# الفهـــــــرس

**المقدمة** 1

**الجزء الأول : النمو والتطور Croissance et développement**

**1. الهرمونات النباتية Phytohormones** ..... 2

1. تعريف الهرمونات ..... 2
2. انواع الهرمونات ..... 2
   1.2. الهرمونات منشطة للنمو ..... 2
      1.1.2. الأوكسينات Auxines ..... 2
      2.1.2. الجبرلين Gibbérellines ..... 4
      3.1.2. السيتوكينين Cytokinines ..... 5
   2.2. الهرمونات مثبطة للنمو ..... 6
      1.2.2. حمض الأبسيسيك Acide Abscissique ..... 6
      2.2.2. الإيثيلين Ethylene ..... 7

**2. الإنبات La Germination** ..... 8

1. تعريف الإنبات ..... 8
2. الظواهر المميزة للإنبات ..... 8
3. المظاهر الفيزيولوجية للإنبات ..... 8
4. الحياة البطيئة ..... 10
5. العوامل المتحكمة في الإنبات ..... 10
   1.5. العوامل الخارجية ..... 10
   2.5. العوامل الداخلية ..... 11
      1.2.5. سكون البذور la dormances des semences ..... 11
      2.2.5. مثبطات الانبات ..... 12
6. التغيرات البيوكيمائية التى تحدث أثناء الإنبات ..... 12
7. أنماط الإنبات ..... 13

**3. النمو Croissance** ..... 14

1. تعريف النمو ..... 14
2. توزيع وأماكن النمو ..... 14
3. المظهر الخلوي للنمو ..... 15
4. الظواهر الفيزيولوحية لزيادة حجم الخلية ..... 16
5. مظاهر حركية النمو Cinétique de croissance ..... 16
   1.5. المعايير المستعملة ..... 17
   2.5. المقاييس المستعملة ..... 17
6. دورية النمو Périodicité de croissance ..... 18

7. العوامل المؤثرة على النمو..... 18
1.7. عوامل داخلية..... 18
1.1.7. عوامل غذائية..... 18
2.1.7. عوامل هرمونية..... 19
3.1.7. عوامل وراثية..... 19
2.7. عوامل خارجية..... 19

**4. الإزهار Floraison..... 22**

1. تعريف الإزهار..... 22
2. بداية ظهور ونمو الأزهار..... 22
3. المظاهر الخارجية والخلوية (الفيزيولوجية) للإزهار..... 23
4. الإخصاب المضاعف Double fécondation..... 24
5. العوامل المؤثرة على الإزهار ..... 24
1.5. التغذية..... 24
2.5. الفترة الضوئية (التواقت الضوئي) Photopériodisme..... 25
1.2.5. تأثير الفترة الضوئية..... 25
2.2.5. تقسيم النباتات حسب متطلباتها الضوئية..... 25
3.5. تأثير درجة الحرارة المنخفضة (الارتباع) Vernalisation..... 26
4.5. الفترة الحرارية Thermoperiodisme..... 27

**الجزء الثاني: التغذية الكربونية والمعدنية Nutrition carbonée et minérale**

**1. التغذية الكربونية Nutrition Carbonée..... 28**

**1.1. التمثيل الضوئي Photosynthèse..... 28**

1.1.1. ملاحظة عملية التمثيل الضوئي..... 28
2.1.1. الجهاز التمثيلي..... 28
3.1.1. آلية التمثيل الضوئي..... 30
4.1.1. تقسيم النباتات حسب طريقة تثبيت $CO_2$..... 31
1.4.1.1. تثبيت الـ $CO_2$ عند النباتات ثلاثية الكربون $C_3$ (حلقة CALVIN)..... 31
2.4.1.1. تثبيت الـ $CO_2$ عند النباتات رباعية الكربون $C_4$ (حلقة HATCH et SLACK)..... 33
3.4.1.1. تثبيت الـ $CO_2$ عند النباتات العصيرية Crassulacean acid Metabolism (CAM)..... 34
5.1.1. العوامل المؤثرة على التمثيل الضوئي..... 36

**2.1. التنفس الضوئي Photorespiration..... 38**

1.2.1. خصائص التنفس الضوئي..... 39
2.2.1. العوامل المؤثرة في التنفس الضوئي..... 40

**3.1. التنفس Respiration..... 41**

1.3.1. الميتوكوندري..... 41
2.3.1. آلية التنفس..... 42
3.3.1. العوامل المؤثرة على عملية التنفس..... 44

**2. التغذية المعدنية Nutrition minérale..... 46**

1. طرق دراسة التغذية المعدنية للنبات:..... 46
1.1. الطريقة التحليلية Méthode Analytique..... 46
2.1. الطريقة التركيبية Méthode synthétique..... 48
2. التركيب المعدني للنبات..... 49
3. أدوار العناصر المعدنية وأعراض نقصها..... 49
1.3. العناصر الكبرى..... 49
2.3. العناصر الصغرى..... 51
4. تأثير مختلف جرعات عنصر ما على النبات..... 52
**3. التغذية الآزوتية Nutrition Azotée..... 54**
1. مصادر المركبات النتروجينية..... 54
2. دورة النيتروجين..... 54
3. الدبال Humus..... 55
4. تثبيت النيتروجين من طرف البقوليات..... 56
**4. امتصاص وانتقال العناصر المعدنية..... 56**
1.4. امتصاص العناصر المعدنية..... 56
2.4. انتقال العناصر المعدنية..... 57
3.4. العوامل المؤثرة على امتصاص العناصر المعدنية..... 58
4.4. العوامل المؤثرة على المحتوي المعدني في النبات..... 59
**قائمة المراجع ..... 60**

# مقـــــــدمة

علم فيزيولوجيا النبات وهو أحد فروع علم النبات يختص بدراسة ومعرفة الطريقة التى تؤدى بها النباتات ظواهر الحياة هذه الظواهر الحيوية المختلفة تأخذ مكانها فى داخل خلايا النبات وكل عضو من أعضاء النبات يختص بتأدية وظيفة معينة ولو أن هناك ترابطا بين هذه الوظائف التى تؤثر وتتأثر ببعضها البعض.

ويعد علم فيزيولوجيا النبات من أهم دعائم علم الزراعة لذلك فإن كل تقدم فى علم فيزيولوجيا النبات يتبعه حتما تقدم فى ميدان علم الزراعة وإنتاج المحاصيل، وإذا تمعنا فى العمليات الزراعية المختلفة التى تجرى فى الحقل من خدمة التربة قبل الزراعة وعمليات الخدمة أثناء نمو النبات من رى وتسميد وغيرها لوجدنا أنها عمليات يقصد منها تهيئة وإعداد البيئة المحيطة بالنبات إعداداً يسهل للنبات نموه وازدهاره وبالتالى اعطاء أحسن محصول.

ويرتبط علم فيزيولوجيا النبات بفروع علم النبات المختلفة التى بدورها ترتبط بعضها البعض لذلك توجد علاقة وثيقة بين الظواهر الفيزيولوجية والبيئة الخارجية التى ينمو فيها النبات، وسنتناول أثناء دراستنا توضيحا لما سبق ذكره، حيث نتطرق اولا الى دراسة فيزيولوجيا النمو والتطور وذلك من خلال معرفة الهرمونات النباتية ثم الإنبات فالنمو واخيرا الإزهار.

النمو هو الصورة الطبيعية التى تبديها النباتات لذا فكان لزاما ان نعرف كيفية النمو بالنبات وهل ينمو النبات بصورة عشوائية ام هناك مواد تتحكم او تهيمن على نموه وتطوره فهذا سيتضح من خلال دراسة الهرمونات النباتية أو منظمات النمو الطبيعية التى يفرزها النبات بتركيزات ضئيلة فى أماكن معينة من أعضائه وتبدى نشاطها فى مناطق اخرى.

في الجزء الثاني سنتناول دراسة فيزيولوجيا التغذية بشتى اشكالها من التغذية الكربونية والمعدنية وآزوتية، وذلك بدراسة الأيض بالنبات فهناك الية تبنى والمتمثلة فى عملية البناء الضوئي والية أخرى تعمل على إنتاج الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية المختلفة والممثلة فى عملية التنفس ودراسة العوامل المساعدة العضوية والمتحكمة فى ديناميكة التفاعلات الأيضية المختلفة بالخلية النباتية.

ودراسة ميكانيكية امتصاص الماء والأملاح من التربة بواسطة المجموع الجذرى للنبات وكيفية انتقالها من الجذور حتى تصل الى أعلى قمة بالساق وتوضيح أهمية الماء للنبات والذي يمتصه بكمية كبيرة ولكن القليل منه يمتص خلال العمليات الحيوية المختلفة والجزء الأكبر منها يخرج على هيئة بخار ماء من خلال فتحاته الثغرية المنتشرة على أوراقه.

ولكى نحصل على معلومات كافية عن ظواهر الحياة فى النبات يلزم أن ندرس بدقة جميع العمليات الحيوية الهامة التى يقوم بها النبات خلال أدوار حياته المختلفة وأهميتها له بوصفه كائن حى ينمو ويحس ويتحرك....، وكذلك يلزم دراسة المواد التى ينتجها النبات داخل جسمه ومدى استخدامه لهذه المواد.

# الجزء الأول النـــــــمو والتـــــــطور Croissance & Développement

## I. الهرمونات النباتية Phytohormones:

### 1. تعريف الهرمونات:

الهرمونات النباتية هي مواد عضوية تنتج طبيعيا فى الأنسجة النباتية النشطة بتراكيز منخفضة جداً وتعمل على التحكم والتأثير في عمليات فيزيولوجية معينة (مسئولة عن تنظيم النمو في النبات)، كما أنها غالبا ما تنتقل من مكان بنائها الى مكان تأثيريها. تتحكم الهرمونات النباتية فى نمو وتطور الأعضاء النباتية المختلفة ولا يقتصر تأثيرها على عمليات التمثيل الغذائي بل يتعداها الى الكثير من العمليات الفيزيولوجية المتخصصة.

### 2. انواع الهرمونات:

تقسم الهرمونات النباتية الى مجموعتين: - مواد منشطة للنمو. - مواد مثبطة للنمو.

### 1.2. الهرمونات منشطة للنمو:

#### 1.1.2. الأوكسينات Auxines:

الأوكسين هو أول الهرمونات النباتية اكتـــشافا وقد استـــطاع Kogel مع مســـاعديه سنة 1934 إستـــخلاص acide β-Indole acétique (AIA) من القمم النامية لنبات الذرة وقد أطلق عليه لفظ أوكسين وهو مأخوذ من اللغة اليونانية التي تحتوي على المقطع Auxo والذي يعني ينمو وقد أثبت Went عام 1938 تأثير الأوكسين لأول مرة على انحناء غمد الشوفان، قام Kogel و Kastermaus باستخلاص الأوكسين من الخميرة ثم أستخلصه Thimann من فطر *Rhizopus surinus* ووجد أن وزنه الجزيئي يقترب من 175 وأنه نفس مادة acide β-Indole acétique، وثبت فيما بعد أن الأوكسينات توجد في جميع النباتات الوعائية الراقية وتنحصر أماكن تكوينها في المناطق المرستيمية والأنسجة النشطة وأجنة البذور وأن لها خاصية الانتقال القطبي وتختلف سرعته من 0.5 - 15 سم/ساعة تبعا للنوع والعمر ونوعية النسيج الناقل وبعد اكتشافه أصبح يطلق لفظ أوكسين على مجموعة من مركبات تتشابه في تأثيرها الفيزيولوجي رغم تباينها الكيميائي وعموما فإن لفظ الأوكسين يستعمل للدلالة على المادة العضوية التي تزيد النمو زيادة غير عكسية.

