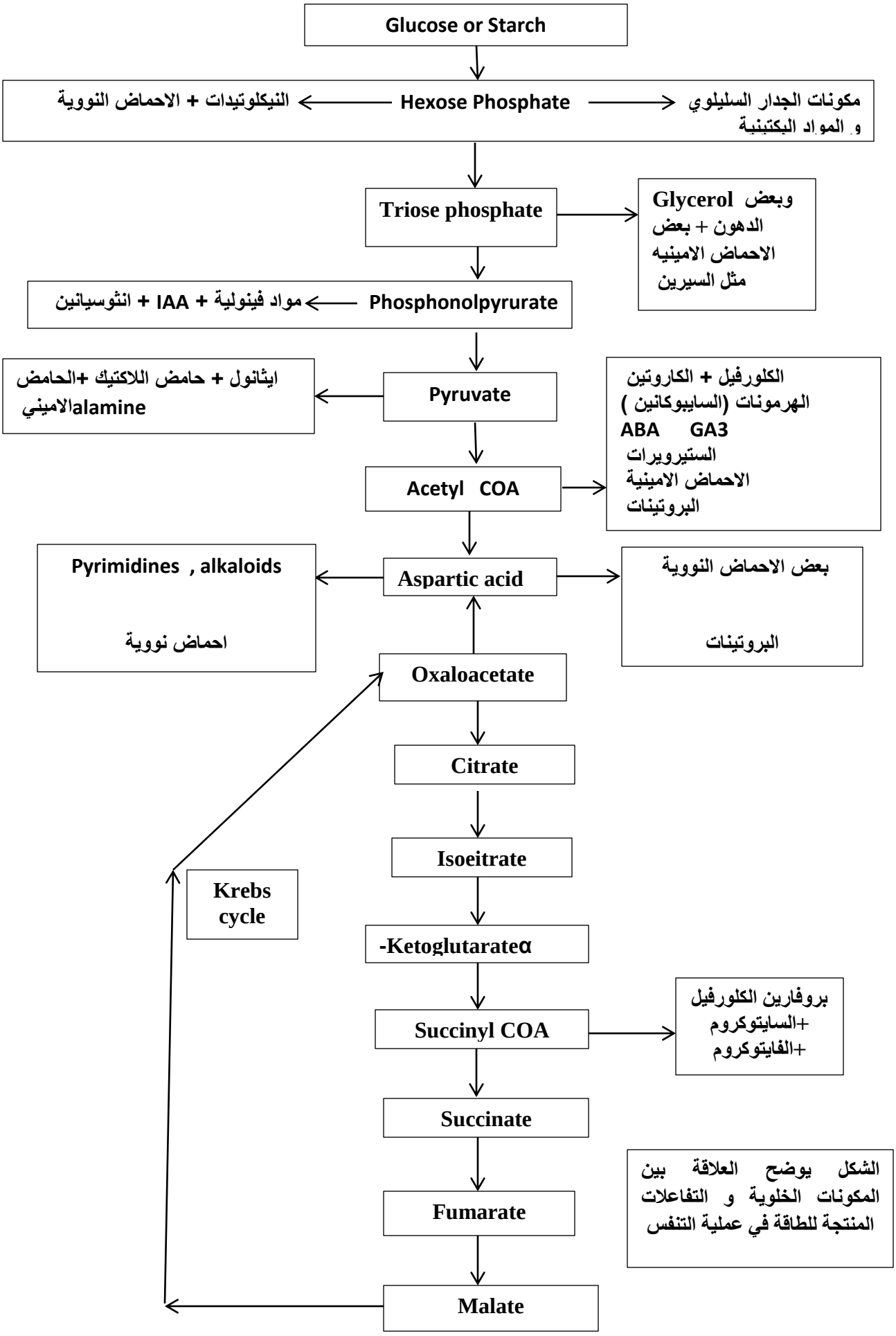
ان المركبات الكربوهيدرتية التي تنتج في عملية البناء الضوئي وهي ذات اهمية ايضية لنباتات اذ توصف بوصفها مواد بادئة في انتاج ATP والقوة الاختزالية بهيئة المرافق الانزيمي مثل NADHوNADPH وتسمى سلسلة تفاعلات الاكسدة والاختزال بعملية التنفس ويمكن تلخيص هذه العملية بالمعادلة

$$C_6H_{12}O_6+6O_2+38ADP+38PI \rightarrow 6CO_2+6H_2O+38ATP$$

جزيئة واحدة من الكلوكوز وست جزيئات من الاوكسجين الجزيئي وثمانية وثلاثون جزيئة من الفسفور غير العضوي (Pi) تعطي ست جزيئات من ثاني اوكسيد الكاربون وست جزيئات من الماء وثمانية وثلاثون جزئية من ATP. ادناه شكل يوضح نظرة عامة للعلاقة مابين المكونات الخلوية والتفاعلات المنتجة للطاقة في عملية التفس .



مخطط يوضح دور جزئ ATPكمركب وسيط ناقل للطاقة


Glucose or Starch
Hexose Phosphate
النيكلوتيدات + الاحماض النووية
مكونات الجدار السليلوي و المواد البكتينية
Triose phosphate
Glycerol وبعض الدهون + بعض الاحماض الامينيه مثل السيرين
Phosphonolpyrurate
مواد فينولية + IAA + انثوسيانين
Pyruvate
ايثانول + حامض اللاكتيك +الحامض الاميني alamine
Acetyl COA
الكلورفيل + الكاروتين
الهرمونات (السايبوكانين) ABA GA3
الستيرويرات
الاحماض الامينية
البروتينات
Aspartic acid
Pyrimidines , alkaloids
احماض نووية
بعض الاحماض النووية
البروتينات
Oxaloacetate
Citrate
Isoeitrate
Krebs cycle
-Ketoglutarateα
Succinyl COA
بروفارين الكلورفيل +السايتوكروم +الفايتوكروم
Succinate
Fumarate
Malate
الشكل يوضح العلاقة بين المكونات الخلوية و التفاعلات المنتجة للطاقة في عملية التنفس

ان التنفس هو تحرير الطاقة وسوف نستعمل مصطلحات هي Oxidationالاكسدة وهي تعني ازالة الالكترونات من المركب وهذه العملية يرافقها عادة ازالة هيدروجين والاختزال reduction يعني اضافة الالكترونات للمركب وهذه العملية يرافقها اضافة هيدروجين .

هناك نوعين من التنفس :

1- التنفس الهوائي : ويحدث بوجود الاوكسجين لاكسدة مادة التفاعل اكسدة تامة وتحويله الى ماء وثاني اوكسيد الكاربون وتحرر كمية كبيرة من الطاقة تخزن بشكل ATP.

يشمل التنفس الهوائي

1-مسلك امبدين – مايرهوف –بارناس Embden Myerof –parnas (EMP) او يسمى الانشطار السكري

يؤدي مسلك EMPالى تحويل جزئ كلوكوز الى جزئتين من حامض البايروفك وان عملية الانشطار السكري هي سلسة من التفاعلات التي تؤدي في النهاية الى تكوين البايروفيت وهذه التفاعلات تحدث في السايتوبلازم ولا تتطلب وجود الاوكسجين وهي تقسم الى مرحلتين رئيستين هما:

1- تحويل الكلوكوز الى Fructose -1,6-diphosphate

2- تجزئة المركب الاخير الى مركبين ثلاثي الكاربون يتحولان الى البايروفيت ،ويعد هذا المسلك الذي يشار اليه كذلك بمسلك الهكسوز ثنائي الفوسفات hexose diphosphate pathway

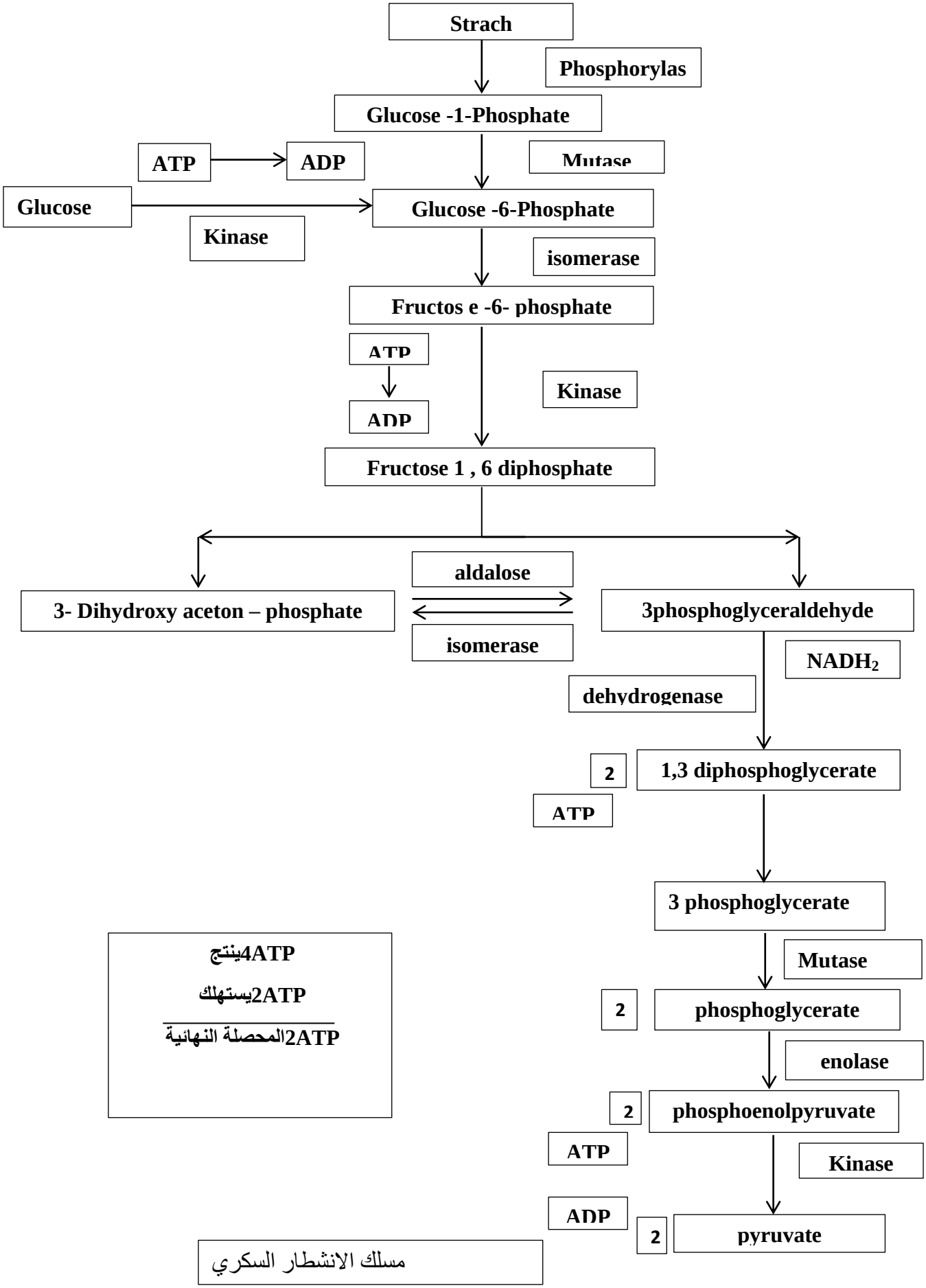
وهو يعد المسلك الرئيس الذي يتحول فيه الكلوكوز او المركبات الوسطية الى حامض البايروفك ويتكون فيه ATP,NADHويمكن تلخيص سلسلة التفاعل الكلي لمسلك EMP

$$1Glucose+4ADP+2ATP+2NAD\rightarrow 2Pyruvate+2ADP+2ATP+2NADH$$

ويكون تفاعل الاتزان كالاتي :

$$1Glucose+4ADP+2Pi+2ATP+2NAD\rightarrow 2Pyruvate+2ADP+2ATP+2NADH$$

في المرحلة الاولى التي تشمل تحول الكلوكوز الى fructose -1,6-diphosphate لايحدث كسب طاقة وان جزيئتان من ATPلكل جزئية كلوكوز تتفسفر ,لكن في المرحلة الثانية اي تحول fructose -1,6-diphosphate الى جزيئتين من البيروفات يؤدي الى تكوين اربع جزئيات من ATP وان تحول جزئية واحدة من الكلوكوز الى جزيئتين من البيروفات يعطي جزيئتين من ATPوجزيئين من NADH وان مسلك الانشطار السكري يعد ذا اهمية كبيرة في الكائنات الحية التي تتنفس هوائيا .


Strach
Phosphorylas
Glucose -1-Phosphate
ATP
ADP
Mutase
Glucose
Glucose -6-Phosphate
Kinase
isomerase
Fructos e -6- phosphate
ATP
ADP
Kinase
Fructose 1 , 6 diphosphate
aldalose
3- Dihydroxy aceton – phosphate
3phosphoglyceraldehyde
isomerase
NADH2
dehydrogenase
2
1,3 diphosphoglycerate
ATP
3 phosphoglycerate
Mutase
2
phosphoglycerate
enolase
2
phosphoenolpyruvate
ATP
Kinase
ADP
2
pyruvate
4ATPينتج
2ATPيستهلك
2ATPالمحصلة النهائية
مسلك الانشطار السكري

عمل الانزيمات :

- Phosphorylase يحول النشأ الى Glucose
- Enolase يطرح H_2O
- Dehydrogenase يزيح H و يكون $NADH_2$
- Kinase يحول ATP الى ADD و بالعكس
- Mutase يغير الموقع
- Isomerase يغير من مادة الى اخرى

تكوين خلات المرافق الانزيمي Formation of acetyl Coenzyme

ان عملية تحويل الكربوهيدرات تحت الظروف اللاهوائية عبر مسلك EMPتنتهي بتكوين حامض البايروفك لذا يمثل انتاج البيروفيت نهاية مسلك الانشطار السكري ,عند توفر الاوكسجين الكافي تحدث لحامض البايروفك عملية اكسدة ونزع مجموعة كربوكسيل لتكوين خلات المرافق الانزيمي acetylcoenzymeA.