**1- بناء الأوكسين:** يعتقد أن بناء الأوكسين داخل الكائنات النباتية الراقية يتم عن طريق الحامض الأميني Tryptophane ينتقل الاوكسين نحو الاجزاء الخضرية والمجموع الجذري **قطبيا (وحيد الاتجاه)** وذلك عبر انسجة اللحاء في السيقان وعبر الانابيب الغربالية في الاوراق وعن طريق الاسطوانة المركزية في الجذور.

**2- هدم الأوكسين:** يتم هدم الاوكسين إما عن طريق الأكسدة الضوئية Photooxidation أو الاكسدة الأنزيمية enzymatique réactions وقد اقترح أن الضوء يؤثر في هدم الاوكسين عن طريق تنشيطه لصبغة الغلافين، وقد ثبت أن مركبي 3-

Méthylène 2-oxindole و Indole aldéhyde من أهم نواتج الهدم الضوئي وهما من المركبات المثبطة لذلك من الممكن أن يرجع تثبيط النمو بالضوء أساسا الى تكوين هاتين المادتين في الأنسجة النباتية، أما الهدم الأنزيمي فيتم من خلال نظام إنزيمي يعرف بـ AIA oxydase

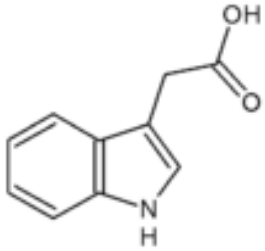
ولقد اتفقت كثير من الدراسات على ان معظم النباتات تحتوى على النظام الإنزيمي AIA oxydase والذى يعمل كوسيط كيمائي لهدم الاوكسين الطبيعى AIA مع انطلاق ثانى أكسيد الكربون واستهلاك الأوكسجين بكميات مماثلة وقد وجد أن جميع الإنزيمات المقترحة تشترك في حاجتها لوجود الفينولات كعامل مساعد.

**3- انواع الأوكسينات:** لقد أمكن التعرف على العديد من أنواع الأوكسينات وبصورة عامة يمكن تقسيمها الى عدة مجاميع رئيسة :

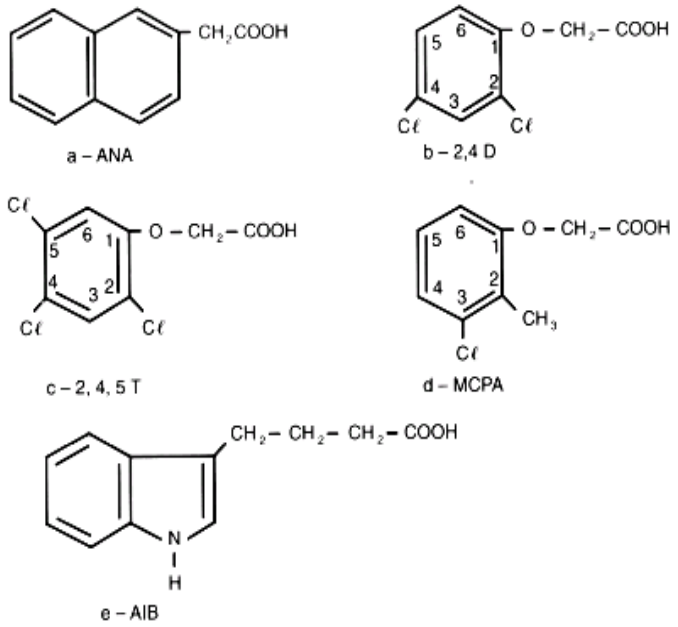
1- الأندولات ومنها acide indole 3- acétique وبرمز له AIA و acide Indole butyrique وبرمز له AIB.

2- مشتقات حمض النفتالين ومنها ANA acide 1- naphtalène acétique

3- مشتقات حمض الكلوروفينوكسي مثل 2,4-D acide 2,4-dichlorophenoxy acétique.




Acide indole 3- acétique AIA




**الشكل1**: الصيغ الكيميائية لبعض انواع الأوكسينات

**4- وظائف الأوكسينات:** يعمل على:

1- تحفيز الانقسام الخلوي واستطالة الخلايا.

2- يحفز النمو الثانوي بزيادة خلايا الكامبيوم.

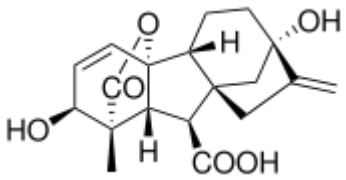
3- التحفيز على تمايز الأنسجة مثل أنسجة الخشب واللحاء، وتمايز الأجزاء النباتية كالبراعم الخضرية والبراعم الزهرية.

4- تحفيز تكون الجذور العرضية في العقل.

5- المعاملة بالاكسين تطيل العمر الخضري للنبات.
6- تحفيز السيادة القمية وتثبيط نمو البراعم الجانبية كما في البطاطا والأعناب والحمضيات.
7- تحفيز عقد الثمار.
8- انتاج ثمار خالية من البذور.
9- يؤثر في الانتحاء الضوئي والجنري.
10- يمنع تكوين الازهار (يستعمل في انتاج المحاصيل الورقية والخضروات).

### 2.1.2. الجبرلين Gibbérellines:

اكتشف الجبرلين باليابان حيث عزله Kurasawa سنة 1926 من فطر *Gibberella fujikurai* الذى كان ينمو مع نباتات الأرز ويسبب لها الرقاد نتيجة استطالة النباتات بشكل غير عادى لما ينتجه من إفرازات كانت غير معروفة إلى أن تم عزل الجبرلين وثبت أيضا وجوده فى النباتات الزهرية وقد أعطت لهذا الهرمون رمز GA والذي أعطى أرقاماً $GA_3, GA_2, GA_1$ ...، نظرا لاكتشاف عديد من الصور التي تصل إلى اكثر من 80 حمض ويعتبر $GA_3$ اكثر الجبرلينات شيوعا ونشاطا.




**الشكل 2**: الصيغة الكيميائية للجبرلين

**1- بناءه وانتقاله:** يتم بناء الجبرلين حيويا بالقمة النامية الطرفية للنبات خاصة تلك الأوراق الحديثة غير كاملة النمو إلى جانب بناءه بالخلايا الخارجية لقمم الجذور الطرفية الخارجية .وينتقل الجبرلين من مكان بناءه إلى مكان تأثيره فى جميع الاتجاهات ويرتبط فى انتقاله بسرعة انتقال العصارة الناضجة فى النبات حتى يصل لمكان تأثيره عبر انسجة الخشب واللحاء.

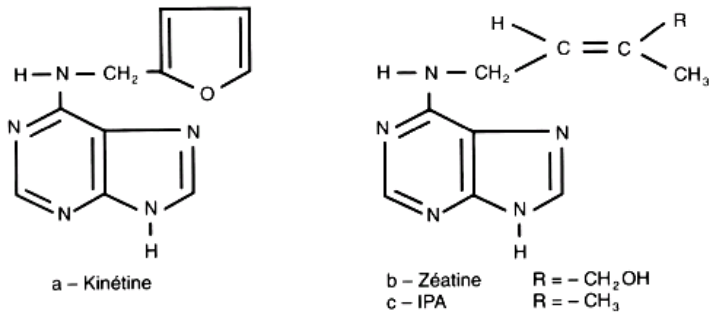
**2- تأثيرات الجبرلين الفيزيولوجية:**

1. كسر سكون البذرة الفيزيولوجي مما يزيد من نسبة الإنبات وانتظامه واختصار مدته.
2. تخفيض مدة الارتباع أو تعويضها تماماً.
3. تنشيط نمو البراعم الساكنة ويستفيد من ذلك فى كسر سكون براعم درنات البطاطا حديثة النضج.
4. تنشيط انقسام واستطالة الخلايا مما يزيد من النمو الخضري خاصا النمو الطولي ولكن لمدة قصيرة يعقبها بطئ النمو.
5. تزهر نباتات النهار الطويل المعاملة به تحت ظروف النهار القصير أي انه يعوض تأثير النهار الطويل فقط.
6. تسرع المعاملة به من تقصير فترة الطفولة كما فى الخرشف والموز.

7. يساعد على تكوين ثمار بكرية كما فى الخوخ والمشمش والتفاح.
8. يضاعف من حجم حبات العنب ويزيد طول حامل الحبات.
9. يؤخر من اكتمال نمو ونضج الثمار وحدوث الشيخوخة مما يسمح بفترة تسويق طويلة فى المشمش والبرقوق والموز.

### 3.1.2. السيتوكينين Cytokinines:

اكتشف فى عام 1941 فى لبن جوز الهند وفى 1964 ثم تمكن Jehan واخرين من اكتشافه فى النبات الزهرية. واكتشف تحت اسم Kinétine إلا انه ثبت أن السيتوكينين الطبيعى فى معظم النباتات هو Zéatine، وقد تم استخلاص الهرمون من الذرة وثبت أنه أقوى من الكنيتين فى بعض الاختبارات الحيوية، وقد أشار الكثيرين إلى عدم وجود الكينيتين فى الأنسجة النباتية بل يوجد الزياتين بدلا منه وثبت أن السيتوكينين يتم بناءه فى القمم النامية للجذور ويتم انتقاله خلال الخشب ليؤثر فى العمليات الفيزيولوجية داخل باقى النبات.




**الشكل 3**: الصيغة الكيميائية للسيتوكينين

**وظائف السيتوكينين:**

1- اهم خصائص ووظائف السيتوكينين هو تأثيره على انقسام الخلايا وهذه الصفة تتخذ أساساً لإثبات وجود السيتوكينين فى العديد من الاختبارات الحيوية.

2-

3- أو تأخير التحلل والموت.

4- التأثير دخول النسيج النباتي فى الشيخوخة

5- إيقاف إيقاف التساقط ومنعه مثل تساقط الأوراق والأزهار والثمار.

6- يمنع الاصفرار لتأثيره الموجب على البروتين والأحتفاظ بمادة الكلوروفيل ومنع تحللها ويعتبر ذلك أحد الاختبارات الحيوية الدالة عليه، وقد أمكن استغلال تلك الفكرة فى تخزين بعض المحاصيل الورقية كما فى الخس والبقدونس وقد وجد انه ينقص من معدل تنفس بعض المحاصيل الورقية فيساعد بذلك على تخزينها كما فى السلق.

7- يزيد من بناء RNA بينما يضل DNA دون تأثير عند المعاملة بالكينيتين وغيره من السيتوكينينات وقد وجد أن الزيادة كانت مؤقتة لمدة 15 دقيقة بعدها يعود مستوى RNA إلى مثيله فى النباتات غير المعاملة.

8- يمنع أو يثبط النشاط الإنزيمي الخاص بجميع العمليات الفردية للشيخوخة مثل منعه لنشاط إنزيمي Dehydrogenase الخاص بدورة pentose phosphate كما يساعد على انخفاض نشاط إنزيم الريبونيوكليز حيث انه من المعروف أن دخول النسيج النباتي فى الشيخوخة يصحبه زيادة فى نشاط الريبونيوكليز.

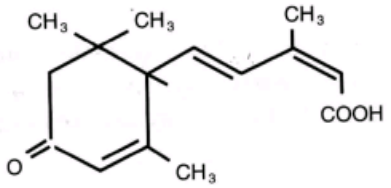
9- ومن التطبيقات الهامة للسيتوكينين هو تأثيره هي السيادة القمية فتؤدى المعاملة به تشجيع تكوين البراعم الجانبية فى الورقة ومن تأثيراته إنهاء طور الراحة فى نباتات الفاكهة وقد أمكن إنتاج بعض أنواع الفاكهة بكرياً كما فى المانجو بالمعاملة بالكينيتين مع مخاليط من GA .

### 2.2. الهرمونات مثبطة للنمو:

تؤدى معيقات النمو إلى إعاقة أو تثبيط النمو بتقليل تأثير المنشطات السابقة الذكر فيظهر تأثيرها على النمو والتطور وتتمثل في حمض الأبسيسيك وغاز الإيثيلين.

#### 1.2.2. حمض الأبسيسيك Abscissic Acid (ABA) Acide Abscissique:

تحصل Okuma سنة 1963 على مادة معيقة للنمو من نبات القطن وفى عام 1964 تمكن Addicott وآخرون من جامعة كاليفورنيا من دراسة ظاهرة التساقط (الأوراق والثمار) فى نبات القطن أيضاً وأمكن عزل وتعريف تلك المادة الهرمونية المسببة للتساقط عرفت باسم Abscissin II تميزا لها عن مادة Abscisin السابقة عزلها ولم يحدد وقتها تركيبها الكيماوي، وقد أخذت هذه المادة تسميتها من تأثيرها فى إحداث منطقة الانفصال Abscission zone فى الورقة وبتحديد تركيبها البنائي وجد أنها مادة Dormin المشتركة فى سكون البراعم وعلية فمادة Dormin هي مادة Abscisin ، يبنى حمض الأبسسيك فى الأنسجة والأوراق البالغة التامة النمو.




**الشكل 4:** الصيغة الكيميائية لحمض الأبسيسيك

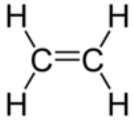
**تأثيرات حمض الأبسسيك الفيزيولوجية:**

1. الشيخوخة والتساقط يسرع من فقد الكلوروفيل ويسرع من دخول العضو فى طور الشيخوخة ويؤدى إلى تساقط الأوراق والثمار.
2. يثبط نمو القمة النامية فى بادرات النجيليات والسويقة فوق الفلقتين للشوفان وبادرات الأرز.
3. يحدث حمض الأبسيسيك حالة سكون فى بعض متساقطات الأوراق والنباتات الخشبية كما يطيل سكون درنات البطاطا وبراعم الموالح.
4. يمنع الإنبات إذا عوملت به البذرة.
5. يمنع الإزهار فى نباتات النهار الطويل منعا كاملا.
6. تؤدى المعاملة إلى زيادة محصول درنات البطاطس وربما يفسر ذلك على أساس تثبيط النمو الخضري.

### 2.2.2. الإيثيلين Ethylene:

ينتج الإيثيلين بشكل طبيعي من قبل بعض أنواع الفاكهة ومنها التفاح والأجاص، هذا الغاز مسئول عن العديد من التغيرات التي تصاحب عملية نضج الفاكهة، كتغير اللون والليونة، في عام 1910 لاحظ Cousinsعند شحن البرتقال مع الموز في حاوية واحدة فإن الموز ينضج مبكرا. ويستخدم المزارعون التجاريون الإيثلين لغرض إنضاج المحاصيل التي يتم جنيها قبل أن يكتمل نضجها كالموز والأجاص، ويرجع الفضل فى اكتشافه إلى تطوير جهاز الفصل_الكروماتوغرافى بالغازات Chromatographie à gaz-liquide.

وقد ترجع بداية قصة الإيثيلين إلى ملاحظة أن غاز الإنارة Gaz d'illumination يؤثر على نمو النبات ويسبب تساقط الأوراق فقد وجد أن الإيثيلين يسبب اصفرار ثمار الحمضيات كما يسرع إنضاج ثمار التفاح.



**الشكل 5:** الصيغة الكيميائية للايثيلين

**1- البناء الحيوى للأثيلين:** يعد الحامض الأميني المثيونين Methionineهو البادئ لإنتاج الإيثلين وقد أمكن التحقق من ذلك باستخدام نظير الكاربون 14.

**2- التأثيرات الفيزيولوجية لغاز الإيثلين:**

1- يؤثر الإيثلين على إنبات البذور ونمو البادرات وعلى تحمل الضغط الميكانيكي الواقع عليها من حبيبات التربة أثناء إنباتها وذلك بزيادة سمكها وبالتالى زيادة قوتها الميكانيكية والتقليل من ضرر الاحتكاك بحبيبات التربة.

2- يؤثر الإيثلين على فترات السكون في البذور والدرنات والأبصال والبراعم فقد وجد أن للأثيلين تأثيرا على نمو براعم درنات البطاطا وتشير أبحاث كثيرة إلى أن الايثيلي يزبد من نمو براعم كثيرة في الايصال والجذور والعقل الخشبية.

3- يشجع بدء تكوين ونمو الجذور والشعيرات الجذرية ولكنه يقلل من استطالتها وكذلك يقلل استطالة السيقان.

4- له دور منظم في استجابة السيقان والجذور للجاذبية الأرضية (الانتحاء الأرضي) والانتحاء الضوئى للسيقان وعلى السيادة القمية.

5- يؤثر في بدء التساقط الصيفى.

6- للإيثيلين دور هرمونى مهم في تشجيع تكوين البراعم الزهرية لبعض المحاصيل فقد شجع إزهار الأناناس والقطن وزيادة عدد الأزهار المؤنثة في القرعيات.

7- يساعد على إنبات حبوب اللقاح ونمو أنبوب اللقاح.

8- يساعد على بدء عملية النضج وقد اثبتت الابحاث الحديثة أنه تحت الظروف الطبيعية يتراكم تركيز فيزيولوجي داخل الانسجة كاف لبدء نضج الموز والبطيخ والطماطم والتفاح وغيرها.

9- حديثا وجد أن لهذا الغاز علاقة مباشرة بتصنيع البروتين من خلال تأثيره على معدل تصنيع البروتين ونوعيته عن طريق تحكمه في تصنيع ARN وإنتاج الأنزيمات.

## 2. الإنبات La Germination:

### 1. تعريف الإنبات:

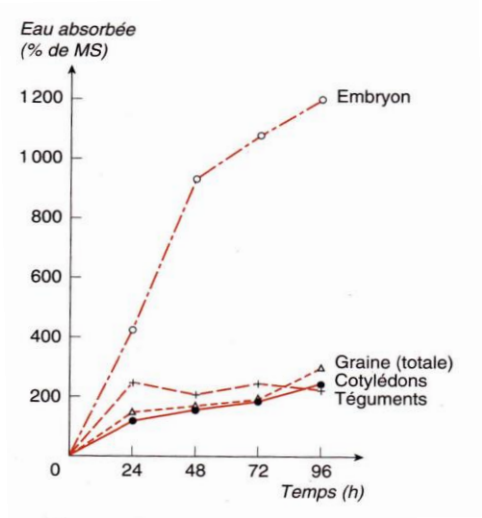
يطلق لفظ الإنبات Germination فى البذور على استعادة النشاط عند الجنين حتى تتمزق أغلفة البذرة ويبرز منها النبات الصغير. كما يمكن تعريف عملية الإنبات بأنها: **المراحل الفيزيولوجية التي تبدأ بامتصاص البذرة للماء (التشرب Imbibition) والتى يتبعها تمزق غطاء البذرة وظهور الجذير**. يصاحب تلك المظاهر المورفولوجية انقسام الخلايا واستطالتا مع زيادة النشاط الحيوى من هضم للغذاء وتمثيله.

### 2. الظواهر المميزة للإنبات:

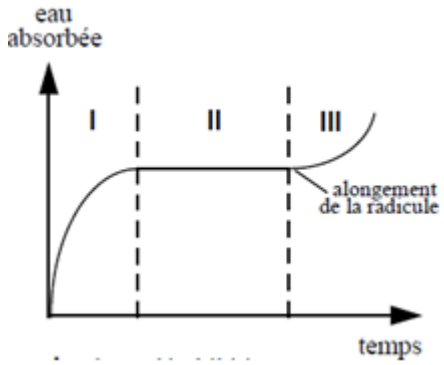
إن الخطوة الابتدائية في الإنبات هي تشرب الأنسجة المختلفة للبذرة بالماء ويؤدي هذا إلى زيادة في حجمها، كما تؤدي زيادة الرطوبة في أغلفة البذرة إلى الزيادة في نفاذيتها بالنسبة $CO_2$ و $O_2$ زيادة واضحة في حين تكون هذه النفاذية ضئيلة جدا عند البذور الجافة، ويساعد انتفاخ البذور على تمزق أغلفتها ولما تنبت البذرة يزداد حجم جنينها حيث يندفع تدريجيا (اثر انقسام الخلايا المكونة له) باتجاه الأغلفة التي تحيط به مع هضم المواد الادخارية المتراكمة داخل البذرة والتي تسمح للجنين أن يصبح مستقلا غذائيا.

### 3. المظاهر الفيزيولوجية للإنبات:

**1- تشرب البذور:** إن امتصاص الماء من طرف البذور أثناء التشرب يتم بفضل الضغط الاسموزي المبذول من طرف هذا العضو الناتج عن المواد المخزنة، فتكون قيمته عالية حيث تزيد في بعض الأحيان عن 1000 ض ج في البذور الجافة كالقمح والأرز والبازلاء، وهذا الضغط الامتصاصي العالي ناتج إلى غناء البذور بالمواد المخزنة وخاصة المواد الغروية المحبة للماء، ويلاحظ بأن كمية الماء الممتصة من البذرة تختلف من جزء لآخر من البذرة (الشكل 6)، فهي تختلف من الجنين إلى الأغلفة إلى الفلقتين، فإذا تتبعنا تعاقب كمية الماء الممتصة من طرف البذور أثناء إنباتها نتحصل على المنحنى البياني التالي: (الشكل 7):




**الشكل 6:** كمية الماء الممتصة من البذرة من مختلف أجزاء البذرة




**الشكل 7:** المراحل الثلاثة لامتصاص الماء اثناء الانبات

- المرحلة الأولى تتمثل في امتصاص كبير للماء في وقت قصير.
- المرحلة الثانية وهي مرحلة الانبات حيث تدوم مدة أطول حسب النباتات.
- المرحلة الثالثة وهي النمو الخضري الذي يتطلب كميات أكبر من الماء ويكون امتصاص الماء بطريقة سالبة وآلية.

**2- هدم المواد المخزنة:**

**- المواد المعدنية:** إن كميات المواد المعدنية المخزنة في البذور لا تتغير بصورة حساسة أثناء الإنبات، لكن ما يتغير في هذه المواد هو توزيعها داخل أجزاء البذرة وخاصة انتقالها من أعضاء التخزين نحو أعضاء النبتة (البادرة plantule)، يتمثل هذا التغير في انتقالها من أجزاء الخزن إلى مرستيمات البادرة الصغيرة التي توجد على قمة الجذير أو قمة السويقة، كما يلاحظ تغير في طبيعة المواد الكيميائية لتلك المعادن.

**- المواد العضوية:** تطرأ عليها تغيرات تسمح باستهلاكها في عملية الإنبات ولو حللنا كيميائيا عينات من البذور في مراحل متعاقبة من إنباتها لوصلنا إلى أن النشويات والزيوت في البذرة تتناقص بشكل واضح ومستمر خلال عملية الإنبات وذلك وفقا للعمليات التالية:

- تحليل هذه المواد (النشويات) عن طريق التميه.
- تماثل تركيب النشويات.
- تشبع الزيوت وتبسيط البروتينات إلى أحماض امينية.

**3- التنفس:** تختلف شدة التنفس من البذرة الجافة إلى البذرة أثناء الإنبات، تزداد شدة التنفس في المراحل الأولى للإنبات التي تنقسم إلى 5 مراحل: اثناء المرحلة الأولى التي تكون قبل اليومين الأولين فهذه المرحلة تتمثل في اخذ سريع لكمية عالية من الأكسيجين وتدوم هذه المرحلة إلى المرحلة الثانية لكن الشدة تقل هنا عما كانت عليه في المرحلة الأولى، وأثناء المرحلة الثانية والثالثة تقل المواد المدخرة المكونة من نشاء وسكريات عموما، وفي المرحلة الرابعة تهضم المواد المكونة من زيوت وبروتينات والمواد الدهنية، تتابع شدة التنفس في التقهقر، أما في المرحلة الخامسة فتزداد شدة التنفس من جديد وهذا لان البذرة أصبحت عبارة عن نبات قادر على تمثيل غذائه ويزداد في نموه ومعه تزداد الشدة التنفسية.