ويمكن تلخيص الخطوات التي يتكون فيها بهذه المعادلة

$$Pyruvate + COA + NAD^- \rightarrow AcetylCoA + Co_2 + NADH + H^+$$

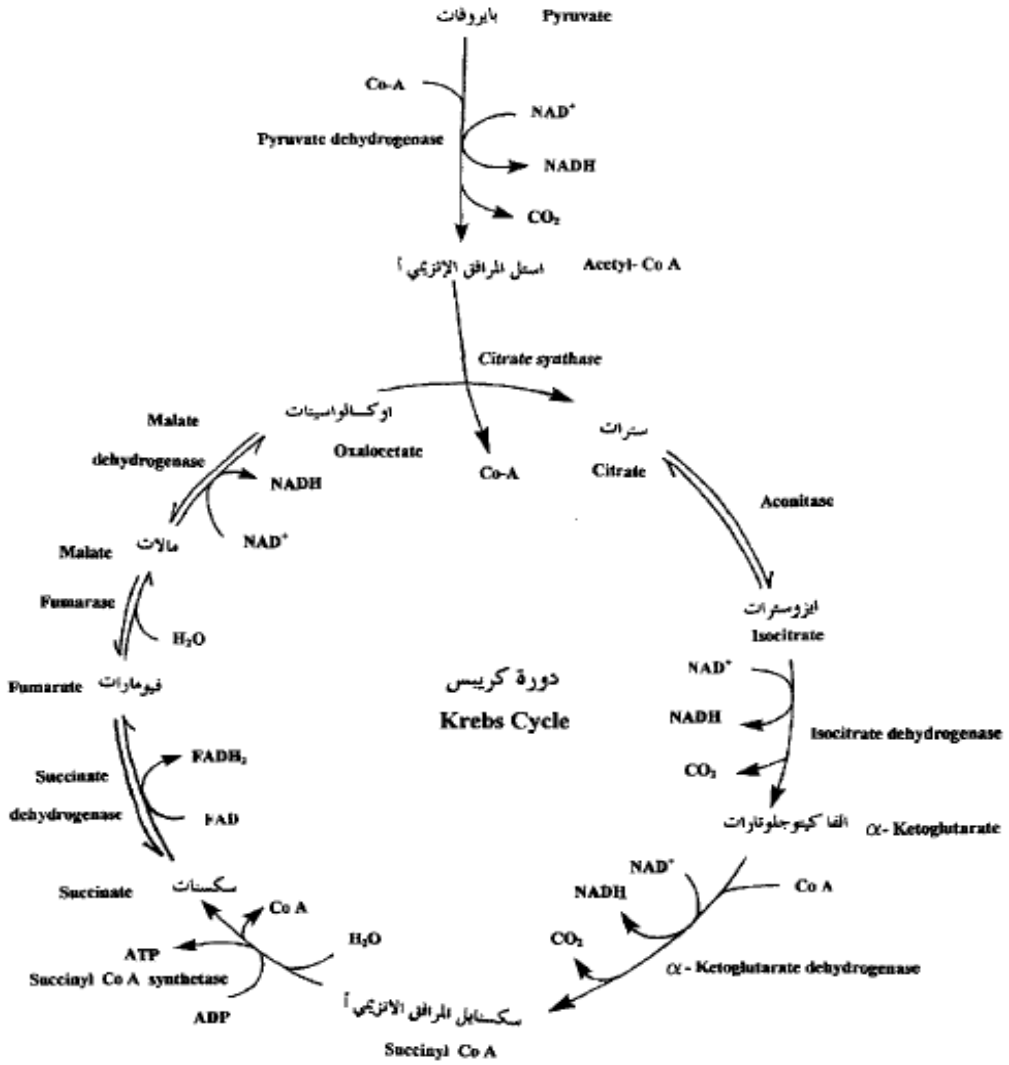
دورة كربس (دورة حامض الستريك او دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيلي)

بعد تكوين المرافق الانزيمي AcetylCoAالذي يعد الوصلة الرابطة بين الانشطار السكري ودورة كربس سميت بهذا الاسم بسبب الطريقة الدائرية التي يعاد فيها تجديد تكوين مركب البدء وهو Oxaloacetateوسميت بدورة كربس نسبة الى عالم الكيمياء الحياتية الانكليزي krebsالذي لعب دورا رئيسا في اكتشافها وعن طريق دورة كربس ونظام نقل الالكتروني ETSيتم اكسدة البايروفيت الى H_2OوCO_2 وان الاكسدة التامة للكلوكوز الى ماء وثاني اوكسيد الكاربون تحدث في عملية الانشطار السكري ودورة كربس ونظام النقل الالكتروني حيث هناك ارتباط بين دورة كربس ونظام النقل الالكتروني ,وان الاكسدة التي تتم خلال دورة كربس تؤدي الى تكوين 24جزيئة من ATPلذلك تعد دورة كربس اكثر فعالية في تحرير الطاقة مقارنة بالانشطار السكري او التخمر وان تفاعلات دورة كربس ونظام النقل الالكتروني تتطلب وجود O_2 وتحدث في المايتوكندريا .

التفاعل الاول في دورة كربس يتضمن تكثيف ال acetylCOA مع Oxaloacetate لتكوين حامض الستريك cirtic acidوتحرير COA هذا التفاعل يحفز بوساطة انزيم مكثف هي تحويل حامض رباعي الكاربون ثنائي الكربوكسيل الى حامض سداسي الكاربون ثلاثي الكربوكسيل ،ومن خلال سلسلة من التفاعلات المتضمنة اربع مراحل تاكسدية واستعمال ثلاث جزيئات ،جزي واحد من الثلاثة يستعمل في تفاعل التكثيف يتجدد بناء حامض اوكزالوخليك من حامض الستريك وفي خلال هذه العملية يتحرر جزيئان من co_2 وثماني ذرات H .

وبوجود انزيم ازاحة الهيدروجين من حامض isocitric acid يتحول الى α-ketoglutarateالذي يعد مركبا اساسيا لا غنى عنه في ايض النبات ,وهو يلعب دورا مهما في بناء وانحلال الحوامض الامينية فضلا عن اشتراكه في ايض الكربوهيدرات والدهون ومن ثم يتحول الى Succinyl coAوبوجود انزيم Kinanseيتحول الى succinate وتكوين GTP(ATP)(ثلاثي فوسفات الكوانوسين ثم يتاكسد حامض Succinateالى fumarate وتتكون FAD بعد ازالة H_2ثم تكوين الماليت Malate,بوجود انزيم ferriflavoprotein succinate dehy

وتكوين $NADH_2$ ويتم بعدها اعادة الدورة من جديد



مخطط يوضح دورة كريبس (TCA cycle)

نواتج دورة كريبس	
$4NADH_{22}$	**CO3**
1 $FADH_2$	**1 GTP = 1ATP**

اهمية دورة كريبس

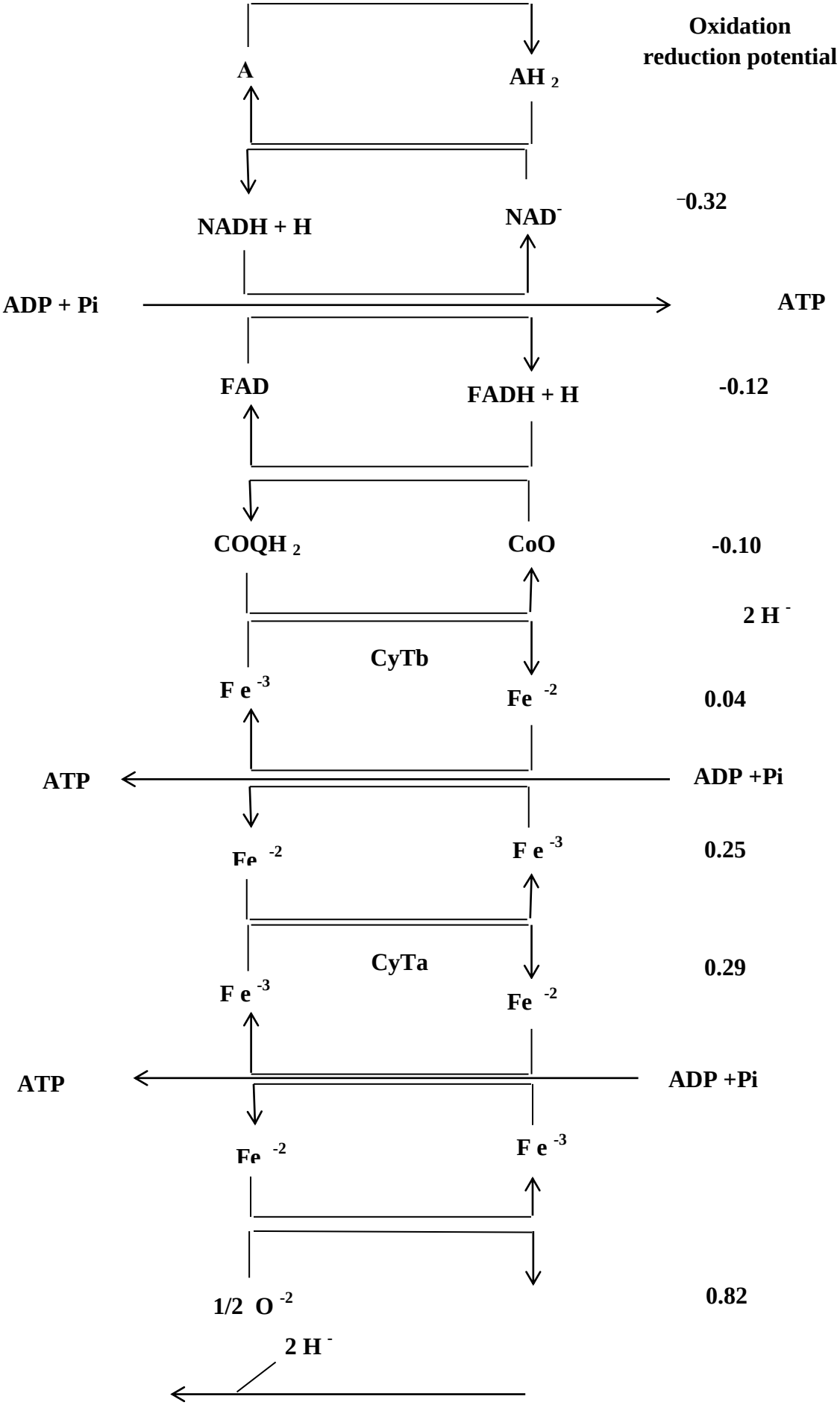
1- يتكون فيها **$4NADH_2$ و 1 $FADH_2$**
2- تكون فيها مركبات الطاقة مثل GTP
3- تتكون كل المركبات المهمه الاساسية التي تدخل في تكوين المركبات المهمه في النبات .

نظام النقل الالكتروني والفسفرة

Electron Transport System and Phosphorylation

سريان الالكترون خلال ETSبستعمال الاوكسجين كمستقبل نهائي يعرف بالفسفرة التاكسدية Oxidative phosphorylationوهذه العملية تحدث في المايتوكوندريا ، وان نظام النقل الالكتروني يتالف من سلسلة من الحوامل هي NAD,FADوالمرافق الانزيمي COQوالسايتوكرومات (cytb,c,a and a_3 وان الشي الاكثر اهمية للنباتات الحية ان كل خطوة من خطوات هذا النظام تقل في مستوى طاقتها عن الخطوة السابقة بعبارة اخرى ان الالكترون يسري من

مستوى عال للطاقة الى مستوى اقل للطاقة ,لذلك في كل خطوة من خطوات النظام تقل طاقة الالكترون عن الخطوة السابقة وان الفرق بالطاقة يحول الى طاقة مخزونة في رابطة الفسفور عن طريق تحويل مركب ADPالى ATPوان ايونات الهيدروجين تتحرر في حالة اكسدة المرافق الانزيمي المختزل COQوتلعب ايونات الهيدروجين المتحررة هذه دورا مهما في انتاج ATPوان الالكترونات تمر فقط عبر سلسلة السايتوكرومات ,وان كل زوج من الالكترونات يمر عبر نظام النقل الالكتروني يؤدي الى تكوين ثلاث جزيئات من ATPويحدث بناء جزيئات ATPعند اكسدة NADHوعند اكسدة زوج من سايتوكرومات cytbوعند اكسدة زوج من سايتوكروم cyta,وتمر الالكترونات من سايتوكروم a_3 الى الاوكسجين وبذلك ينشط الاوكسجين ويستقبل ايونات الهيدروجين الحرة ليكون الماء. الشكل ادناه يوضح نظام نقل الالكترون و قد دونت جهود الاكسدة و الاختزال لتوضيح القوة الاختزالية النسبة لكل مركب في النظام من بداية NADH حتى الاوكسجين الجزيئي .