**4. الحياة البطيئة:**

**1- تعريف الحياة البطيئة:** تتمثل في درجات من التوقف البسيط للنمو أين يكون نشاط الخلايا عاديا في الحياة البطيئة بكل دقتها حيث لا نستطيع الا بعد دراسة معرفة عدم موت الأنسجة والأعضاء المعنية، فالحياة البطيئة تشكل نوع من المقاومة للظروف غير الملائمة كما تسمح حسب كثير من الباحثين بتوزيع الأصناف النباتية وتسبب التنوع البيولوجي.

**2- مراحل الحياة البطيئة:** تتصف البذور الجافة بخاصية حيوية هامة تتمثل في قدرتها تحت ظروف غير مناسبة بالدخول في الحياة البطيئة او الحياة الهادئة، وقبل الدخول في الحياة البطيئة تتم شروط تمهيدية تتمثل في:

1- تكوين مواد ادخارية وذلك أثناء تكوين البذور ونضجها وهذا ما يسمح للبذرة بالبقاء بدون تغذية ولا تمثيل وهذا ما يساعد على الرجوع إلى الحياة النشيطة فيما بعد

2- نقص مقدار الماء في البذور الجافة وعلى إثره تنخفض وتيرة الحياة بطريقة كبيرة فيصبح التنفس وتحرير الطاقة ضئيلان وتنعدم التبادلات الغذائية فيتوقف نمو البذور فتقتصر فعالية الايض على الحد الأدنى لإنتاج الطاقة الضرورية للحفاظ على البنية الخلوية، فهذا التقليل المؤقت لحيوية البذور يسمح لها بالدخول في الحياة البطيئة وهذا قابل للتراجع.
3- اكتساب الأنسجة والأعضاء التي توجد في الحياة البطيئة قدرة عالية لمقاومة الظروف غير الملائمة كالبرد، الحرارة العالية، الجفاف.

**3- الدخول في الحياة البطيئة والخروج منها:** ينتج عن الدخول في الحياة البطيئة إما عن خاصية داخلية في النبات او تحت تأثير عوامل خارجية كطول الفترة المضيئة ودرجة الحرارة العالية او نقص في الماء.

لا يمكن اعتبار الحياة البطيئة هي تقليل من النشاط فقط لكن كتغيير حقيقي لحالة الخلايا النباتية مما يؤدي إلى تغيرات الظاهرية (مورفولوجية) وفيزيولوجية لذا فالرجوع إلى الحياة النشيطة العادية للجنين يكمن في توفر الشروط الخارجية وخاصة الشروط الداخلية (النضج الفيزيولوجي لهذه الأعضاء).

**5. العوامل المتحكمة في الإنبات:**

لكـى يحـدث الإنبات لبذور النباتات يشترط توافر عدة عوامل خارجية وداخلية هي:

**1.5. العوامل الخارجية:**

بصفة عامة يتطلب إنبات أنواع كثير من البذور اربع عوامل خارجية على الأقل قبل الدخول في الإنبات وهي:

**1- الماء:** لا يمكن إنبات البذور إلا إذا توفرت نسبة كافية من الماء، وبتوفره تبدأ سلسلة من العوامل الايضية التي تؤدي الى ظهور البادرات او النبتات الصغيرة، وكمية الماء تختلف او تتغير حسب:

- طبيعة البذور (الصحراوية تتطلب كمية قليلة من الماء عكس البذور التي تنمو في المناطق الرطبة).
- درجة حرارة الوسط.
- تركيب التربة الموجدة فيها هذه البذور.

**2- التهوية:** تسير عملية التنفس في البذور النابتة بمعدل سريع خاصة في المراحل الأولى من عملية الإنبات، ويتوقف معدل استهلاك الأكسجين على نوع الغذاء المخزن والذي سيتم أكسدته، فالنسبة المؤوية لـ $O_2$ اللازمة للإنبات متغيرة من فصيلة لأخرى، وعلى هذا الأساس فالأرز يتمكن من الإنبات في وسط خالي من الهواء (وسط مائي) بينما يقل إنبات بذور القمح او الشعير تقارب نسبة $O_2$ 5%.

**3- درجة الحرارة:** تؤثر درجة الحرارة على عملية الإنبات بطرق مختلفة، فدرجة الحرارة تؤثر على درجة دخول المـاء الى البذرة، كذلك فإن ارتفاع درجة الحرارة يقلل من مقاومة الاغلفة لخروج الجذير.
يوجد عند النباتات حد أدنى لا يمكن الإنبات تحته وهذا ما يسمى بصفر الإنبات (zéro de germination) وعلى هذا الأساس قسمت النباتات إلى نباتات صيفية وأخرى شتوية: القمح (3-5) °م، الذرة (8-10) °م، ودرجة الحرارة المثلى تؤدي إلى إنبات أحسن وهناك درجة حرارة عالية لا يمكن الإنبات فوقها.

**4- الإضاءة:** يكون الإنبات أفضل في كثير من الحالات عندما تتعرض لبذور للإضاءة لكن هذا العامل يعطل الإنبات عند نباتات أخرى، هناك بذور حساسة للضوء أى لا تستطيع الإنبات إلا إذا تعرضت للضوء ولو لفترة قصيرة ومن أمثلتها بذور شجرة عيد الميلاد وبعض أصناف الخس، كما أن هناك بذور حساسة للظلام أى يلزم لإنباتها ألا تتعرض للضوء أثناء الإنبات ومن أمثلتها بعض أنواع جنس البصل، كما أن إنبات بعض البذور مثل الدخان لا يتأثر كثيراً بتوافر الضوء أو الظلام حيث وجد أن الإنبات يكون أسرع فى الضوء عنه فى الظلام إلا أن الظلام لا يوقف الإنبات تماماً ولكنه يبطئه، كما لوحظ أن تأثير الضوء على الإنبات يتأثر بالعوامل البيئية الأخرى، لوحظ أن الإنبات فى بعض البذور يكون مصاحباً للاستجابة للفترة الضوئية (تعاقب فترات النهار والظلام).

### 2.5. العوامل الداخلية:

تختلف مدة احتفاظ البذور بحيويتها من جنس لآخر ومن نوع لآخر وقد تتراوح هذه الفترة من عدة أيام إلى عدة سنوات وقد تصل إلى مئات السنين، ومن الجدير بالذكر أنه يمكن احتفاظ البذور بحيويتها لمدة أطول كلما كانت ظروف التخزين مواتية، ومن المعروف أن زيادة نسبة الرطوبة فى البذرة أو ارتفاع درجة الحرارة فى البذور المخزونة يقلل من عمر حيويتها، كما أن إصابة البذور بالأمراض والآفات الحشرية يؤدى إلى تلف الجنين جزئياً أو كلياً مما يؤدى إلى انخفاض حيوية الجنين وبالتالى قدرة البذرة على الإنبات.

وتوجد مجموعة من العوامل الداخلية مؤثرة على الإنبات وهي:

#### 1.2.5. سكون البذور la dormances des semences:

يرتبط الإنبات Germination بنوعين من الشروط (الظروف) الداخلية والخارجية، وقد تتوفر جميع الظروف الخارجية دون الحصول على عملية الإنبات.

إذا لم يحصل الإنبات فنتكلم في هذه الحالة على عدم القدرة على الإنبات إذن نستطيع تعريف الكمون بعدم القدرة الداخلية للرجوع إلى الحياة النشيطة (الكمون هو عدم قدرة أو كفاءة البذور على الإنبات وذلك بالرغم من توفر الظروف البيئية الخارجية)، ويوجد قسمان كبيران من عدم الكفاءة على الإنبات:

1- تتعطل قدرة البذور على نمو جنينها ويكون التعطيل ناتجا عن ظروف داخلية ويطلق عادة على ظاهرة تعطيل إنبات البذور نتيجة أسباب داخلية بالكمون الجنيني dormance embryonnaire.

2- الجنين المعزول عن الأغلفة ينبت بدون إشكال لكن البذرة الكاملة لا تستطيع الإنبات فيرجع السبب إلى الهيكل المحيط بالجنين الذي يمنع عملية الإنبات ويسمي تثبيط النبات Inhibition de la germination أو الكمون اللحائي أو غشائي Dormance tégumentaire.

**1- الكمون الجنيني Dormance embryonnaire:** تمثل هذه الظاهرة الكمون الحقيقي وتميز بعض العائلات كالعائلة الوردية والنجيلية ونميز فيه الحالات التالية:

1- قد يكون الجنين كامنا في وقت جمع الحبوب وبالتالي يكون قد دخل في الكمون أثناء نضج الحبوب ويسمي هذا الكمون بالكمون الأولى Dormance primaire.

2- من الممكن أن يكون الجنين قادرا على الإنبات ومباشرة بعد حفظ الحبوب في ظروف غير ملائمة تضيع منه هذه القدرة ويدخل الجنين في كمون يسمى الكمون الثانوي dormance secondaire.

**2- الكمون اللحائي أو غشائي:Dormance tégumentaire** تفشل أنواع كثيرة من البذور التي تبدو ناضجة في الإنبات حتى ولو توفرت لها جميع الظروف البيئية الملائمة بسبب تثبيط إنباتها والذي يرجع في اغلب الأحيان إلى الأغلفة فيتعلق الأمر إذن بالتثبيط الغشائي او اللحائي، والتثبيطات الغشائية تفسر بإنبات البذور بعد حذف الاغلفة الواقية لها وهذا التثبيط يرجع إلى الأسباب التالية:

- عدم نفاذيتها للماء.
- المقاومة الآلية لهذه الاغلفة.
- كون الاغلفة غير نفوذه للأكسيجين.

**2.2.5. مثبطات الانبات:**

وجود بعض المواد طبيعياً فى البذور قد تسبب سكون البذور وتسمى تلك المواد بمثبطات الإنبات وتوجد هذه المثبطات فى أماكن مختلفة فمثلاً:

- ربما توجد هذه المثبطات فى التراكيب المغلفة للبذرة كما فى الشوفان.
- قد توجد هذه المثبطات فى لب أو عصير الثمار المحتوية على البذور كما فى الطماطم
- قد توجد مثبطات الإنبات فى الأندوسيرم أو جنين بعض البذور.
- ومن أمثلة المثبطات الطبيعية التى تم التعرف عليها مركبات الكومارين ـ الأمونيا ـ حمض الأبسيسيك ـ القلويدات.

ويتم كسر هذا النوع من السكون بإستخدام منشطات الإنبات مثل نترات البوتاسيوم ـ الثيويوريا ـ الجبريلين ـ الكينتين

**6. التغيرات البيوكيمائية التى تحدث أثناء الإنبات:**

عموماً يصاحب عملية الإنبات عدة تغيرات منها الفيزيائية مثل زيادة حجم البذرة وتشقق الغشاء وزيادة وزن البذرة نتيجة لتشرب الماء، ومنها التغيرات الكيماوية التى من نتيجتها هضم وتحلل المواد الغذائية المدخرة إلى مواد بسيطة يمتصها الجنين وينشط فى النمو، ومنها التغيرات الحيوية وما يصاحبها من انقسام الخلايا واستطالتها وما يتبع ذلك من ظهور الجذير والمجموع الخضرى، والغذاء المدخر فى البذرة قد يكون أساساً مادة كربوهيدراتية أو بروتينية أو دهنيه أو خليط منها، وعندما تكون المادة الغذائية المدخرة فى البذرة هى الكربوهيدراتية (النشوية) فأنها تتحلل إنزيمياً بواسطة إنزيمات الأميلاز والمالتاز إلى سكريات أحادية مثل الجلوكوز، والمواد البروتينية تتحلل إنزيمياً بواسطة إنزيمات البروتييز إلى أحماض أمينيه بسيطة، أما المواد الدهنية فيتم تحليلها إنزيمياً بواسطة إنزيم الليبيز إلى جلسرول وأحماض دهنيه.

- يتم استخدام السكريات الناتجة فى عملية التنفس (الأكسدة) للحصول على الطاقة اللازمة للنمو والعمليات الحيوية الأخرى.
- يتم أكسدة الأحماض الدهنية الناتجة من تحلل الدهون خلال أحد مسارين إما مسار Oxidation- α أو المسارOxidation - β، المسار الأول غير مرغوب لضآلة كمية الطاقة الناتجة من خلاله أما المسار الثانى فهو الأكثر

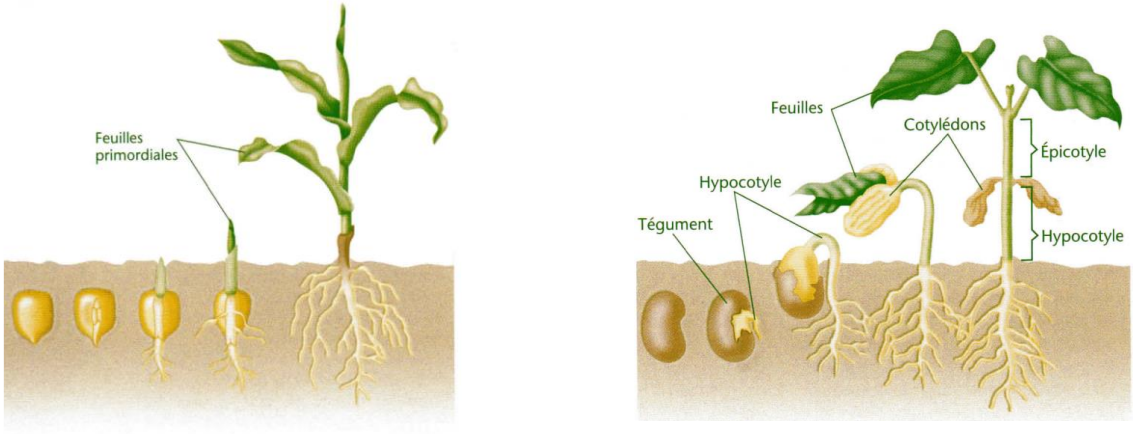
إنتاجاً للطاقة حيث يتكون من خلاله المركب acetylco-A الذى يدخل فى دورة كربس وينتج عنه كمية عالية من الطاقة، والذى يتم فى البذور الزيتية مثل بذرة الخروع أثناء مرحلة الإنبات.

- لوحظ أيضاً زيادة المحتوى من RNA فى فلقات البذور النباتية مع زيادة واضحة فى نشاط وعمل الميتوكوندريا كما لوحظ أيضاً نشاط واضح فى عمل بعض الإنزيمات.
- لوحظ زيادة واضحة فى نشاط إنزيمات الفوسفاتيز التى تقوم بتحليل حمض الفيتيك (الذى يحتوى على نسبة كبيرة من الفوسفات ـ المغنسيوم ـ البوتاسيوم) ويرتبط الفيتيك أيضاً بالأجسام البروتينية فى الخلية، لذلك فإن حمض الفيتيك مهم جداً فى مرحلة إنبات البذرة.
- لوحظ إرتفاع معدل التنفس مع زيادة واضحة فى نشاط الإنزيمات المرتبطة بعملية التنفس فى دوراته المختلفة والمرتبطة أيضاً بالمواد الغذائية الأساسية المستخدمة فى عملية التنفس.

**8. أنماط الإنبات:** نلاحظ نمطين من الإنبات وهما: (الشكل 8)

**1- الإنبات الأرضي Hypogée:** وفيه تنمو السويقة فوق الفلقتين وتبقي الفلقات في التربة مثل إنبات الشعير والذرة.

**2- الإنبات الهوائي Epigée:** وفيه تنمو السويقة تحت الفلقتبن وتحمل الفلقات فوق سطح التربة مثل إنبات الفول والفاصوليا.




**إنبات** هوائي Epigée(الفاصوليا) إنبات ارضي Hypogée (الذرة)

**الشكل 8**: شكل يوضح نمطي الانبات عند النباتات

## 3. النمو Croissance:

تتحول البادرة الناتجة عن عملية الإنبات تدريجيا إلى نبتة كبيرة نسبيا وتعتبر عملاقة بالنسبة للجنين الذي تسبب في إنباتها (إنشائها)، فكل أعضائها تنمو ويزداد عددها، طواها ووزنها بطريقة غير قابلة للتراجع، فيمس النمو كل الأعضاء منها الجذور السيقان الأوراق وكذلك الأزهار والثمار، فإذا تفحصنا نباتا ما لمدة زمنية كافية تبين الملاحظات بان النبات مركز لتغيرات صنفت من طرف الباحث STEWARY الى نوعين:

**- تغيرات كمية:** وتتمثل في الزيادة في الطول، زيادة في العرض، زيادة في مساحة الأوراق، زيادة في الوزن والحجم ومجموع هذه التغيرات يمثل النمو.

**- تغيرات كيفية (نوعية):** تكمن في اكتساب خصائص جديدة ظاهرية ووظيفية والتي نستطيع إدماجها تحت عبارة التمايز différenciation.

### 1. تعريف النمو:

تعد عملية النمو معقدة جدا، وقد قدم العلماء عددا من التعاريف للنمو ولكل منها محاسنه وعيوبه واهم هذه التعاريف هي:

1- ان التعريف الشائع للنمو هو الزيادة في حجم النبات بواسطة انقسام واستطالة الخلايا وهما عمليتان متداخلتان تتبعهما عملية التمايز والتي تتأثر بالعوامل الوراثية والبيئية.

2- النمو هو الزيادة في الوزن الجاف (تعريف المنتج).

3- النمو هو مضاعفة البروتوبلازم (مضاعفة المادة الحية) حيث تتحول الكاربوهيدرات والدهون إلى مركبات حية وفعالة داخل اغشية الخلايا المكونة حديثا.

ينقسم النمو إلى نوعين حسب الأعضاء المتكونة:

**- الاعضاء النباتية محدودة النمو:** والتي تصل إلى حجم معين ثم يتوقف نموها وتهرم وتموت كالأوراق والأزهار والثمار.

**- الاعضاء النباتية غير محدودة النمو (متواصلة النمو):** كالجذور والسيقان مع تفرعاتها التي تنمو بصفة متواصلة انطلاقا من أنسجة دائمة تسمى المرستيمات Méristème.

### 2. توزيع وأماكن النمو:

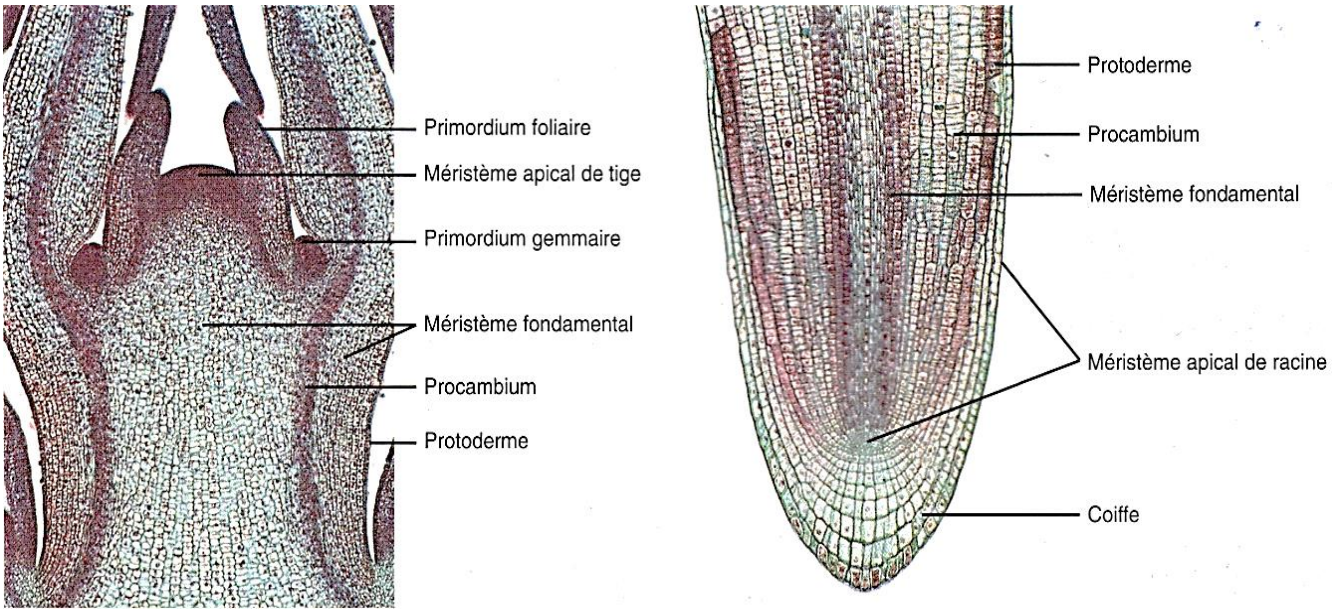
يحدث النمو في أنسجة معينة وفي مناطق محدودة تعرف بالمرستيمات، فالمرستيم هو عبارة عن نسيج يحدث فيه انقسام بعض او كل الخلايا تحت الظروف الملائمة للانقسام المتتالي، فتستطيل الخلايا بعد انقسامها وتتمايز، وبذلك تتكون أنسجة جديدة مختلفة الوظائف، فمنها ما يقوم بعملية التركيب الضوئي ومنها ما يقوم بالامتصاص إلى غير ذلك أي أنسجة متخصصة، واهم المرستيمات التي توجد عند النباتات الراقية نذكر:

- مرستيم قمة الساق والجذر Méristème apical.
- مرستيم الكامبيوم الوعائي (كامبيوم الحزمي) Cambium vasciculaire.

يوجد مرستيم قمة الساق في جميع قمم الساق بداخل البراعم الساكنة bourgeon latent، أما مرستم قمة الجذر فهو يتوزع في كل القمم الجذرية، أما الكامبيوم فلا يوجد إلا في ساق ذوات الفلقتين، كما توجد مرستيمات مؤقتة بين عقدية تسمح باستطالة الأجزاء بين العقد (القمح والذرة)، ومرستيمات داخل العقدة كما في النجيليات، ومرستيمات بين عقدية في قواعد الأوراق، فهذه الأنواع الخلوية تسمح بنوعين من النمو:

- يسمي النمو الناتج عن القمة المرستيمية للجذر أو الساق بالنمو الأولي Croissance primaire فهو الذي يسبب الزيادة في طول الساق او الجذر وكذلك تكوين الأوراق وفروع الساق والجذور.

- كما يسمى النمو الناتج عن انقسام خلايا الكامبيوم الوعائي النمو الثانوي Croissance secondaire وهو الذي ينتج عنه زيادة في فطر الساق أو الجذر عند النباتات ذوات الفلقتين.




**الشكل 9**: مقطع لقمة ساق وقمة جذر يوضح توضع المرستيمات

### 3. المظهر الخلوي للنمو:

نحصل على نمو عضو نباتي بطريقتين:

- نمو الخلايا الموجودة سابقا
- زيادة عدد الخلايا عن طريق الانقسام الخلوي.

وكلمة النمو هي انسب واصح الاصطلاحات لهذه العملية حيث تنمو كل خلية أثناء هذه العملية بسلسلة من الأطوار حيث يحدث تغيير في أبعاد هذه الخلايا الشيء الذي يؤدي إلى مضاعفة حجمها الأولي بعدة مرات.

فنمو عضو نباتي معين يتمثل في ثلاث عمليات مرتبة حسب ظهورها:

1- زيادة في كتلة البروتوبلازم عن طريق الانقسام الخلوي في المرستيمات المتخصصة وهذا ما يسمى بالانقسام الخلوي mitose أو Mérèse.

2- زيادة في أبعاد الخلايا الناتجة عن العملية الأولى وتسمى Auxése (Auxos تعني الزيادة Augmentation) وهذه الزيادة لها علاقة مع الهرمونات النباتية وخاصة هرمون Auxine AIA الذي يسمح باستطالة النبات.