Oxidation
reduction potential
A
AH 2
−0.32
NADH + H
NAD-
ADP + Pi
ATP
FAD
FADH + H
-0.12
COQH 2
CoO
-0.10
2 H -
CyTb
F e -3
Fe -2
0.04
ATP
ADP +Pi
Fe -2
F e -3
0.25
CyTa
0.29
F e -3
Fe -2
ATP
ADP +Pi
Fe -2
F e -3
0.82
1/2 O -2
2 H -

جدول يبين علاقة الطاقة الكلية بمسلك EMPودورة كريبس بالنسبة لاكسدة جزئ كلوكوز اكسدة تامة في وجود الاوكسجين

Pathway	NADH (3ATP)	FADH (2ATP)	ATP	Total ATP
EMP	2×3=6	0	2	8
Pyurvic acid toacetyle COA	2×3=6	0	0	6
Krebs cycle	6(3×2)×3=18	2×2=4	GTP2	24
	30	4	4	38

تتكون جزيتين من حامض البايروفيك لكل جزئ كلوكوز اي دورتين من دورة كريبس لكل جزئ كلوكوز .
كل $NADH_2$ تعطي 3ATP
كل $FADH_2$تعطي 2ATP
وتقدر قيمة الطاقة المخزونة في جزيئة ATPبحوالي 10 كيلو سعرة اي ان
10×38=380كيلو سعرة حرارية
673-380=293 كيلو سعرة تنفذ بشكل حرارة اي ان كفاءة التنفس الهوائي 40%.

التنفس الهوائي التخمر fermentation: يكون التفاعل الكلي للتخمر كالاتي

$C_6H_{12}O_2$--------→2CH2—CH2OH+2CO2
ايثانول

اي ان جزي واحد من الكلوكوز يتحول الى جزيئين من الايثانول وجزيئتين من CO2والتخمر عبارة عن سلسلة متتالية من التفاعلات التي تحدث في غياب الاوكسجين وهناك اختلاف بسيط فيما بين عملية التخمر وعملية الانشطار السكري وكما يحدث في الانشطار السكري يتحول الكلوكوز الى البيروفيت في اثناء عملية التخمر ولكن في عملية التخمر تتقدم التفاعلات خطوة اخرى الى الامام ويتحول البيروفيت الى الايثانول وغاز CO_2، او يتحول الى حامض اللاكتيك lactic acidاو الى احد الحوامض العضوية الاخرى تبعا لنوع الكائن الحي (مثلا انواع مختلفة من البكتريا)

Pyruvate-----→acetaldehyde-----→ethanol

وان الانزيمات التي تسرع خطوات تفاعل التخمر هما انزيم carboxylaseوانزيم alcohol dehydrogenaseوان عملية التخمر تكون مماثلة لعملية الانشطار السكري وان المحصلة النهائية لجزيئات ATPلكل جزئ كلوكوز يتخمر تكون جزيئين من ATPوان التخمر ليس بعملية طبيعية في تنفس النباتات فهو يحدث فقط تحت ظروف خاصة وان نواتج التخمر مثل الايثانول وحامض اللاكتيك تحتوي ايضا على كمية كبيرة من الطاقة الاان النبات لا يستفيد من هذه الطاقة غير المتحررة وهذا يعد دليلا على ان التنفس اللاهوائي عملية غير فعالة نسبا وان عدد جزئيات ATPالمتكونة في عملية التخمر هي 2 وعند ضرب 2*10=20كيلو سعرة وهي قيمة الطاقة في التنفس اللا هوائي وان التخمر هو الوسيلة الوحيدة والرئيسية لانتاج الطاقة في الخمائر وبعض الاحياء المجهرية لذلك تسمى بالكائنات اللاهوائية .

التنفس المقاوم للسيانيد – المسلك البديل Cyanid-resistant respiration –the alternative pathway

يبدو ان التنفس المقاوم لفعل السيانيد شائع في انسجة النباتات الراقية وتبعا لذلك ان المايتوكوندريا في مثل هذه الانسجة تكون كذلك مقاومة لفعل السيانيد وترجع هذه المقاومة الى نقطة فرعية (مسلك فرعي)branching point في نظام النقل الكتروني تسبق في موقعها حوامل السايتوكرومات الحساسة جدا لفعل السيانيد .اما في الانسجة النباتية التي تفتقر الى هذه

النقطة الفرعية او المسلك البديل ان السايند يوقف نشاط السايتوكرومات وبالتالي يثبط سريان الكترون ،ويتوقف نظام النقل الالكتروني بالكامل ونتيجة لذلك تثبط دورة كريبس ،وقد وجد الباحثين الي وجود ما يسمى انزيم الاوكسيديز البديل والمقاوم للسيانيد ،يحدث ا نتاج ATPفي الموقع الاول المرتبط بالمرافق NAD^+ويستمر التحويل الجزئي للطاقة مادامت تسري خلال المسلك البديل الى O_2 ويضمن هذا استمرار عمل دورة كريبس حتى لو كانت الطاقة منخفضة ،اما الاهمية الفسلجة للمسلك البديل فان له اهمية عند ذروة التنفس وتكون في اثناء نضج التمار ويؤدي هذا المسلك الى انتاج بيروكسيد الهيدروجين و superoxideوالذي يؤدي الى زيادة الاكسدة وتحطيم الاغشية وهي عملية ضرورية لنضج الثمار .

تحويلة (دورة)الهسكوز احادي الفوسفات Hexos Monophosphate Shunt(HMS) وتسمى دورة فرسفات البنتوز Pentose phosphate cycle او تسمى مسلك الاكسدة المباشر direct oxidation :pathwayوهو مسلك اخر يوجد في كثير من الكائنات تحدث في السايتوبلازم ويحتاج الى توفر الاوكسجين .

وفي هذا المسلك يحصل اختزال NADPالذي يشارك في تكوين حامض 6-Phosphogluconic acidوسكر ribulose-5-p،وان اكسدة جزئ واحد من الكلكوز اكسدة تامة الى H_2O co_2 عن طريق هذا المسلك الدائري (تحدث ست دورات لهذا المسلك حتى يتاكسد الكلوكوز)يتكون جزئ من NADPHبوجود انزيم Transhydrogenaseوان الهيدروجين الخاص بالمرافق NADPHينتقل الى NADفيكون NADPHوان تكوين جزئ من NADPH عن طريق هذه الدورة يؤدي في النهاية الى بناء 36 جزيئة من ATP.

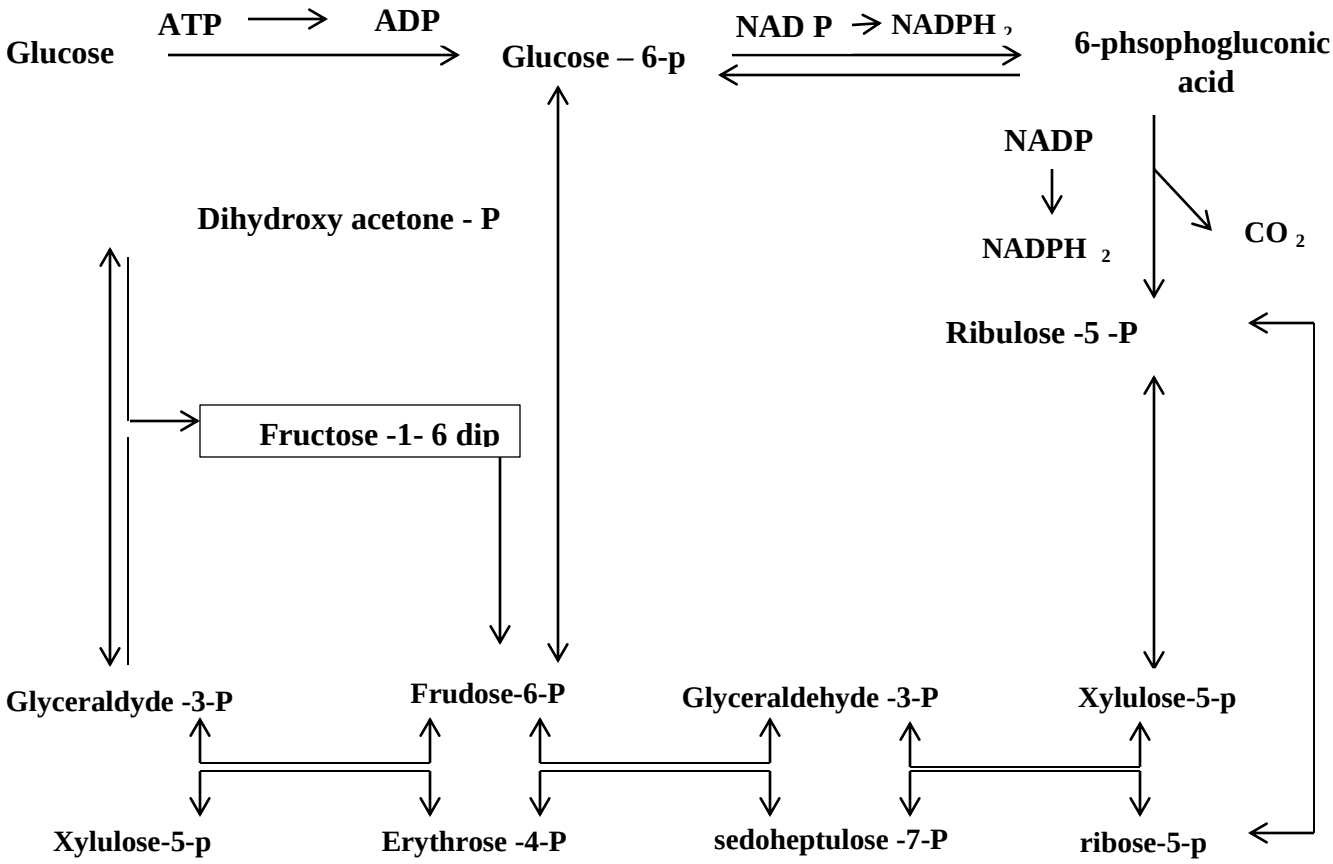
تتض

من هذه الدورة تفاعلين هما :

1- المرحلة التاكسدية الاولى:تبداء من اكسدة Glucose -6-phosphate وينتهي بتكوين -5- Ribulose phosphate يرافقه تكون $NADPH_2$وco_2.
2- وهي اعادة ترتيب الذرات فقط وتنتهي بتكوين glucose -6-phosphate وبصوره عامة يتم تكوين (12)جزيئة من $NADPH_2$ وستة جزيئات من CO_2لكل 6 جزيئات من Glucose -6- phosphate

اهمية هذا المسلك :

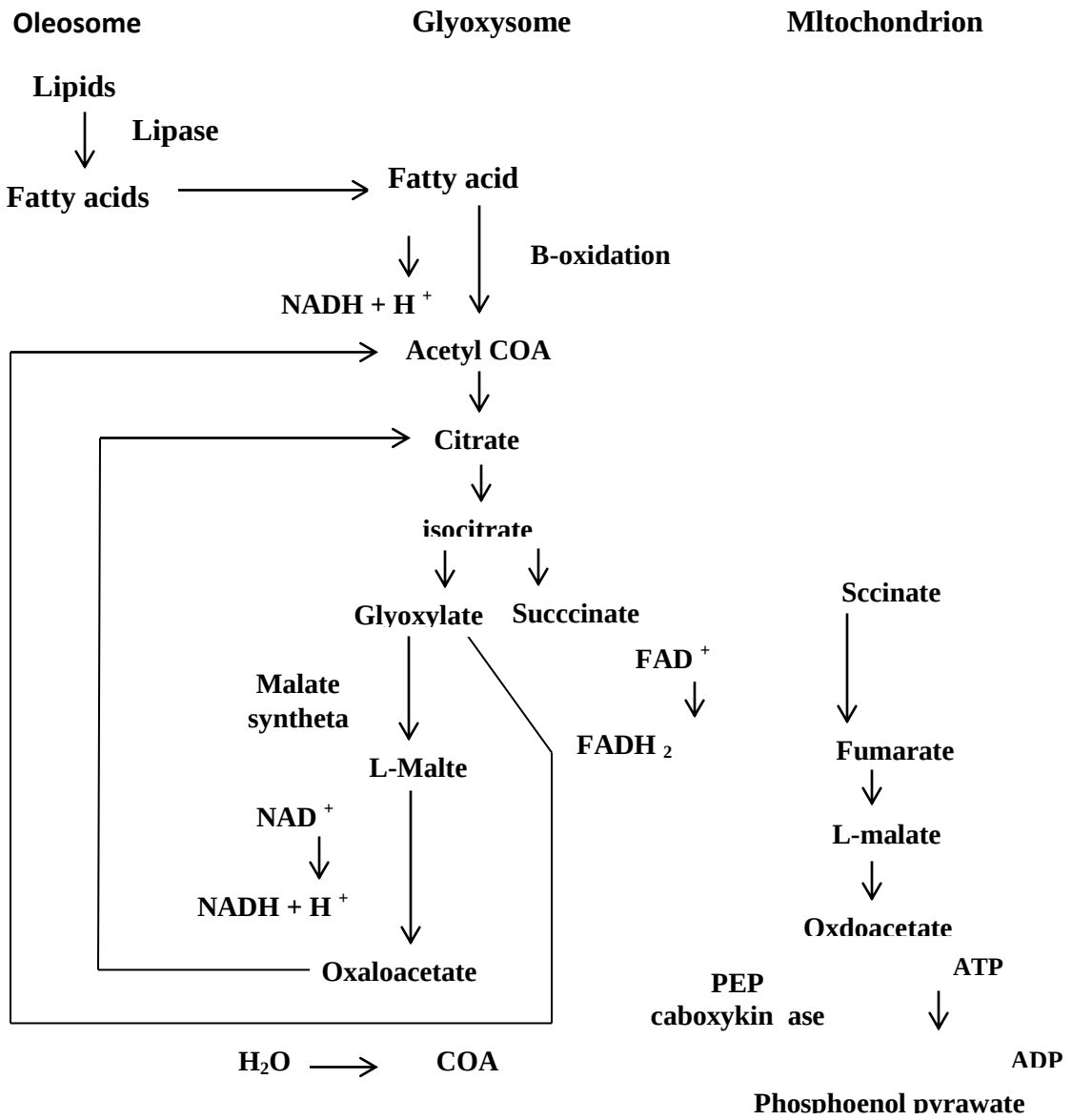
1- انتاج الطاقة ATP
2- انتاج المرافق المختزل $NADP^+$ وهو من القوى الاختزالية الضرورية لتفاعلات البناء .
3- يعد المسلك الرئيس لانتاج سكر الرايبوز riboseوسكر الرايبوز المنقوص الاوكسجين deoxyriboseالضروريان للبناء الحياتي للنيوكليوتيدات والاحماض النووية.
4- انتاج 36ATP
5- تكوين احماض امينة العطرية مثل Tryptophanالذي يعد الاصل لتكوين اندول حامض الخليك IAA.