3- تمايز (تخصص) الخلايا الشيء الذي يؤدي بها إلى مميزات ظاهرية (مورفولوجية) ووظيفية (فيزيولوجية) مختلفة حسب الأنسجة وتسمى هذه العملية بالتمايز Différenciation.

**4. الظواهر الفيزيولوحية لزيادة حجم الخلية (الانقسام الخلوي):**

تعتبر الخلايا المرستيمية مركز للنشاط التمثيلي أثناء عملية النمو، ففيها تتمثل مواد كبيرة من المواد السكرية والبروتينية أثناء عملية الانقسام فتستعمل المواد السكرية المتمثلة في السللوز ومواد بكتينية ومواد أخرى كاللجنين لغرض بناء جدران الخلايا الناتجة عن الانقسام ابتداء من الجدار الفاصل بين الخليتين الناتجتين عن الخلية الأم، أما المركبات النيتروجينية الموجودة في البروتوبلازم فتتكون من الأحماض الامينية والاميدات والمكونات المشابهة التي تدخل في تركيب الأحماض النووية ومن المحتمل انتقال هذه المركبات النيتروجينية إلى المرستيمات من طرف الخلايا النامية.

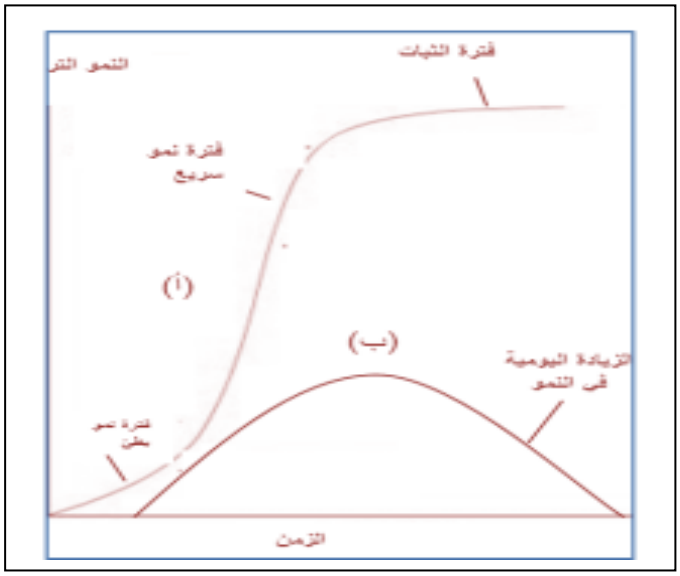
- يستخدم الماء أثناء الانقسام الخلوي في تمييه البروتوبلازم المتكون حديثا وكذلك تزويد الجدران الحديثة وملأ الفجوة.
- أثناء الانقسام يجب توفر العناصر المعدنية الضرورية وذلك لدخولها في بناء المركبات العضوية وفي تنشيط العمليات الكيميائية.
- تنتقل المواد المذابة من خلية مرستيمية إلى أخرى انتقالا نشطا بينما ينتقل الماء في هذه الخلايا بواسطة الضغط الاسموزي والتشرب واحتمال انتقاله كذلك بطريقة نشطة.
- تعتبر الخلايا المرستيمية مناطق لعمليات تنفسية نشطة وتستهلك كميات كبيرة من المواد العضوية وخاصة المواد الكربوهيدراتية ولوحظت علاقة مباشرة بين معدل الانقسام ومعدل استهلاك الأكسيجين (التنفس) في الأعضاء الفتية أثناء نموها (الأوراق الحديثة) ومعدل تنفس الخلايا المرستيمية أعلى من معدل تنفس الأنسجة المتمايزة (المسنة).
- وأخيرا يتطلب استمرار عملية انقسام الخلايا المرستيمية وجود منضمات النمو المتمثلة في الهرمونات (اكسين، جبرلين ، سيتوكينين ...) وكذلك الإنزيمات ومرافق الإنزيمات التي تتدخل في هذه العملية.

**5. مظاهر حركية النمو Cinétique de croissance:**

إذا تتبعنا نمو خلية أو مجموعة من الخلايا أو عضو من الأعضاء أو نبات بأكمله خلال دورة حياته خلال فترة محددة فسوف نلاحظ ان معدلات النمو تسير عادة على نمط واحد حيث تكون معدلات النمو منخفضة أولا ثم تزداد مع مضي الوقت الى حد أقصى، ثم تهبط بنفس المعدل تقريبا الى الصفر ويكون هذا هو المسار الطبيعي أيا كانت المعايير المستخدمة في القياسات (طول، وزن أو حجم) وسواء اكتمل النمو في ساعات قليلة أو في بضع سنين.

وعند التعبير عن معدل النمو في صورة منحنى يمثل التغير في النمو الكلي (التراكمي) مع الزمن فان هذا المنحنى يتخذ عادة شكل يشبه الحرف (S) المائل ويسمى المنحنى Sigmoid، أما إذا كان المنحنى يمثل الزيادة الدورية فقط في النمو

وليس النمو الكلي فإننا نحصل على منحنى يكاد يكون متماثل على جانبي ذروة تمثل أقصى قيمة لمعدل النمو الذي يكون بطيئا في البداية وفي النهاية، وفي كل منحنى النمو تستطيع ان تميز ثلاثة أطوار هي فترة مبكرة لنمو بطئ تليها فترة وسطى لنمو سريع ثم فترة أخيرة لنمو بطئ (الشكل 10).




**الشكل 10**: منحنى يوضح الاطوار الثلاثة للنمو أ- النمو التراكمي ب - النمو اليومي

### 1.5. المعايير المستعملة:

يعبر عن نمو عضو نباتي معين خلال فترة معينة بالمقادير الكمية التالية:

- الزيادة في طول الساق أو الجذر أو أي عضو آخر.
- زيادة مساحة الأعضاء المسطحة كالأوراق.
- الزيادة في قطر العضو.
- الزيادة في حجم الثمار.
- الزيادة في الوزن الطازج أو الجاف.

إذن فتطور الأعضاء النباتية أثناء الزمن يترجم إلى منحنيات للسماح بتسهيل المقارنات حيث تحول النتائج إلى نماذج رياضية بسيطة وهذا ما يسمي بحركية النمو Cinétique de croissance.

### 2.5. المقاييس المستعملة:

للتمكن من مقارنة نتائج القياسات في الظروف المختلفة لا مقياسين هما:- سرعة النمو- معدل النمو.

**- سرعة النمو:** أثناء الفترة الزمنية $\Delta t$ يزيد طول العضو $l_1$ إلى $l_2$ فالكسر $\Delta l / \Delta t$ يقيس السرعة المتوسطة للنمو Vm.

$$V = \Delta l / \Delta t$$

إن قيم هذه السرعة المتوسطة تتغير حسب النمو النباتي والحالة الفيزيولوجية للنبات وكذلك حسب الظروف البيئية.

**أمثلة:** أثناء الفترة الملائمة للنمو تكون الأطوال اليومية للنمو كالتالي: البازلاء 20-40 ملم، القمح 10 -20ملم، العنب 10-30ملم.

**- معدل النمو:** في اغلب الاحيان سرعة النمو لا تعبر بصفة كافية عن النمو، فمثلا إذا اخذنا نبات طوله 10 ملم ونموه اليومي 10 ملم/اليوم وقارناه بنبات طوله 1000 ملم وله نفس النمو اليومي فيعتبر الثاني اسرع نموا.

لكن لمقارنة جيدة يجب حساب معدل النمو والرجوع الى الطول الاولي $l_0$ وهذا المعدل يعبر عنه بـ R.

$$R = V/l_0 \times 100$$

$$R = \Delta l/\Delta t \times 1/l_0 \times 100$$

فإذا اعتبرنا ان $\Delta t = 1$ تصبح العلاقه: $R = \Delta l/l_0 \times 100$

### 6. دورية النمو Périodicité de croissance:

تخضع ظاهرة النمو إلى دورتين:

**1- دورية يومية:** تعني كل النباتات حيث يكون النمو في أقصاه بعد طلوع الشمس وأدناه آخر النهار وأثناء الليل، فلهذه الدورية ارتباط وثيق بالإضاءة التي تعتبر أساس عملية التمثيل الضوئي وكذلك الحرارة والرطوبة وكل هذه العوامل تؤثر على فتح الثغور.

**2- دورية فصلية:** يخص هذا النباتات المعمرة بصفة خاصة يختلف نمو النباتات طوال السنة فهناك أوقات يكون فيها النمو أكثر نشاطا مقابل أوقات أين يكون فيها ضئيلا جدا وذلك عند النوعين من المرستيمات وبالتالي يخضع النمو ليصبح دورية متلائمة مع فصول السنة.

### 7. العوامل المؤثرة على النمو:

تتحكم فى النمو عوامل عديدة يمكن تقسيمها إلى:

#### 1.7. عوامل داخلية:

#### 1.1.7. عوامل غذائية:

تساهم العوامل الغذائية بطريقة مباشرة فى تخليق المواد العضوية المختلفة التى يبنى منها النبات أنسجته، وهذه المركبات العضوية المعقدة تتكون نتيجة سلسلة من التفاعلات الكيميائية من مواد غير عضوية بسيطة، مثل $CO_2$ الذى يمتصه النبات من الهواء الجوي، ومثل الماء والعناصر المغذية التى يمتصها النبات من التربة حيث لوحظ أن هذه العناصر الممتصة تلعب دوراً مهماً فى حياة النبات وترجع أهمية تلك العناصر إلى أنها:

1- تدخل فى تركيب مكونات الخلايا والإنزيمات ومركبات الطاقة بالخلية.

2- تلعب دوراً مهماً فى عمليات التحولات الغذائية والحفاظ على أسموزية الخلايا.

ويعتبر العنصر المغذى ضرورياً وأساسياً فى تغذية النبات إذا لم يستطع النبات أن يكمل دورة حياتـه فـى غياب هذا العنصر وأيضاً إذا لم يمكن لأي عنصر آخر أن يحل محل هذا العنصر أو أن النبات يكون فى حاجة شديدة لهذا العنصر وأن يشاركه فى هذا الاحتياج العديد من النباتات الأخرى، وكذلك لابد لهـذا العنصـر أن يكون تأثيره مباشر على النبات وله دور هام فى عمليات البناء والهدم، وتنقسم العناصر من حيث درجة احتياجها للنبات إلى عناصر أساسية كبرى وهذه يحتاجها النبات بكميات كبيرة وعناصر أساسية صغرى يحتاجها النبات ولكن بكميات قليلة، ونقص أى عنصر غذائى فى الوسط الغذائى للنبات قد يؤدى إلى ظهور أعراض مرضية مميزة لهذا العنصر.

### 2.1.7. عوامل هرمونية:

تتحكم الهرمونات فى سرعة نمو الأعضاء المختلفة للنبات، حيث تساعد الهرمونات المنشطة في تنشيط النمو الخضرى والنمو الزهـرى وكافـة العمليـات الحيوية مثل البناء الضوئى والنشاط الإنزيمى، بينما تساهم المثبطات كالـ ABA في تثبيط على عمليات النمو ونقص المحتوى من صبغات البناء الضوئى كما أنها تسبب سكون البراعم.

### 3.1.7. عوامل وراثية:

تتحكم العوامل الوراثية فى شكل وحجم النباتات، ويحدد التركيب الوراثى للنبات طبيعة ومدى التـأثير الـذى تحدثه به العوامل الغذائية والهرمونية، ومما يجب ملاحظته التداخل الموجود بين هذه المجموعات الثلاثة فشدة الضوء مثلاً يمكن أن تؤثر علـى النمو عن الطريق الغذائى كما يمكن أن تؤثر عليه عن الطريق الهرمونى.