دورة الكلايوكسليت Glyoxylate Cycle

ان البذور الغنية بالدهون المخزونة تحول هذه الدهون الى الكاربوهيدرات في اثناء الانبات ،اكتشفت في بكتريا *pseudomonas* وبعد ذلك اكتشفت تفاعلات وانزيمات β-oxidation للاحماض الدهنية وتحويل مجاميع الخلات في المرافق الانزيمي acetylcoA الى الكلايوكسليت والماليت وتحدث هذه العملية في اجسام دقيقة هي الكلايوكسيسومات Glyoxysomes وانها تحتوي على جميع الانزيمات اللازمة لاكسدة بيتا للاحماض الدهنية حتى acetyl coAوتحويل مجاميع الخلات الى حامض الماليت وحامض السكسينيت،ولا توجد هذه الدورة في البذور الخازنة للنشا ،وتتوقف هذه الدورة في البذور النابتة عندما يتم استهلاك احتياطي الدهون .

اهمية هذه الدورة :لانبات ونمو بادرات البذور الزيتية لانها تمدها في هذه المراحل بالكربوهيدرات المتمثلة من الليبيدات.



قياس التنفس :معامل التنفس

Measurement of Respiration :Respiratory Quotent

تتضمن اغلب الطرق المستخدمة لقياس معدل التنفس تقديرات كمية لغاز co_2 المنبعث او الاوكسجين المستهلك .ان احدى الطرائق البسيطة تتضمن امرار co_2 في محلول هيدروكسيد الباريوم Ba(OH)ووزن كربونات الباريوم المتكون ($Baco_3$) وعند قياس التنفس يجب قياس كلا من O_2 المستهلك وco_2المنبعث وتسمى النسبة بين co_2المنبعث وo_2المستهلك بمعامل التنفس Respiratory quotient(RQ)

فعند استعمال الكربوهيدرات في عملية التنفس فان معامل التنفس يساوي واحد ،اما حوامض دورة كربس فان معامل تنفسها يكون اكبر من واحد بينما المواد المختزلة نسبيا مثل الدهون تعطي معامل تنفس اقل من الواحد .

$$\mathbf{R.Q} = \frac{co\,2}{o2}$$

وقد درس معامل التفس في كثير من الخلايا والانسجة النباتية فمثلا في البذور الغنية بالكربوهيدرات كحبوب الحنطة والشعير يلاحظ ان

RQ=6/6=1

اما البذور الغنية بالدهون كبذور السمسم والكتان فان **RQ=18 / 25.5=0.71**

اما في الانسجة الخازنة للبروتينات كالباقلاء والفاصوليا فان**RQ=5/ 6=0.83**

وفي الانسجة الخازنة للاحماض الموكسدة مثل حوامض دورة كربس تكون**RQ=6 /4=1.3**

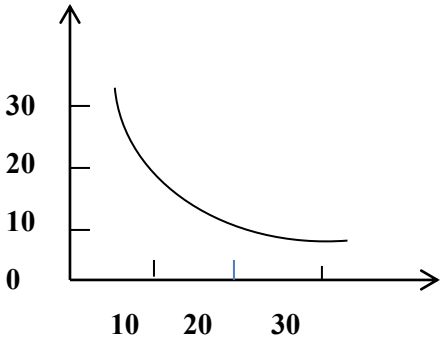
العوامل المؤثرة في معدل التنفس

Factors Affecting rate of respiration

درجة الحرارةTemperatur :كما هو الحال في كل التفاعلات الكيميائية فان التفاعلات الكيميائية للتنفس تكون حساسة للتغيرات في درجة الحرارة ولان تفاعلات التنفس تكون خاضعة لسيطرة الانزيمات ،لذافان المدى الحراري الذي تحدث فيه يكون منخفظا جدا وبرفع درجة الحرارة فان معدل التنفس يزداد حتى تصل درجة الحرارة الى المستوى المحطم للنشاط الانزيمي و اقصى معدل للتنفس يمكن الحصول عليه يكون في مجال حراري يقع بين 35-45م˚

الاوكسجين Oxygen:يعد الاوكسجين ضروريا لحدوث تفاعلات دورة كربس فضلا عن كونه المستقبل النهائي للالكترونات في نظام النقل الالكتروني (ETS)ان معدل التنفس يكون حساسا للتغيرات في تركيز O_2 عند التراكيز المنخفضة للاوكسجين فان كلا من التنفس الهوائي واللاهوائي يتوقع حدوثهما في النبات .

تاثير CO_2.ان زيادة تركيز CO_2 يثبط عملية التنفس ،وان هذا التاثير المثبط هو تاثير غير مباشر حيث ان زيادة CO_2 تسبب غلق الثغور وبذلك يتوقف التبادل الغازي وهذا يؤدي الى رفع التركيز الداخلي لco_2 ويحد بذلك من التنفس ،كما يوضح الشكل التالي تثبيط معدل التنفس بذور الخردل الابيض التي هي في طور الانبات كنتيجة لزيادة تركيز co_2.



الاملاح غير العضوية Inorganic Salts:

ان معدل التنفس يزداد اذا نقل النبات او النسيج من الماء الى المحلول الملحي وان كميه الزيادة في معدل التنفس يسمى بالتنفس الملحي Salt respiration.

التحفيز (الحث)الالي **Mechanical stimulation** : ان معدل تنفس الاوراق يزداد بلمس الاوراق باليد اوضربها او ثنيها ففي اوراق الكرز ربما تبلغ الزيادة في معدل التنفس بسبب اللمس باليد حوالي 18.3% وفي حالة تكرار المعاملة لمدة فان الزيادة في معدل التنفس تقل (بصفة عامةا ي تقل الاستجابة)

القطع (الجرح)wounding: ان جرح الاعضاء النباتية يحفز التنفس وان الجروح تسبب حدوث نشاط مرستيمي في منطقة القطع وتكون النتيجة هي تكوين كالس الجروح.

انتقال المواد الذائبة **Translocation of solutes**

انتقال السكريات Translocation of sugars

تشريح انسجة اللحاء Anatomy of phloem Tissue

يتكون نسيج الحاء بصفة اساسية من:

ا- وحدات (عناصر)الانبوب المنخلي Sieve tube elements

2-الخلايا المرافقة Companion cell

وتصاحب الخلايا المرافقة عادة وحدات الانبوب المنخلي في نباتات مغطاه البذور،اما المخروطيات فهناك نوع مماثل في الخلايا ترافق وحدات الانبوب المنخلي تعرف بالخلايا الالبومينية albominous cells بالاضافة الى هذه الانواع من الخلايا توجدايضا الياف اللحاء phloem fibersوالخلايا المتصالبة Sclereids والخلاياالشعاعية ray cells.

المواد التي تنقل في اللحاء Substances Translocated in phloem

1- الكربوهيدرات Carbohydrades

الكربوهيدرات تشكل القسم الاكبر من المواد التي تنقل خلال اللحاء وان السكروز Sucrose يمثل القسم الاكبر من المواد التي تنقل في اللحاء بالاضافة الى السكروز فان بعض انواع النباتات تنقل بعض السكريات المضاعفة مثل الرافينوز raffinose،كما لاحظ بعض الباحثون وجود بعض السكريات الكحولية مثل المانتول mannitol،اما السكريات السداسية لا تنقل خلال اللحاء وان سكر الكلوكوز والفركتوز الموجود في الخلايا غير الناقلة لنسيج اللحاء تكونا نتيجة تحلل السكروز والسكريات الاخرى.

2- المركبات النايتروجينية Nitrogenous compounds

تنقل الاحماض الامينية والاميدات amides من الاوراق والازهار المسنة الى المناطق الفتية للنبات ،مثل حامض الكلوتاميك glutamic acid والاسباريتك, aspartic acidوالسيرين Serineوغيرها.

3- مواد اخرى كالاوكسينات والفيتامينات ومنظمات النمو الاخرى ذات الاهمية البالغة في حياة النبات

الخصائص العامة للنقل اللحائي

اتجاه الحركة Direction of Movement

ا- الحركة الثنائية الاتجاه Bidirectional movment

تكون حركة المواد العضوية في النبات باتجاهين –اي ان المواد تنقل في الساق باتجاهين متضادين في ان واحد المواد المتكونه في عملية البناء الضوئي والخارجة من الاوراق تنقل باتجاه الجذور ،او قد تنقل نحو مناطق النمو ،حيث قد تكون الازهار ،والاوراق الفتية والثمار في مرحلة التكشف .

اما حركة المواد العضوية الموجودة في اعضاء الخزن مثل الجذور الوتدية والدرنات والابصال لغرض تغذية الباردات النامية يكون بصورة عامة نحو الاعلى ،وان انتقال المواد الخارجة من الاوراق المسنة و الاوراق الفتية النامية يكون عادة نحو الاعلى ،وقد تنقل المواد التي تتحرك باتجاهين مختلفين تتم في اوعية لحائيه مختلفة او في نفس الوعاء في ان واحد.

ب- **الحركة الجانبية في الاتجاهات المماسية Lateral Movement intangential**

المواد المتنقلة في اوعية اللحاء تتحرك عموما بنمط خطي Linear fashionاي ان السكريات الخارجة من الاوراق تنساب في تيار النقل الرئيسي في كلا الاتجاهين اي الى اعلى والى اسفل الساق في خط طولي مع الورقة المجهزه ويصاحبها حركة مماسية قليلة جدا .الحلقات السنوية للاشجارو الواقعة مباشرة تحت الاغصان الكبيرة تكون اوسع من تلك الواقعة على الجانب المعاكس ،وان سقوط الاوراق من احد جوانب النبات يكون نمو غير متناظر حيث يكون نمو الجانب المنزوع الاوراق مختزلا واقل من الجانب الاخر.

ج- **الحركة الجانبية في الاتجاهات الشعاعية Lateral movement in radial directioms**

وهي انتقال المواد بشكل شعاعي من نسيج الحاء الى نسيج الخشب في عدد كبير من النباتات.

2-**معدلات الانتقال وسرعتهTranslocation Rates and Velocities**

عندما ناخذ بنظر الاعتبار كميات المواد التي يحتاجها النمو السريع لاعضاء الخزن عندما تظهر اهمية معدلات الانتقال لحركة المواد في نسيج اللحاء ،وقد قدر الباحثون الاوائل هذه المعدلات عن طريق حساب الزيادة في الوزن الجاف للثمار والدرنات والجذورالخازنة والاعضاء الاخرى التى تسحب كميات كبيرة من المواد من اوعية اللحاء ولكن هناك صعوبات كثيرة ترافق هذه الطريقة ويتحتم القيام بدراسات كثيرة اخرى قبل ان يحسب المعدل الحقيقي بتقدم تقنيات التتبع (اقتناء الاثر) Tracing Tenchniquesتم الحصول على قياسات مضبوطة تقريبا لمعدلات الانتقال في اللحاء .

3-**اختلاف معدلات الانتقال تبعا لاختلاف المواد الايضية Different metabolites with different translocation**

لاحظ العديد من الباحثين بان المواد الايضية المختلفة تنتقل في اوعية اللحاء بمعدلات مختلفة

العوامل المؤثرة في النقل اللحائي :

1- **درجة الحرارة Temperature**:بتغير درجة حرارة النبات وقياس الزيادة والنقصان في الاوزان الجافة لا عضاء النبات المختلفة يمكننا الحصول على قياسات غير مباشرة لمعدلات الانتقال ،حيث ان الوزن الجاف لاي عضو يعكس معدل حركة الذائبات في داخل هذا العضو ،اي ان انتقال الذائبات يتأثر بدرجة الحرارة بنفس الطريقة التي يتاثر بها العمليات الفسيولوجية الاخرى ،وان معدل الانتقال يزداد بازدياده درجة الحرارة الى الحد الاعلى ومن ثم ينخفض بسبب التاثيرات الضارة لدرجة الحرارةالعالية.

2- **الضوء Light**:ان معدل تمثيل CO_2 يزداد بزيادة شدة الضوء ،كذلك تزداد نسبة الوزن الجاف للمجموع الخضري بازدياد شدة الضوء اي ان الانتقال نحو المجموع الجذري مقارنة بالانتفال نحو المجموع الخضري يزداد بازدياد شدة الضوء ،واظهرت الدرسات ان معدلات الانتقال قد تتأثربنوعية الضوء المستلم

من قبل النبات ،ان انتقال نواتج البناء الضوئي تزداد بوجود الضوء الاحمر او الازرق وان الضوء الاحمر يحفز انتقال السكروز.

3- **المثبطات الايضية Metabolic inhibitors** :المثبطات الايضية مثل,dinitrophenol-2،4(DNP)وازايد Azideوسيانيد الهيدروجين Hydrogen cyanide يثبط انتقال الكاربوهيدرات وهذا ينعكس على نواتج البناء الضوئي.

4- **مما ل او تدرج التركيزConcentration gradiants** :

يعتقد العلماء بان اتجاه سريان السكر في الانابيب المنخلية يكون باتجاه ممال الانخفاض في تركيز السكر الكلي ،اي من المكان الاعلى تركيزا للسكر الى المكان الاقل تركيزا له.

5- **نقص العناصر المعدنية Mineral deficiencies:**للعناصر المعدنية دور في النقل اللحائي مثل عنصر البورون وان امتصاص وانتقال السكروز يزداد بدرجة كبيرة عندما يضاف البورون الى المحلول ،والسكروز ليس المركب الوحيد الذي يصبح انتقاله اسرع بمساعدة البرون فمنظمات النمو مثل indoleacetic acid اندول حامض الخليك وغيرها من المنظمات يصبح انتقالها اسرع بمساعدة هذا العنصر.

6- **الهرمونات Hormones:**

ان الهرمونات تحفز النمو الخلوي والنمو النسيجي مما يجعل الحاجة قوية للمواد الايضية المتنقلة لغرض بناء مواد الطاقة ،وان الانتقال اللحائي بصورة جزئية خاضع لتاثير الهرمونات النباتية مثل السايتوكانينات Cytokininsواندول -3- حامض الخليك (IAA)وحامض الجبرلين GA_3 اما Kinetinوهو سايتوكأنين صناعي له تأثير على انتقال المركبات النيتروجينية الذائبة.

اليات النقل اللحائي Mechanisms of phloem Transport

تقدم العديد من الباحثين بنظريات مختلفة لتفسير الية انتقال نواتج البناء الضوئي في اللحاء :

1-الحركة الانسيابية للبروتوبلازم Protoplasmic streaming

هذه النظرية تقول ان دقائق الذائبات تمسك من قبل السايتوبلازم المنساب في عناصر الانبوب المنخلي ،وبذلك تنقل من طرف الى الطرف الاخر للخلية ،وهذه الدقائق لابد ان تمر عبر الصفائح المنخلية بانتشارها خلال الخيوط السايتوبلازمية التي تربط عناصر الانبوب المنخلي مع بعضها ،وبمرور السنين فقد اتضح ان نظرية الانسياب السايتوبلازمي لا تستطيع ان تفسر النقل اللحائي.

2-نظرية الانسياب الضغطي (الكتلي) لمنغ Munch pressure Flow Hypothesis

ان الاساس الفسيولوجي لنظرية الانسياب الضغطي (والتي سميت الانسياب الكتلي)استنادا الى وجود ممال (تدرج)في الضغط الامتلائي بين النسيج المجهز (source)وبين النسيج المستلم (sink)ونسبة الى هذه النظرية فان المواد الايضية تحمل بصورة سلبية في الاتجاه الموجب للممال وبعبارة اخرى في نظام الانسياب الضغطي ،هناك انسياب للذائبات والماء باتجاه واحد خلال الاوعية المنخلية وهذا الانسياب يحدث بسبب وجود ممال للضغط الامتلائي ،وان حركة

السكريات الخارجة من الخلايا الكلورنكيمية للورقة والداخلة الى عناصر الانابيب المنخلية ربما يحصل ضد ممال التركيز ،وبهذا يمكن اعتبار حركة الذائبات من خلية الى اخرى في نسيج الورقة ومن ثم انتقال الذائبات الى عناصر الانابيب المنخلية عملية نشيطةActive processوتعتبر الورقة هي العضو المجهز ويمكنها ان تغذي مستودعين sinksواحد باتجاه القمة والاخر باتجاه الجذر ،اي ان المواد الايضية تترك الورقة في اوعية لحائية منفصلة ،وبهذا تحصل حركة ثنائية ولكن في اوعية لحاء منفصلة ويكون تحت سيطرة نظام الانسياب الضغطي.

4- تحميل وتفريغ الحاء Phlom Loading and unloading

ان حركة نواتج البناء الضوئي تبداء اولا بافراز تللك النواتج داخل اللحاء بوجود الطاقة ATP**عملية نشطة** ويطلق على هذه العملية تحميل اللحاء **(Phloem loading)** فتدخل الذائبات اولا الى الخلايا المرافقة ومن ثم الى الانابيب المنخلية عن طريق الروابط السايتو بلازمية وهناك ادلة تشير الى ان الخلايا البرنكيمية تلعب دور في عملية التحميل ايضا ،وان تراكم السكريات في الانابيب المنخلية يجعل الجهود المائية اكثر سالبية ،مما يسهل العملية الاوزموزية من الخلايا المحطية ومن تيار النتح ،وعند دخول الماء الى الانابيب المنخلية يتولد ضغط امتلاء (Turgor pressure)وبهذا تتحرك الذائبات الى الانسجة المستلمة من الجذور و المرستيمات الاوراق النامية او الاعضاء التكاثرية ،في الانسجة المستلمة والمسماة sinks فان السكر ينتقل بصورة فعالة active من الانابيب المنخلية على حساب الطاقة الايضية للخلايا المرافقة ويطلق على عملية النقل الفعال هذه بتفريغ اللحاء Phloem unloadingالذائبات تدخل اولا الى الخلايا المرافقة ومن ثم تمر الى الانابيب المنخلية عن طريق الروابط السايتوبلازمية ،وهناك ادلة تشير الى ان الخلايا البرنكيمة تلعب دورا في عملية التحميل ،وان زيادة تراكم السكريات في الانابيب المنخلية يجعل الجهود المائية اكثر سالبية مما يسهل العملية الاوزموزية من الخلايا المحيطة ومن تيار النتح ،ونتيجة دخول الماء الى الانابيب المنخلية يتولد ضغط امتلاء وبهذا تتحرك الذائبات الى الانسجة المستلمة مثل الجذور والمرستيمات الاوراق النامية او الاعضاء التكاثرية وعند هذه الانسجة المستلمة والتي تسمى المصب sinks فان السكر ينقل بصورة فعالةActive من الانابيب المنخلية بوجود الطاقة ويطلق على عملية النقل الفعال هذه تفريخ اللحاء ونتيجة ازالة الذائبات الفعالة اوزموزيا فان الجهود المائية للانابيب المنخلية تصبح اقل سالبية وهذا يولد تدرج مما يؤدي الى انتشار الماء خارج الخلايا المستلمة المصب sinksوتم تعود الى تيار النتح.

ومن هذه النظريات نستنتج:

1- تفسر هذه النظرية ان حركة الذائبات خلال الانابيب المنخلية تكون تماشيا مع ممال او تدرج الضغط الامتلائي من المصدر source الى المصب sink.
2- ان عملية تحميل وتفريغ الذائبات هي عملية نشطة .
3- ان الخلايا المرافقة والخلايا البرنكيمية المجاورة الى الانابيب المنخلية هي التي تزود الطاقة لعملية تحميل وتفريغ اللحاء.

التاقت الضوئي والفايتوكروم

Photomorphogensis:وهو تعبِير عن اثر الضوء في نمو النبات وتكشفه وان النبات يمتص الضوء قبل ان يستجيب له ولابد من وجود مستقبل او مستلم وعادة تكون صبغة لامتصاص الموجة او الموجات الضوئية المسؤولة عن هذه الاستجابة.

Photobiological Process:وهي العمليات التي تتضمن امتصاص الضوء ويتبعها سلسلة من التفاعلات الكيميائية المؤدية الى الاستجابة العامة للنبات .

وقد درس العلماء بعمق الكثير من العمليات الضوئية الحياتية التي تحصل في النباتات ومن بين العمليات الضوئية الحياتية التي درست بالتفصيل هي البناء الضوئي ،بناء الكلورفيل ،والانتحاء الضوئي ،والاكسدة الضوئية ،واتساع وانبساط الورقة ،وتثبيط استطالة الساق ،والتزهير،والتاقت الضوئي.

التاقت الضوئيPhoto periodism:مصطلح لايمكن تعريفه بدقة ويعرف على انه استجابة النبات للاطوال النسبية لفترات الضوء والظلام المتعاقبة ،وان طول مدة الظلام اكثر اهمية من طول الضوء في استجابة النبات ويعد طول وتسلسل تعاقب التعرض للضوء والظلام اكثر العوامل اهمية في بدء الاستجابة للتاقت الضوئي وان الازهار والنمو الخضري واستطالة السلاميات وانبات البذور وتساقط الاوراق ماهي الا امثلة على استجابة النباتات للتاقت الضوئي

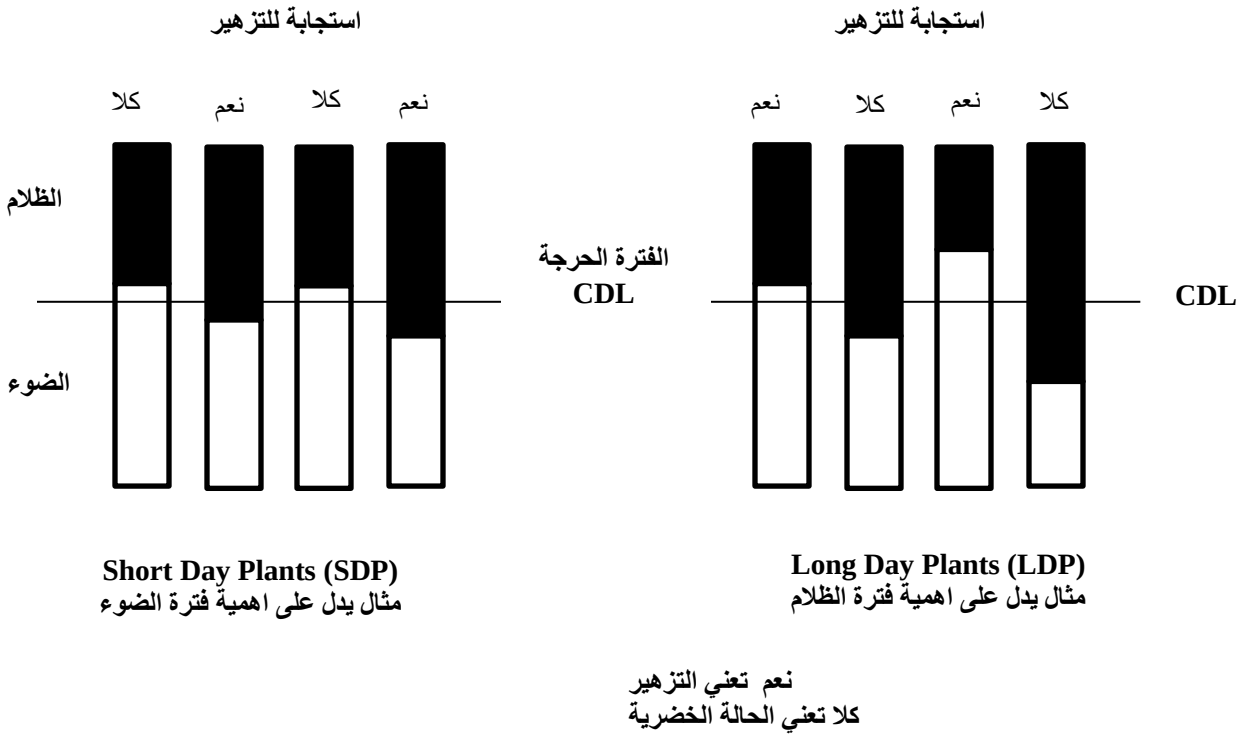
تقسم النباتات حسب احتياجها لطول النهار الى :

1- نباتات النهار القصير الزهريةshort –day flowering plants
تزهر هذه النباتات عندما يكون طول النهار اقل من طول فترة حرجة معينة وتبقى تلك النباتات في حالة خضرية اذا ماتعرضت الى اطوال نهارية اكبر من طول تلك الفترة الحرجة وان مايسمى بطول النهار الحرج يختلف باختلاف الانواع النباتية ومن امثلة هذه النباتات التبغ الحسك وفول الصويا .
2- نباتات النهار الطويل الزهرية Long –day flowering plants تزهر النباتات بعد تعرضها لطول فترة نهار اطول من طول فترة حرجة ويختلف طول تلك الفترة الحرجة من طول النهار من نوع نباتي الى اخر ومن امثلة هذه النبات السبانغ ،وبنجر السكر ،السكران الاسود ،الفجل ،السبانغ .
3- النباتات الزهرية المحايدة لطول النهار Day-neutral flowering plants
تزهر تلك النباتات بعد مدة نمو خضري بصرف النظر عن طول الفترة الضوئية وامثلة تلك النباتات الطماطة ،البازلاء،الذرة،الفاصوليا ،الخيار .