### 2.7. عوامل خارجية:

يتعرض النبات بصفة مستمرة إلى تغيرات متعددة ناتجة عن تغيرات بيئية غير حية التي يكاد يعتمد كل منهما على الآخر، وتعتبر البيئة الأب التربوي لكل نبات فتلعب دورا لا يمكن الاستغناء عنه في نمو النبات، بينما يلعب العامل الوراثي دورا في انتقال الخصائص النباتية من جيل لآخر، ويعتبر نمو أي كائن وتفاعلاته نتيجة للتأثير المنسق المتبادل بين العوامل الوراثية والظروف البيئية على العمليات الفيزيولوجية الداخلية لتلك الكائنات، فمن بين العوامل البيئية المؤثرة على النمو نذكر:

- درجة حرارة التربة والجو والطاقة الإشعاعية أو الإضاءة.
- الماء والمواد الذائبة في محلول التربة.
- الغازات المتواجدة في التربة والجو.

**1- الحرارة:** يزداد نمو النبات ليصل إلى الحد الأقصى بزيادة درجة الحرارة من الدرجات القليلة فوق الصفر على شرط أن تتوفر العوامل البيئية الأخرى، ويصل النمو إلى نهايته القصوى تحت درجات 20 - 30°م ثم يقل النمو تدريجيا بحيث يقارب معدله الصفر عند درجة حرارة 45°م.

وتنقسم النباتات حسب هذا العامل إلى قسمين:

- نباتات شتوية: يكون النمو عندها ابتداء من 0°م (الفول).
- نباتات صيفية: لا تنمو إلا عندما ترتفع درجة الحرارة نسبيا عن الصفر (الطماطم ، الفلفل).

ومن الاضرار الناتجة عن درجة الحرارة المرتفعة ما يلي:

- تتسبب في زيادة معدل النتح مع نقص ملحوظ فى الماء الممتص مما يؤدى إلى نقص المحتوى المائى فى الأنسجة ويؤدى إلى موت بعض أجزاء النبات وفى الحالات الشديدة يموت النبات.
- ارتفاع درجة الحرارة يزيد من معدل الهدم (التنفس) بما لا يتناسب مع الزيادة الناتجة فى معدل البناء فينقص النمو ويتقزم النبات وباستمرار الحالة يموت النبات.
- درجة حرارة التربة قد تصل فى بعض المناطق إلى 70°م مما يؤدى إلى قتل سيقان النباتات الصغيرة الملاصقة للتربة وبذلك يموت النبات كلية نتيجة لفقد البروتوبلازم لكافة أنشطته الحيوية.
- الأنسجة التى تحتوي على نسبة أقل من الماء تقاوم درجات الحرارة المرتفعة بدرجة أكبر من الأنسجة ذات المحتوى العالى من الماء ولذلك فإن البذور أكثر مقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة جدا دون أن تفقد حيويتها.
- بعض الأنسجة تقاوم درجة الحرارة المرتفعة بسبب إحاطتها بطبقات حماية مثل الفلين.

أما الاضرار الناتجة عن درجة البرودة الشديدة فتتمثل فيما يلي:

- يقل المحتوى المائى بدرجة كبيرة فى الأنسجة النباتية وذلك لنقص معدل الامتصاص.
- التجمد يؤدى إلى موت النبات كلية حيث يتجمد الماء داخل الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا ويتجمد فى صورة بلورات تؤدى إلى تمزيق الجدر الخلوية ويسبق ذلك جفاف البروتوبلازم.

**2- الإضاءة:** يختلف تأثير الضوء على النمو باختلاف شدته ونوعيته وكذلك الفترة التي يتعرض فيها النبات إلى الإضاءة ويؤثر الضوء على التمثيل الضوئي وتخليق الكلوروفيل وعلى فتح وغلق الثغور وعلى امتصاص الأملاح.

ويتمثل تأثير شدة الاضاءة فيما يلي:

- نمو النبات وخاصة فى مراحله الأولى يتناسب عكسياً مع شدة الإضاءة.
- نمو النبات فى مراحله المتوسطة وخاصة بعد مرور 7 أسابيع على الأقل يحتاج لإضاءة متوسطة.
- أحسن نمو للأوراق وتكوين الأزهار والثمار يحتاج لإضاءة شديدة.
- نباتات الظل تختلف عن النباتات الطبيعية حيث يتأخر نموها عند تعرضها لشدة إضاءة عالية.
- الإضاءة الشديدة تؤدى إلى زيادة معدل النتح وبالتالى نقص المحتوى المائى فى الأنسجة وبذلك يتأخر ويتوقف انقسام الخلايا واستطالتها.
- الإضاءة المنخفضة ينتج عنها تأخر نمو النباتات وذلك بسبب نقص فى عملية البناء الضوئى.

كما تؤثر فترة الاضاءة على النمو وذلك:

- عند تعريض نباتات النهار القصير لنهار طويل فإنها تنمو خضرياً بطريقة غير محدودة، ولكن تحت ظروف النهار القصير فإن النمو الخضرى يكون محدوداً جداً وذلك بسبب تخصص خلايا القمة النامية لإعطاء النمو الزهرى.
- عند تعريض نباتات النهار الطويل لظروف نهار قصير فإنها تعطى نباتات قصيرة خضريا.

**3- الماء:** تتحكم الآثار المتعارضة لعمليات النتح والامتصاص على عمليات النمو فكلما تفوق معدل النتح على معدل امتصاص الماء لمدة كافية تتناقص كمية الماء داخل النبات مما يؤثر على نموه.

نقص الماء فى الخلايا يقلل من سرعة نموها، كما يؤدى نقص الماء فى الوسط المحيط بالنبات إلـى ذبـول النبات ونقص نموه وأيضاً نقص واضح فى عمليات التحول الغذائى ونقص امتصاص وانتقال الذائبات فـى النبات، بينما توفر الماء يعمل على زيادة ضغط الامتلاء ويساعد على تمدد جدر الخلايا وبالتالى زيادتها فى الحجم، كما يساعد على سهولة إتمام العمليات الحيوية والتحولات الغذائية وزيادة نشاط الإنزيمات والعمليات الأيضية المختلفة، كما يؤدى توفر الماء فى الوسط المحيط بالنمو على سرعة امتصاص وانتقال الذائبات.

**4- التربة:**

- فى الظروف الطبيعية لا يتجاوز الضغط الأسموزي لمحلول التربة عن 1 ضغط جوى.
- فى بعض الحالات عند استخدام ماء به نسبة عالية من الأملاح فى ري النباتـات قد يصـل الضـغط الأسموزي لمحلول التربة إلى 10 ضغط جوى مما يؤدى إلى نقص واضح فى امتصاص الماء وبالتالى تأخر نمو النبات.
- بالإضافة إلى ارتفاع أسموزية محلول التربة وتأثيره المثبط على نمو النبات فإن نمو النبات يتـأخر أيضاً بدرجة أكبر بسبب سمية بعض العناصر المذابة فى محلول التربة مثل Na Cl والتي تحد كثيراً من نمو النبات.
- فى الأراضى ذات التربة الجافة والناعمة عند زيادة نسبة الرطوبة يلاحظ نقص فى التهوية ويزداد تركيز $CO_2$ بينما ينخفض تركيز $O_2$.
- وجد أن التهوية تؤدى إلى نمو أحسن وزيادة فى المجموع الجذرى والخضرى بينمـا يتأخر النمو بنقص التهوية.
- يرجع النقص فى نمو النبات تحت ظروف سوء التهوية إلى النقص الواضح فى امتصاص المـاء وامتصاص العناصر المغذية.
- نقص $O_2$ فى التربة هو العامل الأكثر تأثيراً بينما زيادة تركيز $CO_2$ ليس له تأثير يذكر.

## 4. الإزهار Floraison:

يشير لفظ النمو التكاثري Croissance reproducteur بصفة عامة إلى تكوين الأزهار fleur ثم الثمار fruit والحبوب graine وهذا اللفظ يتضمن مجموعة من العمليات والمظاهر المعقدة، والأحداث الرئيسية المعروفة للنمو التكاثري هي:

1- الاستذكار الزهري Evocation florale: دخول مرستيمات الزهرية في الانقسام.

2- ظهور مرستيم أصل الزهرة وتكوين البدائيات الزهرية l'initiation florale، الخلايا المكونة لمرستيم الانتظار Méristème attente (مرستيم ناشئ عن المرستيم الابتدائي) يتمايز ليعطي بداءات الأزهار les ebouche florale.

3- نمو البداءات وتكوين أجزاء الزهرة.

4- تفتح الأزهار.

### 1. تعريف الإزهار:

يعرف الإزهار بالتغيرات الكيفية المجموعة تحت لفظ التطور والمتمثلة في تكوين الأزهار فتسمح بمرور النبات من حالة خضرية إلى حالة تكاثرية فالإزهار هو تكوين بداءات زهرية غايتها المستقبلية (عن طريق النمو) تكوين أزهار وثمار وبذور للحفاظ على النوع النباتي.

### 2. بداية ظهور ونمو الأزهار:

بينما تستمر المرستيمات القمية في النمو الخضري يدخل مرستيم الانتظار في النشاط الابتدائي لتكوين أعضاء التكاثر، ويمكن اعتبار المرحلة التكاثرية أكثر تمييزا للحالة الخضرية ظاهريا وفيزيولوجيا ووظيفيا ويختلف الزمن الذي يقضيه مرستيم الانتظار في الحالة الخضرية بالانتظار قبل النمو (قبل تحوله إلى مرستيم تكاثري) من نوع نباتي لآخر إذ تتحكم فيه العوامل الوراثية والبيئية. وقد يبقى نبات ما خضريا طوال حياته تحت الظروف البيئية غير الملائمة وفي بعض النباتات كالأشجار تتميز هذه المرستيمات الزهرية (البراعم الزهرية) أثناء فصل النمو إلا أن الأزهار لا تتفتح إلا في الموسم التالي مقارنة بالأزهار الأخرى التي يكون إزهارها مباشرة على الأعضاء الخضرية السنوية.

المرحلة الأولى لنمو المرستيم الزهري هي عبارة عن تغيرات فيزيولوجية غير مرئية تتمثل في:

1- تحسس هذه الخلايا إلى الدخول في الانقسام أو التكاثر وهذا ما يسمى بعملية الاستذكار أو الإيحاء الزهري l'évocation florale في هذه الحالة التغيرات تكون ايضية.

2- الخطوات الأولى لنشاط المرستيم هي عبارة عن تغيرات وضيفيه غير مرئية تؤدي إلى ظروف ايضية داخل الخلايا المرستيمية فيطرأ عليها نوع من التميز نحو اتجاه تكوين الإزهار.

أما المرحلة الثانية أو الظاهرية Initiation florale فيتحول المرستيم الانتظار إلى مرستيم تكاثري نشط يكمن في بتغير مجهري يحدث في شكل المرستيم (من المخروطي إلى المفلطح).