اهمية فترة الظلام Importance of Dark period

النباتات تحت الظروف الطبيعية خاضعة لدورة من الضوء والظلام على التعاقب مدتها 24 ساعة وان تعريض النباتات الى دورات اوتعاقب خلاف الطبيعة اثبت ان التزهير في تلك النباتات يكون اكثر استجابة لفترة الظلام منه لفترة الاضاءة ،وبمعنى اخر ان نباتات النهار القصيرتزهر بعد تعرضها لفترة ظلام اطول من طول فترة حرجة ،اما نباتات النهار الطويل فانها تزهر بعد تعرضها لفترة ظلام اقل من طول الفترة الحرجة ،وان النبات يبقى في الطور الخضري (لايزهر)على الرغم من تعرضه لدورة الحث الضوئي الصحيحة photoinductive cycleوذلك بكسر (تجزئة)فترة

الظلام المستمرة بفترة اضاءة قصيرةlight break وان كسر فترة الاضاءة بفترة قصيرة من الظلام لة تاثير ضئيل جدا اي التزهير يكون اكثر استجابة لفترة الظلام المستمرة عن فترة الاضاءة المستمرة.



اهمية فترة الاضاءة Importance of photoperiod

ان طول فترة الظلام تحددالبدء الفعلي لنشوء المنشات الزهرية الاولية floral primordi الا ان طول الفترة الضوئية يؤثر في عدد تلك المنشاءات الاولية المتكونة.

وان لشدة الاضاءة تأثير غير مباشر وهو التحكم في كمية السكريات المنسابة الى المناطق المرستيمية القادرة على تكوين المنشآت الزهرية الاولية ،وان تأثير فترة الاضاءة يقل بغياب ثاني اوكسيد الكاربون ،وان المركبات التي تنتج في عملية البناء الضوئي لها تأثير على قابلية النبات للتزهير وفضلا عن التأثير غير المباشر للضوء خلال عملية البناء الضوئي فلابد ان تكون لشدة الاضاءة اهمية مباشرة في بناء الهرمون اللازم لتكوين الازهار .

دورات الحث الضوئي Photo inductive cycle

ان عدد الدورات الازمة لتحفيز التزهير يختلف بين الانواع النباتية فعلى سبيل المثال يتطلب نبات الحسك *Xanthium pennsyl vanicum* الى دورة حث ضوئي واحدة فقط لكي تتكون المنشآت الزهرية ،اما نبات *Salvia occidentalis* نبات نهار قصير في الاقل الى 17 دورة حث ضوئي لكي يزهر ،اما نبات *Plantago Ianceolata* نبات نهار طويل يحتاج الى 25 دورة حث ضوئي لكي يصل الى اقصى استجابة زهرية،وهذا يدل على ان بعض العوامل المساهمة في استجابة النبات للتزهير تتراكم في اثناء دورة الحث الضوئي.

استلام حافز التاقت الضوئي perception of Photoperiodic stimulus

اجزاء النباتية المستلمة لحافز التاقت الضوئي هي الاوراق والبراعم ، ويظهر ان الاوراق هي اعضاء النبات المسؤولة للاستجابة الزهرية لدورات الحث الضوئي ،وان تعريض ورقة واحدة فقط من النبات لدورة حث ضوئي بينما كل الاوراق الاخرى في النبات تكون معرضة لدورة غير محثه فان هذه الورقة تكون كافية لا حداث التزهير ،وان تطعيم اوراق نبات محث ضوئيا على نبات اخر غير محث ضوئيا يسبب تزهير النبات .

نوعية الضوء والتاقت الضوئي Light Quality and photoperiodism

اظهرت الدراسات ان الطول الموجي الاكثر تاثيرا لتثبيط التزهير يقع بين nm660-620 (البرتقالي – الاحمر) والحد الاقصى لهذا التاثير يقع عند حوالي nm640 لذا فان الضوء الاحمرR يعد الاشعاع الضوئي الاكثر تاثيرا في تفاعلات الكسر الضوئي ،وعند استخدام الاشعاع الاحمر البعيد بمفرده لا يظهر تاثير للكسر الضوئي ،وان الاشعاع الاحمر البعيد قادر على ان يعكس تاثير الكسر الضوئي للضوء الاحمر ،اذا عقب وميض قصير من الاشعاع الاحمر البعيد وميض قصير من الاشعاع في منتصف ليلة طويلة لدورة الحث الضوئي لنباتات النهار القصير فان تلك النباتات تزهر واذا تبع الاشعاع الاحمر البعيد بضوء احمر فان النباتات لاتزهر بمعنى اخر ان الاشعاع المستخدم اخيرا هو الذي يحدد استجابة النبات للتزهيرحسب الجدول المبين لاحقا .

نبات فول الصويا	نبات الحسك	المعاملة
4	6	السيطرة(ظلام)
0.0	0.0	Rيثبط
1.6	5.6	R,FRيشجع
0.0	0.0	R,FR,Rيثبط
1.0	4.2	R,FR,R,FRيشجع
0.0	0.0	R,FR,R,FR,Rيثبط
0.6	2.4	R,FR.R,FR.R.FRيشجع
0.0	0.0	R,FR,R,FR,R,FR,Rيثبط
0.1	0.6	R,FR,R,FR,R,FR,RFRيشجع

نوعية الضوء وانبات البذورLight Quality and seed Germination

ان تعريض البذور للضوء الاحمر nm660 فان تلك البذور تنبت ،وان تعريض تلك البذور للضوء الاحمر البعيد nm730مباشرة بعد تعريضها للضوء الاحمر فان الانبات يثبط وان معاملة تلك البذور بعد ذلك بالضوء الاحمر فان الانبات يشجع اي ان المعاملة الضوئية الاخيرة تحدد استجابة البذور.

نسبة انبات البذور	المعاملة
70	R تشجيع
6	R,FRتثبيط
75	R,FR,Rتشجيع
6	R,FR,R,FRتثبيط
77	R,FR,R,FR,Rتشجيع
7	R,FR,R,FR,R,FRتثبيط
81	R,FR,R,FR,R,FR,Rتشجيع
7	R,FR,R,FR,R,FR,R,FRتثبيط

الفايتو كروم Phytochrome

هي صبغة النباتية المسؤولة عن امتصاص الضوء المشترك في ظاهرة التاقت الضوئي الذي يتحكم في عملية التزهير وانبات البذور وظواهر مورفولوجية ووراثية اخرى والفايتوكروم بروتين ذو مجموعة رابطة ملونة Chromophore prosthetic groupاي بروتين صبغي وهو يوجد في صورتين :

1- صورة الفايتوكروم الممتص للضوء الاحمر (pr)
2- صورة الفايتوكروم الممتص للضوء الاحمر البعيد (pfr)هي الصورة النشيطة فسيولوجيا.

وتتحول الصورتان فيما بينهما بطريقة كيميائية ضوئية وان صورة الفايتوكروم pfr تتحول ببطء الى صورة prفي الظلام وان هذه الظاهرة تحدث في نباتات ذوات الفلقتين .يوجد الفايتوكروم في الجذور والسيقان والسويقات الجنينية والفلقات واغماد الرويشة وانصال الاوراق والاعناق والبراعم الخضرية والثمار النامية والتخوت الزهرية والنورات الزهرية.

هرمونات التزهير والجبريلينات Flowering Hormones and Gibberellin

هناك عامل او (عوامل)تزهيرية ينتج في الاوراق المحثة ضوئيا وتنقل بسهولة الى البراعم وهوالفلورجين Florigen هرمون يحث على التزهير حيث يحفز تكوين منشات التزهير الاولية فعند تعريض فرع من نبات الحسك لدورة ضوئية محثة وطعم على فرع نبات اخر فان النبات الاخر يزهر ،ويتاثر الفلورجين بالفايتوكروم لانه مستلم ضوئي يساهم في انتاج الفلورجين في الاوراق ،اما الجبرلين فهو يشترك مع الانثيسين anthesin لتكوين الفلورجين الذي له دور اساسي في عملية التزهير .

الهرمونات النباتية plant hormones or phytohormones:

منظمات تنتج من قبل النبات وتكون بتراكيز واطئة تنظم العمليات الفسيولوجية في النبات وتنقل من مراكز انتاجها الى مراكز عملها .

منظمات النباتplant regulators : مركبات عضوية غير المغذيات وتكون بكميات قليلة تحفز وتثبط وتحور اي فعالية فسيولوجية في النبات .

الطبيعة يطلق عليها phytohormonesاو plant growth hormones

الصناعية يطلق عليهاplant g growth regulators

وكل هرمون هو منظم نمو وليس العكس لان الهرمونات النباتية منظمات نمو طبيعية .

الهرمونات النباتية	الهرمونات الحيوانية
لا يوجد جزء خاص لا فرازها	تتكون في مناطق محددة كالغدد
يكون لها اكثر من تأثير فسيولوجي غير متخصصة	تأثيرها متخصص
ليس بالضرورة ان تؤثر بعيدا عن مناطق تكوينها	تؤثر غالبا في مناطق بعيدة عن منطقة تكوينها

ومن اهم منظمات النمو :

1- **الاوكسين Auxin**
2- **الجبريلين Gibberellins**
3- **السايتوكانينات Cytokinins**
4- **الاثلين Ethylene**
5- **حامض الابسيسك Abscisic acid**

الاوكسين Auxin:وهو مصطلح يطلق على المركبات التي تتصف بقدرتها على تحفيز الاستطالة في خلايا المجموع الخضري والاوكسينات تشابه اندول حامض الخليك في التأثير الفسيولوجي وهي تؤثر على عمليات حيوية اضافة الى تأثيرها في الاستطالة .

مولدات الاوكسين Auxin precursors:مركبات يمكن ان تتحول الى اوكسينات في النبات .

مضادات الاوكسينات Antiauxins: مركبات تثبط عمل الاوكسينات.

الاوكسينات الصناعية IBAوNAAو2,4Dالذي يستخدم كمبيد ادغال

توزيع الاوكسين في النبات Distribution of Auxin in the plant:

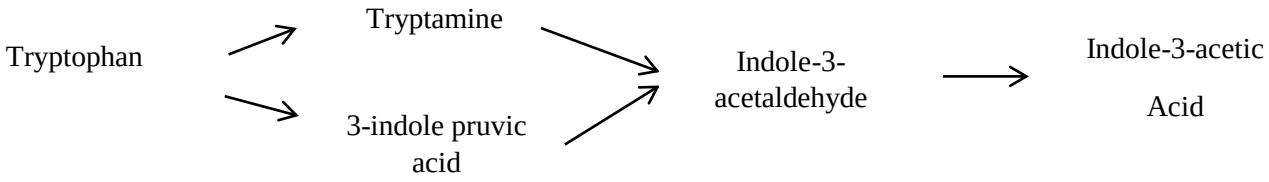
ان اعلى تركيز للاوكسين يكون في القمم النامية للنبات وفي البراعم والقمة النامية للاوراق والجذور .

انتقال الاوكسين Auxin transport:ان حركة الاوكسين قطبية polar وان انتقال الاوكسين في المجموع الجذري قطبي ايضا الا ان الانتقال في الجذر لا يشبه الانتقال في المجموع الخضري .

ملاحظة :ان السكروز لايعد هرمونا على الرغم من تكونه وانتقاله في النبات يؤثر في نموه لكنه يؤثر فقط في التراكيز العالية .

ملاحظة :ان منظمات النمو تصنع ولا تعزل لاننا نحتاج الى اطنان من القمم النامية لغرض استخلاصها .

البناء الحيوي للاوكسين :ان اللبنة الاساسية للاوكسين هو الحامض الاميني التربتوفان Tryptophan



هدم الاوكسين Destruction of Auxin

انتاج الاوكسين ونقله له اهمية كبيرة لنمو النبات وان تثبيط الاوكسين له اهمية مماثلة في تنظيم النمو الشكلي للنبات plant morphogenes،لقد اجريت ابحاث عديدة عن اليات المسؤولة عن تثبيط الاوكسين وهناك نظامان سائدان لهدم الاوكسين في النباتات وهما :

1- الاكسدة الانزيمية enzymatic oxidation

2- الاكسدة الضوئية photooxidation

التأثيرات الفسيولوجية للاوكسين :

1- استطالة الخلايا cellular elongation:تلعب الاوكسينات دورا هاما في استطالة الخلايا اثناء نمو الكثير من الاعضاء النباتية

2- السيادة القمية Apical dominance:ان البراعم الجانبية (LateralBuds)لكثير من لنباتات الوعائية ،تظل كامنة في حين يكون البرعم النهائي ناميا بشكل طبيعي وعند ازاله البرعم النهائي فان اكثر هذه البراعم الجانبية الكامنة تبداء بالنمو .

3- تكوين بادئات الجذور Root initation:ان تاثير الاوكسين في الجذور لتاثيره في السيقان لكن تركيز الاوكسينات المحفزة لنمو الساق تكون مثبطة لنمو الجذر وبعبارة اخرى فان الجذور اكثر حساسية للاوكسين من السيقان .

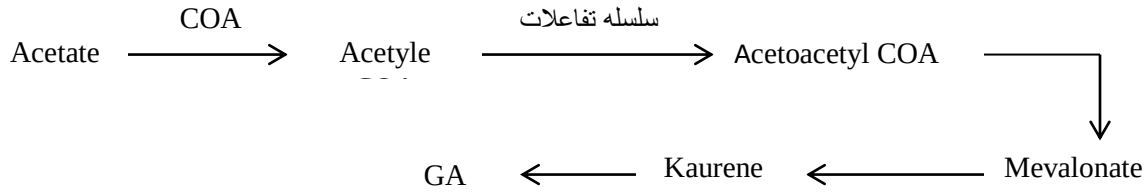
4- تكوين الثمار العذرية parthenocarpy: تحفز عملية التلقيح انتفاخ المبيض في اغلب انواع النباتات ويعتبر وجود البذور الحية شرط اساسي لنمو الثمار وهذا يوضح اهمية عملية الاخصاب في نمو الثمار وعلى الرغم من ذلك فهناك ثمار تنمو دون حدوث عملية التلقيح ويعرف بالنمو العذري وتعرف بالثمار العذرية .

5- سقوط الاوراقLeaf Abscission:ان تساقط الاوراق ظاهرة فسيولوجية مميزة تحدث غالبا في نهاية فصل النمو وهو الخريف في جميع النباتات النفضية (متساقطة الاوراق)كما وتسقط الاوراق القديمة على طول السنة وتعوض باوراق جديدة في النباتات دائمة الخضرة وقد تتساقط الاوراق بعملية تعرف بسقوط الاوراق ويسبق انفصال الاوراق تكون مايسمى بطبقة الانفصال Abscission layer .

6- تكوين الكالس Callus formation:ان التأثير الاساسي للاوكسين هو تحفيزه لاستطالة الخلايا النباتية ولكنه بنفس الوقت يحفز الانقسام الخلوي وقد يتكون نسيج الكالس هذا في اماكن الجروح على الاجزاء النباتية عند معاملة تلك المناطق بالاوكسين .

7- علاقة الاوكسين بالتفس : وجد ان الاوكسين يؤثرفي زيادة معدل التنفس في النباتات المعاملة .

الجبريلينات Gibberellins تم استخلاصه من الفطر Gibberella Fujikurhuroiوسميت هذه المادة بالجبرلين نسبة الى الفطر الذي استخلصت منه



- **البناء الحيوي للجبرلينات** اللبنة الاساسية لبناء الجبرلين هي الخلات Acetate وحامض الميفالونك Mevalonate
- **مضادات الجبريلينات او معوقات النمو** CCCالسايكوسيل ،الكلتار ،Phosphon-D،Amo-1618

االنتقال الجبريلين : ينتقل الجبريلين خلال نسيج اللحاء بنمط مشابه لنمط سريان الكاربوهيدرات والمواد العضوية الاخرى.

مواقع وبناء الحبريلين بالنبات هي :

1- في الاوراق اليافعة

2- في الجذور

3- البذور النامية خاصة بين السويداء والجنين.

التاثيرات الفسيولوجية للجبريلين:

1- التقزم الوراثي Genetic Dwarfism:ان قابلية الجبرلين في التغلب على التقزم الوراثي في نباتات معينة هو احد اهم الخواص المهمة للجبربلينات.

1- نمو الافرع الزهرية وازهارها Bolting and Flowering:بالاضافة الى دورالجبريلينات في اسطالة السلاميات تعمل الجبريلينات في نباتات كثيرة كعامل مسيطر في التوازن بين نمو السلاميات ،نوع من النمو يعرف بالتوردrosetteشكل الوردة وبين تكوين الاوراق.

2- نمو الساق المثبط بالضوء Light-inhibite stem growth:ان تاثير الضوء في تثبيط استطالة الساق يمكن ابطالة او ايقافه باستعمال الجبريلين وان ذلك يشير الى ان الجبريلين الداخلي هو عامل محدد في نمو الساق .

3- يزيد من لدونة جدران الخلية الفتية .
4- النمو العذري parthenocarpy:ان الجبريلينات يمكن ان يعتمد عليها في انتاج الثمار عذريا .
5- انتقال المركبات المخزونة اثناء الانبات Mobilization of storage compounds during germination compounds during germination بين يومو ان وضع سويداء بذور الشعير المفصولة عن الجنين والموضوعة معه في نفس قنينة الزرع تحت ظروف هوائية اظهرت نشاط انزيم الاميليز ولكن لم يلاحظ اي نشاط لاانزيم الاميليز في قناني الزرع الحاوية اما على الجنين لوحده او لسويداء لوحدها ومن هذه التجارب استنتج بان نشاط انزيم الاملیز يكون تحت تاثير الجبرلين الذي يتكون في الجنين ،اي ان حامض الجبريلين يمكن ان يحفز انزيم الاميليز في سويداء حبوب الشعير التي ازيل منها الجنين وقد تبين بعد ذلك بان طبقة الاليرون في السويداء هي الطبقة الوحيدة الحساسة للجبرلين وان معاملة طبقة الاليرون وحدها بالجبرلين ادى الى تحرير انزيم الاملیزو ان الجبرلين الذي يتحرر من قبل الجنين وينتقل الى خلايا طبقة الاليرون يزيل التثبيط عن الجينات المسؤولة عن عملية تكوين انزيم الاملیز .
6- هناك فعل متبادل بين الجبرلين والاوكسين Gibberellin and Auxin Interaction
7- هناك فعل متبادل للجبرلين مع DNA

السايتوكاينينات Cytokinins: هورمونات نمو تتركب اساسا من حلقة البيورين تم استخلاصه بصورة بلورية من عرانيس الذرة الحلوة ويسمى Zeatin وتتكون السايتو كينات في الجذور وتنتقل الى السيقان والجذور وهناك مركب اخر يدعى Kinetinعزل من حيامن سمك الرنكه.

التاثيرات الفسيولوجية للسايتوكاينيات :

1- الانقسام الخلوي Cell division: يحفز الانقسام الخلوي في المزارع النسيجية .
2- اتساع الخلايا Cell enlargement:بالاضافة تحفيزه الانقسام الخلوي يعمل على استطالة الخلايا كما في الاوكسينات والجبرلينات.
3- تكوين بادءات الجذور Root initiation:لها القابلة على تحفيز اوتثبيط بادءات الجذور.
4- تكوين ونمو المجموع الخضري Shoot initiation and growth
5- كسر الكمون Breaking Dormancyويحفز نمو البراعم الجانبية .
6- منع الشيخوخة Prevention of Senescence:عند قطع اوراق نباتية لا نواع متعددة من النباتات ووضعها بالماء لعدة ايام فان الاوراق تفقد كلوروفيلها بصورة تدريجية وتصبح صفراء ،لكن عند اضافة الكاينتين فان الاوراق تحتفظ بكلوروفيلها ولونها الاخضر مدة اطول.

7- يحفز تكوين الانزيمات Enzyme formation:تحفز تكوين عدد من الانزيمات كانزيمات البناء الضوئي .
8- تشترك السايتوكاينينات في تركيب الحامض النوي الناقل t-RNA.

الاثلين Ethylene $H_2C=CH_2$

هورمون مثبط للنمو و هو غاز في درجة الحرارة الاعتيادية وتركيبه بسيط مقارنة بالهرمونات النباتية الاخرى وهو كغيره من الهرمونات يسبب تأثيرات فسيولوجية مهمة للنبات عندما يوجد بتراكيز ضئيلة وان الحامض الاميني الحاوي على الكبريت (S)والمسمى المثيونين Methionineيتحول داخل الانسجة النباتية الى الاثلين.

التاثيرات الفسلجية :

1- يعمل على نضج الثمار فالثمار الناضجة تحرر مواد متطايرة تسرع نضج الثمار الاخرى .
2- له دور في ظاهرة السيادة القمية من خلال تثبيط نمو البراعم كما في الاوكسين .
3- له دور في الانتحاء الارضي ويشترك مع IAAفي ذلك.
4- يسبب الذبول المؤقت للاوراق .
5- يعمل على تثبيط الجذور ويشجع الجذور العرضية.

حامض الابسسيك(ABA) Abscisic acid

ينشا من حامض الميفالونيك Mevalonic acid او انه يتكون نتيجة الاكسدة الضوئية لبعض انواع الزانثوفيل مثل فايلوزانثين Violaxanthin.

التأثيرات الفسلجية

1- يعمل على الاسراع في انفصال الاعضاء النباتية Abscisionوالشيخوخة Senescence.
2- يثبط عمل ال IAAو الجبرلين
3- يحفزكمون البراعم
4- تحفيزه لشيخوخة الاوراق يكون عن طريق تثبيطه لبناء RNAوالبروتين
5- يعمل على غلق الثغورعند تعرض النبات لظروف الجفاف .

الارتباع Vernalization

الارتباع والتزهير Vernalization and Flowering

ان الارتباع لا يحفز التزهير ولكن فقط يهيئ النبات للتزهير وان تأثير الارتباع في التزهير يختلف عن تأثير الفترة الضوئية فالأخيرة ليست فقط تهيء النبات للتزهير وانما تنشئ الازهار في النباتات ثنائية الحول عند تعرضها الى معاملة برودة اصطناعية متبوعة بفترة ضوئية ودرجة حرارة صحيحة فأنها تزهر في فصل نمو الاول لأنها في الحالة الاعتيادية تكون خضرية في فصل النمو الاول ولا تزهر الافي فصل اللاحق اي بعد تعرضها الى درجات حرارة الشتاء واذا لم تتعرض لفترة برودة فأنها ستبقى بحالة خضرية لفترة غير محدودة وهذا نراه في نباتي السكران والشيلم وهي نباتات طويلة النهار ذات الحولين .

مكان حدوث الارتباع Site of vernalization

ان مكان حدوث هو مناطق النمو وان قمة الساق هي جزء النبات المستجيب لمعاملة البرودة وان قمة الساق هي المكان المستلم للارتباع وينتقل المحفز الى الاجزاء الاخرى وان قمة الساق هي جزء النبات المستجيب للمعاملة بالبرودة اي ان الخلايا المنقسمة تعد ضرورية لادراك الارتباع بغض النظر عن موقعها في النبات،وان المعاملة بالبرودة وعمر الورقة تعد من العوامل المهمة في الاستجابة الزهرية .

الاعتماد على درجة الحرارة ومدة التعرض Dependence on Temperture and Duration of Exposure

بعد قيام العلماء بعدة تجارب لمعرفة درجة الحرارة الملائمة للارتباع ومدة التعرض فان درجة الحرارة 10˚م خلال 15 يوم ارتباع هي اكثر المعاملات تأثيرا حيث تحتاج الى 23يوم لبدء التزهير ،واذا طلت مدة الارتباع الى 42يوم فان درجة الحرارة الاكثر تأثيرا تكون ما بين 3˚م الى 6˚م حيث يلزم 10 ايام لبدء التزهير ومن هذا يتضح ان الاستجابة الزهرية للارتباع تعتمد على درجة الحرارة ومدة التعرض.

عامل العمرAge Factor

هناك علاقة بين عمر النبات واستجابته للمعاملة بدرجة الحرارة المنخفضة ،والعمر الذي يكون النبات حساسا للارتباع يختلف حسب الانواع النباتية فمثلا نباتات الحبوب المعاملة بدرجة الحرارة المنخفضة تسبب ارتباع البذور المستنبتة وقد يحدث ارتباع جزئي للبذور الناضجة للبازلاء والقمح الشتوي ولباقلاء والفجل .في حين نبات السكران الثنائي الحول يحدث فيه الارتباع في المرحلة الزهرية وان النبات قد اكمل 10 ايام من النمو(اي بعمر 10 ايام) وان ذروة الحساسية للارتباع تكون عندما يصل عمر النبات الى 30 يوم او اكثر ،وبعض النباتات الاخرى تعتمد الحساسية للارتباع على عدد الاوراق المنتجة مثل نبات اذن الدب. وان الحساسية لمعاملات درجة الحرارة المنخفضة تزداد بتقدم عمر النبات ،و ربما ان الحساسية للارتباع في المراحل المبكرة للنمو تقل بسب عدم توفر الغذاء المخزون في البذرة اي ان الحساسية لمعاملات درجات الحرارة المنخفضة تزداد بزيادة الكربوهيدرات كنتيجة لعملية البناء الضوئي .

الاستعاضة عن معاملة البرودة بالجبريلين

Substitution of Gibberellin for cold Treatment

الجبرلين له تأثير على الحنبطة (اي يحفز استطالة السيقان)والتزهير في النباتات التوردية rostte plants.وان احلال الجبرلين محل المعاملة بدرجة الحرارة المنخفضه في النباتات التوردية فقط مثل نبات السكران وان معاملتها بالجبريلينات يحفز فقط استطالة سيقانها ولا يؤدي الى التزهير لا انه بطريقة غير مباشرة ربما تحفز انطلاق العوامل المؤدية الى تكوين الازهار ،وان المعاملة بالجبرلين لاتسبب التزهير في النباتات ذات السيقان.

العوامل الاخرى المحورة لعملية الارتباع

Other Factors Modifying Vernalization Process

مادامت عملية الارتباع تعتمد غالبا على تعاقب الخطوات الكيميائية والتي تؤدي الى انتاج مادة فعالة وان الماء والاوكسجين ضروريان في ارتباع البذور فالماء ينشط الانزيمات الموجودة في البذرة و الاوكسجين لانتاج الطاقة التنفسية.

الماء water

البذرة الجافة مالم تتشرب البذور بالماء لا يحصل فيها ارتباع وقد اوضحت Purvisلابد من توفر رطوبة كافية لبدء ظهور العلامات الاولى لعملية الانبات المرئي.

الاوكسجين Oxygen

ان العامل الاساسي في عملية الارتباع هو درجة الحرارة المنخفضة الا انها تكون غير مؤثرة في غياب الاوكسجين والماء والامداد الكافي من الكربوهيدرات اللازمة لعملية التنفس .

تحمل النباتات للبرودة Cold Tolerance of plants

درجات الحرارة المنخفضة والفترة الضوئية القصيرة تؤثر في التغيرات الايضية في النباتات والتي لها خاصية التحكم الوراثي في القدرة على التقسية hardenاو تحمل البرودة cold toleranceافترض Hodgson((ان الانتخاب الطبيعي natural selection يسهم في توليد الية ذاتية في النبات يستشعر النبات بقرب حدوث انخفاض درجات الجرارة ،ومثل هذا ينطبق على الاستجابة للتغيرات الموسمية في الفترة الضوئية ايضا)) ان استقبال (استلام) الاشارة للتغيرات في الفترة الضوئية وتحمل البرودة يعد مهما في الكثير من الانواع النباتية ،بمجرد حدوث تحفيز عن طريق تقصير الفترات الضوئية فان التقسية في النباتات تستمر عند درجات الحرارة المنخفضة بغض النظر عن الفترة الضوئية

تحمل البرودة والنمو والمكونات الايضية

Cold Tolerancek,Growth ,and Mettabolic Components

1- **الليبيدات Lipids** :ان التغيرات الملاحظة في الليبيدات عند الحرارة المنخفضة حدوث تغيرات في الاغشية الخلوية ،وان التغيرات التي تحصل في الليبيدات والتغيرات الاخرى تسرع في اعادة توزيع الماء بين وفي داخل الخلايا وهذه تعتبر مهمة في تحمل البرودة .
2- **الكربوهيدرات Carbohydrates**: السكريات مثل السكروز تعمل كمواد حامية او واقية تكون روابط هيدروجينية يكون لها اهمية في المحافظة على التكامل الوظيفي او التركيبي للبروتينات (البروتينات السكرية)والسكريات تعد مصدرا مهما للطاقة في الكثير من النشاطات الايضية وهي تعمل كمنظم اوزموزي وهي ضرورية لتحمل البرودة.
3- **الحوامض النووية** Nucleic Acids

الحوامض النووية RNA,DNA تختلف كميتها اثناء تحمل البرودة التقسية فقد وجد الباحثون زيادة في RNA اثناء تعرض النبات لدرجات الحرارة المنخفضة وهي تعد خطوة رئيسة في الية الحماية من التقسية .

4-**البروتيناتProteins**:للبروتينات علاقة وثيقة بتحمل البرودة وذلك من خلال عملها المزدوج فهي تعمل اولا كانزيمات وثانيا كعامل واقي .

تحمل البرودة والنشاط الانزيمي

Cold Tolerance and Enzymatic Activity

ان الانزيمات لها دور في تحمل البرودة ومن هذه الانزيمات peroxidase ,protease, invertase dehydrogenase ,amylase,

الكمون Dormancy:توقف النمو الناشي بسبب نقص العوامل الداخلية على الرغم من امدادها بالماء .

السكونQuiescence:توقف النمو الناشي عن نقص بعض العوامل البيئية الخارجية الضرورية مثل الماء.

ويمكن استخدام مصطلح الكمون Dormancy لوصف الحالتين .

اهمية الكمون :

1- بذور بعض النباتات تضطر للعيش في ظروف الكمون بسبب عدم ملائمه درجة الحرارة خاصة في الشتاء لكي لا تتضرر.
2- النباتات الصحراوية تنبت بذورها فقط في فترة سقوط الامطار وتبقى في حالة كمون الى ان يتوفر الماء لها .
3- للمحافظة على بقاء واستمرار النوع من الفناء مثل نبات اللبلاب لكي تشرب بذورها بالماء لابد ان تتكسر اغلفتها ميكانيكيا وان نفاذيتها للماء تكون تدريجيا وتحتاج مدة طويلة وهذا يجعل البذور لا تنبت في وقت واحد .
4- الكمون الموقت التي تمر بها كثير من حبوب العائلة النجيلية يجعل من السهل حصادها وتخزينها وبالتالي استعمالها كغذاء وعندما تنبت هذه الحبوب تصبح عديمة الفائدة للإنسان .
5- كمون بذور الادغال والحشائش فهي تبقى فترة طويلة بالتربة وتنبت بعد فترة لتنافس النباتات الاقتصادية .

كمون البذرة وانباتها Seed Dormancy and Germination

يمكن تعريف عملية الانبات بانها خطوات متعاقبة تبدا بامتصاص البذرة للماء وتنتهي بتمزق غلاف البذرة ببزوغ الرويشة (المجموع الخضري)ويصاحب تلك المظاهر المورفولوجية انقسام الخلايا واتساعها وزيادة النشاط الايضي (هضم الغذاء وتمثيلة على سبيل المثال)وان هذه العمليات تبدا قبل مدة من تمزق غلاف البذرة الان حدوث الانبات الفعلي يحدد بالعين المجردة .

العوامل الخارجية التي تمنع انبات البذور

1-غياب الماء
2- درجة الحرارة غير المناسبة
3 –الخليطالغير المناسب للغازات

العوامل الداخلية التي تمنع انبات البذور

1- الغلاف الصلب للبذرة الذي يكون غير منفذ للماء او الغازات او يولد مقاومة ميكانيكية لاتساع وتمدد الجنين 2.
2- -عدم نضج الجنين .
3- الحاجة الى مدة ما بعد النضج
4- الحاجة الى متطلبات ضوئية معينة .

5- الحاجة الى درجات حرارة معينة .
6- وجود مادة مثبطة للانبات.

التخديش Scarification:

يطلق على اي طريقة او اي معاملة تجعل غلاف البذرة منفذا للماء والاوكسجين او تضعف غلاف البذرة ليسمح للجنين بالاتساع والنمو .

ويقسم التخديش الى نوعين :

التخديش الميكانيكي (الالي) mechanical scarification:

التخديش الميكانيكي يتم بوساطة اي معاملة للبذور تؤدي الى احداث تشققات او خدوش في غلاف البذرة مثل هز او رج البذور مع بعض المواد الخادشة مثل الرمل ،او كشط اوحز غلاف البذرة باستخدام السكين ،وان الشقوق او الخدوش الحاصلة تعمل على تشجيع الانبات وذلك بقليل او اضعاف مقاومة الغلاف البذري لامتصاص الماء او الاوكسجين واتساع ونمو الجنين .

التخديش الكيميائي chemical scarification:

التخديش الكيميائي يتم بغمر البذور في حوامض قوية مثل حامض الكبريتك او مذيبات عضوية مثل الاستون او الكحول وغسل البذور بالماء جيدا بعد المعاملة او استعمال الماء المغلي ،وان التخديش الكيميائي يكسر الكمون باضعاف غلاف البذرة او بإذابة المواد الشمعية التي تعيق دخول الماء.

وتتم هذه العملية في الطبيعة عند دخول البذور للقناة الهاضمة للطيور والحيوانات الاخرى ،او تتم بواسطة التغيرات الفجائية في درجات الحرارة وبفعل الفطريات والكائنات الدقيقة ويتم التخديش عند تعرض البذور النباتية للحرائق

مدة ما بعد النضج والتنضيد Afterripening and stratification

مدة مابعد النضج (اكتمال تكشف الجنين)تحدث في الطبيعة في اثناء المدة بين تساقط البذرة على الارض في الخريف وانباتها في الربيع اللاحق وفي هذه المدة تغطى البذور بالمخلفات العضوية وثلوج الشتاء وتحدث اثناء الخزن الجاف او عند تعريضها لدرجات الحرارة المنخفضة والرطوبة وتلك العملية تعرف بالتنضيد.

التنضيد Stratification : يحدث التنضيد الطبيعي عندما تغطى البذور بعد سقوطها على الارض في الخريف بالتربة الباردة والمخلفات والثلوج،ويمكن عمل تنضيد صناعي حيت تتبادل طبقات من البذور مع طبقات من المخلقات الرطبة للنبات او الرمل او اي مادة مناسبة اخرى ثم تخزن في درجات حرارة منخفضة وللتنضيد فائدة حيث يحدث انتقال كبير للمركبات من الخلايا الخازنة الى الجنين ويتراكم السكر ويحدث هضم لمختلف الدهون المخزونة وكذلك يعمل على اخفاء المثبطات وبناء محفزات النمو مثل الجبرلينات والسايتوكاينينات ويحصل تغيرات في مستويات المواد الغذائية وتحولاتها الداخلية .

المتطلبات الضوئية للانبات Light Requirments for Germination

تختلف البذور في استجابتها للضوء بعض البذور لها متطلبات ضوئية لكي تنبت وبعضها عند تعريضها للضوء يثبط انباتها والبعض الاخر من البذور فان الانبات يكون مرتبط بالاستجابة للتاقت الضوئي اي تعاقب فترات النهار والظلام لذلك فان تحديد المتطلبات الضوئية للبذور يعد من الامور الصعبة وذلك لان درجة الحرارة ربما تتداخل مع الضوء وقد لوحظ ان الضوء الاحمر والاحمر البعيد يعمل على تنظيم انبات بذور الخس .

تاثيرات درجة الحرارة في الانبات Effects of Temperature on Germination

التحكم الضوئي في انبات البذور يكون مرتبطا بدرجة الحرارة مثال على ذلك نبات حشيشة الفلفل هناك تداخل بين الضوء ودرجة الحرارة فان الانبات يصل الى اقصى درجاته عند حفظ البذور في درجات حرارية باردة قبل تعريضها للضوء الاحمر تم تحفظ بعد التعريض في درجات حرارة مرتفعة.

المواد الكيميائية والانبات Chmical and Germination

محفزات (مشجعات)الانبات وان المحفزات الاكثر شيوعا واستعمالا هي نترات البوتاسيوم (KNO_3)والثايوريا(Thiourea)و الاثلين والجبر لينات والكاينتين .

مثبطات الانبات هي المثبطات الطبيعية التي توجد في البذرة وهذه المركبات تسبب الكمون وعادة تعمل على وقف او اعاقة العمليات الاساسية للانبات وهي لاتقلل حيوية البذرة ولا تسبب اي تشوهات في نمو البادرة بعد الانبات وهي توجد في التراكيب المغلفة للبذرة مثل القنابات المغلفة لحبوب الشوفان تحتوي على مثبط ،كما وجدت مثبطات الانبات في لب او عصير الثمار المحتوية على البذوروفي غلاف البذرة ومن بين المثبطات الطبيعية التي تم تشخيصها Coumarin parascorbic acid ,ammonia,ABA,ويحتمل وجود مجموعة من المثبطات بما فيها المواد المحررة للسيانيد والحررة للامونيا والمركبات الفينولية واشباه القلويدات والاحماض العضوية والزيوت لا ان حامض الابسسك ABAيعد المثبط الطبيعي الاكثر فعالية .والكثير من مثبطات الانبات يحتمل ان تنضح او تخرج من نبات وقد تثبط النمو او انبات البذور لنبات من نوع اخر ان النباتات التي تظهر هذا النوع من السلوك التنافسي يطلق عليها بالاليلوباثيك Allelopathic.

اما المثبطات الصناعية للانبات في المبيدات العشبية التجارية مثل(4,2-D)يثبط انبات بذور الحشائش.

كمون البراعم Bad Dormancy

دخول البراعم في حالة كمون في اواخر الصيف وخروجها من هذه الحالة في الربيع التالي لتكون نموات ورقية وزهرية جديدة وهذا الكمون يمكن كسرة بالمعاملة بالبرودة ،وفضلا عن درجة الحرارة فان التاقت الضوئي وقلة توافر الماء تؤثران في كمون البراعم .

التاقت الضوئي وكمون البراعم Photoperiodism and Bud Dormency

ان تقصير مدة النهار المتزامنة بقدوم الخريف والشتاء تعد العامل الاكثر اهمية في كمون براعم الانواع الخشبية وقد اوضح Wareing ان كمون البراعم في هذه الانواع يحدث بسبب ظاهرة التاقت الضوئي تحصل بطوال النهار القصير وتزال بطوال النهار الطويل .

استقبال (ادراك)الحافز الضوئي Perception of light stimulus

لا تعد الاوراق في كل حالات الكمون هو العضو المستقبل لحافز التاقت الضوئي ففي بعض الحالات يحفز كمون البراعم ويستمر بعد سقوط الاوراق ،وكما هو الحال في الاستجابة الزهرية فان استجابة البراعم للتاقت الضوئي يتحكم فيها طول مدة الظلام وليس مدة الاضاءة .

الهرمونات المحفزة للكمون Dormancy –Inducting Hormones

هناك ارتباط قوي بين ال ABA وكمون البراعم وقد اوضح الباحثون ان العصارة المستخلصة من نسيج الخشب للنباتات ذات البراعم الكامنة تحتوي على مستويات اعلى من الABA عن تلك للعصارة لنباتات ذات البراعم غير الكامنة وان تكشف البراعم يحدث عندما تنخفض مستويات حامض الابسسك ABA،وان تأثير ال ABAفي تحفيز كمون البراعم يمكن التغلب عليه باضافة حامض الجبريليك GAوهذا يدل على ان الجبريلينات الطبيعية يحتمل ان تساهم في تنظيم كمون البراعم.

المركبات التي تكسر كمون البراعم Compounds Breaking Bud Dormancy

ان تنظيم كسر الكمون له اهمية اكاديمية فضلا عن اهميته التطبيقة الاقتصادية ،فالتحكم بكسر الكمون بستعمال مركبات فعالة (مؤثرة)ومن هذه المواد :

1- المركب 2-Chloroethanol
2- الثايوريا Thiourea
3- الجبريلينات Gibberellins

كسر الكمون من خلال تحرير الجين Breking of Dormancy through Gene Derepression

وجد Tuan and Bonnerان معاملة براعم البطاطا بمادة ethylenechlorohydrin بسب بناء سريع الRNA في البراعم ،وان اضافة ال GAالى انسجة نباتية كامنة معينة يمكن ان يحفز بناء RNAوبناء بروتين جديد وبذلك فان GA يحتمل له قابيلة على تحرر الجينات المثبطة .