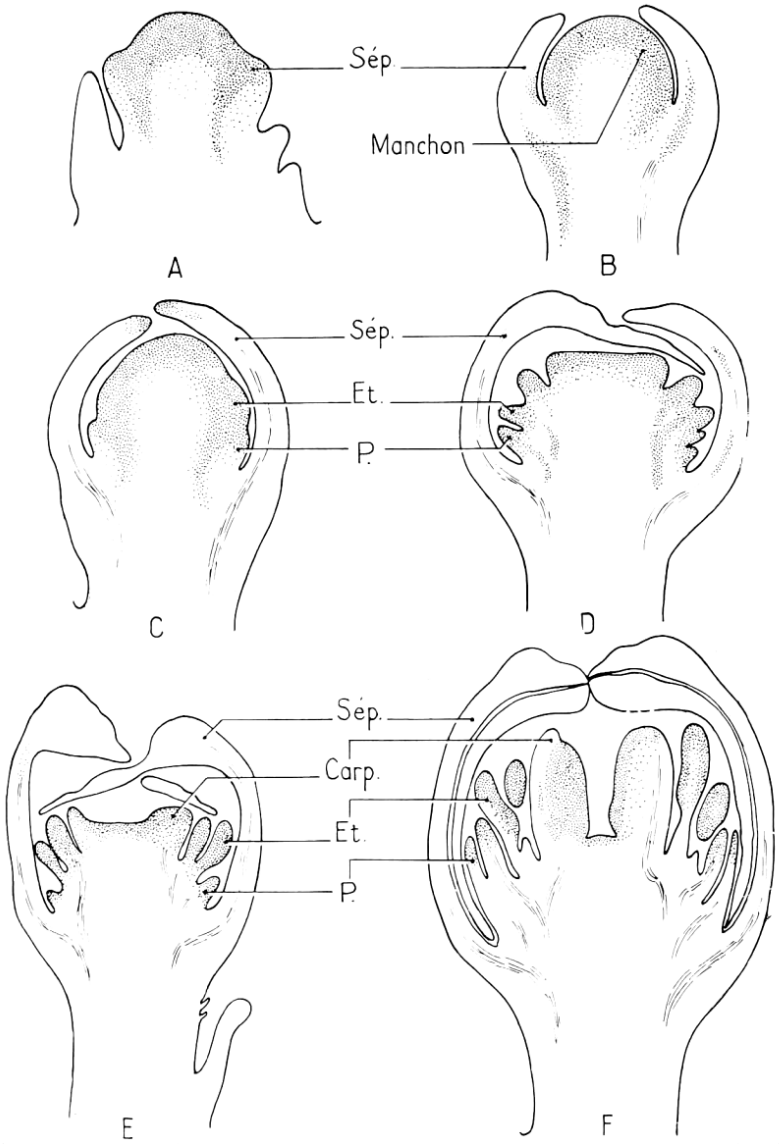
بعد هذه العملية تأتي المرحلة الثالثة وهي تكوين الزوائد الزهرية formation des ebouche florale من هذا المرستيم في ترتيب أو تنظيم سواري أو حلزوني وتشكل هذه الزوائد الأصول التي تتكون منها أجزاء الزهرة المتمثلة في الأغلفة الواقية وأجزاء تكاثرها:

ـ الأعضاء الواقية: السبلات sépale و البتلات pétale

ـ أعضاء التكاثر: اسدية androcée ومدقات gynécée

**3. المظاهر الخارجية والخلوية (الفيزيولوجية) للإزهار:**

يسمح استعمال المواد الملونة للخلايا بعد تثبيتها من فرز الخلايا ذات الانقسام النشط والكثيف من الخلايا الأخرى، فالمراكز التي تثبت هذه المواد (الأنسجة المرستيمية) تمثل المناطق ذات النشاط الكبير والتي تحتوي على الأحماض نووية ADN، فتثبيت هذه المواد يعبر عن النشاط الخلوي للبراعم الخلوية ولذا قبل الدخول في الإزهار يكون مرستيم الانتظار قليل التلوين ولكن مباشرة بعد دخوله في عملية الإزهار يتغير تلوينه الشيء الذي يدل عن كمية الـ ADN قد زادت اثناء انقسام الخلايا، وفي هذه الحالة نميز ثلاث مراحل لدخول مرستيم الانتظار في الإزهار (الشكل11):




**الشكل 11:** المراحل الأولى للتشكل الزهري

**1- المرحلة الأولى (المرحلة الوسطية):** الفرق بين مرستيم خضري غير داخل في النشاط مرستيم داخل في النشاط يتمثل في زيادة في حجم المنطقة النهائية للبرعم بكل أجزائها وذلك تبعا للانقسام الميتوزي ويكون انقسام هذه الخلايا متوازيا مع سطح المنطقة القمية.

**2- المرحلة ما قبل الإزهار:** أثناء هذه المرحلة يحدث تغيير في شكل المرستيم الذي يأخذ شكل مفلطح في قمته وفي نهاية هذه المرحلة تتمايز الزوائد الزهرية المتكونة من مراكز توافق قطع الزهرة.

**3- مرحلة الإزهار:** توافق هذه المرحلة نمو الزوائد المتمايزة خلال المرحلة السابقة وتكوين قطع الزهرة المتمثلة في القطع الخارجية بجانب الأعضاء التكاثرية.

**4. الإخصاب المضاعف Double fécondation:**

الإخصاب هو اتحاد خليتين جنينيتين مع بعضهما عروس مؤنث وعروس مذكر.

إن المظهر الأساسي للتكاثر الجنسي هو اندماج بيضة ونواة فعند إنبات حبة لقاح على ميسم العضو الأنثوي يتكون الأنبوب الطلعي Tube pollinique ينتقل من خلاله النواتين الخضرية والتكاثرية ثم تنقسم النواة التكاثرية أثناء انتقالها نواتين، ويخترق الأنبوب الطلعي الكيس الجنيني وتنفجر نهايته بالقرب من الخلية البيضية محررة نطفتين تتلاشي في هذا الوقت الخلية الإعاشية (نواة الأنبوب الطلعي) تتحد إحدى النطفتين مع الخلية البيضية مشكلة البيضة الملقحة zygote 2n ثم تتحد النطفة الثانية مع النواة الثانية للكيس الجنيني مشكلة بذلك خلية ثلاثية المجموعة الصيغة الصبغية Endosperme وهي نواة السويداء (المواد المغذية) فبهذه الطريقة يتم الإخصاب المضاعف للنباتات مغلفات البذور.

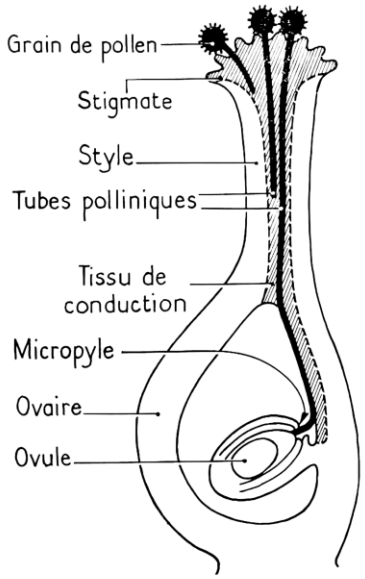



FIG. 268. — Croissance du tube pollinique dans un pistil.

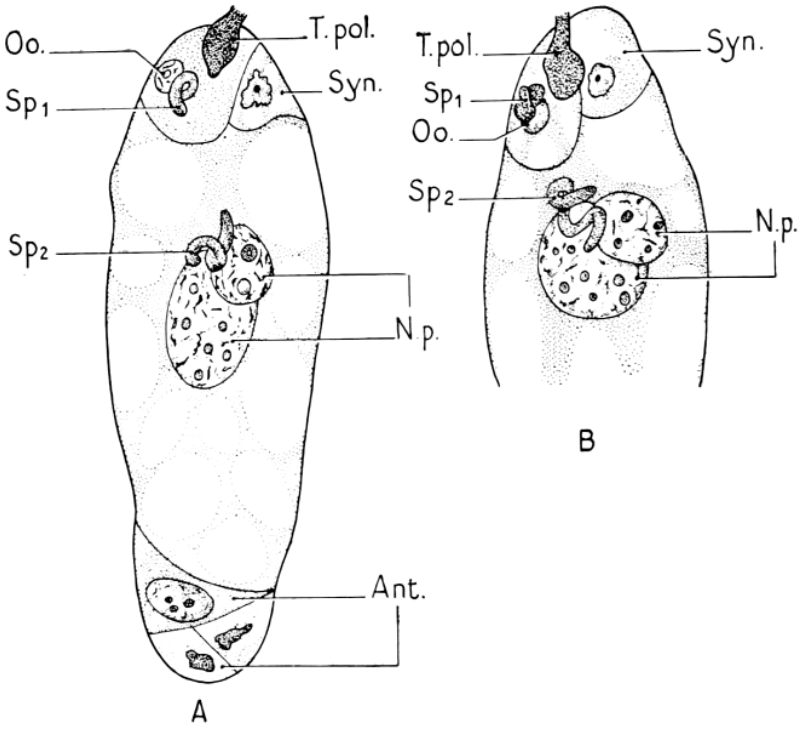



FIG. 273. — Double fécondation chez le *Lilium Martagon* (d'après GUIGNARD, 1899).
*Ant.*, antipodes; *N.p.*, noyaux polaires; *Oo.*, oosphère; *Sp1*, *Sp2*, spermatozoïdes; *Syn.*, synergide *T.pol.*, tube pollinique).

**الشكل 12**: الإخصاب المضاعف عند النباتات.

**5. العوامل المؤثرة على الإزهار:**

يتأثر النمو الزهرى بعدة عوامل منها عوامل بيئية وأخرى وراثية، وهذه العوامل هي التي تعمل على تحويل الخلايا المرستيمية الخضرية إلى مرستيمات زهرية ومن هذه العوامل:

**1.5. التغذية:**

إن العملية الأولى من بداية عملية الإزهار هي تكوين البداءات الزهرية Initiation florale والتي تمثل المرحلة الخاصة والمهمة في تكوين الأزهار ولها احتياجات خاصة كما وكيفا، كما لأن مرستيمات الإزهار تدخل في النمو وبالتالي

تدخل في تنافس مع مرستيمات النمو الخضري الناشطة لوحدها من قبل، وكيفا ليكون توازن بين النمو الخضري والنمو التكاثري ولذلك يستعمل الكسر: C /N (ايض الكاربوهيدرات على ايض النيتروجين).

فكلما ازدادت تغذية النبات غنا بالنيتروجين كلما زاد نمو الخضري على حساب الإزهار والعكس كلما ازدادت التغذية بالكاربوهيدرات كلما ازدادت قوته قي الإزهار.

C /N = 20 نعتبر بان التغذية متوازنة (التغذية الهوائية والتغذية الجذرية متوازنة) وهذا ما يسمح للنبات بالدخول في الإزهار.

### 2.5. الفترة الضوئية (التواقت الضوئي) Photopériodisme:

لاحظ باحثون كثيرون من بينهم GARNER (1920) بان بعض أنواع التبغ وفول الصويا لا تزهر عندما يكون طول النهار اكبر من طول معين وأطلقوا على الفترة المضيئة للتزهير اسم الفترة الضوئية Photopériode.

#### 1.2.5. تأثير الفترة الضوئية:

الفترة الضوئية اليومية أي تعاقب الليل والنهار مع التغيرات السنوية (النهار الطويل والقصير) يحدث في أحسام الأحياء تأثيرات خاصة على الإزهار فيؤدي هذا التأثير إلى ما يسمي بالنضج للتزهير.

**النضج للتزهير:** لا تكون استجابة كل النباتات للفترة الضوئية متساوية لان العمر اللازم لتكوين الإزهار يختلف باختلاف النباتات وسمى الباحث KLEBS الظرف الذي يصله النبات حتى يكون أزهارا استجابة للظروف البيئية بالنضج للتزهير، يجب أن تبلغ الأوراق حجما معينا (درجة معينة من البلوغ) قبل استجابتها للفترة الضوئية وعلى هذا الأساس قسمت النباتات إلى قسمين:

1- الأنواع النباتية التي لا تزهر إلا مرة واحدة في حياتها éspèce monocarpique (أحادية الثمرة) ثم تموت بعد إزهارها وتنقسم بدورها إلى ثلاث مجموعات:

- النباتات الحولية (السنوية) plantes annuelles تتم دورتها في اقل من سنة.
- النباتات المُحْوِلة plantes bisannuelles تتم دورتها في اقل من سنتين (الشمندر، المعدنوس).
- النباتات عديدة السنوات plantes pluriannuelles تتم دورتها بالإزهار والإثمار مرة واحدة (الصبار).

2- الأنواع النباتية التي لها تزهير نسقي (كثيرة الإثمار) éspèce polycarpique لا تزهر إلا بعد فترة خضرية معينة لكن لا تموت بعد الإثمار الاول ويصبح الإزهار والإثمار سنوي بعد دخولها في هذه مرحلة.

#### 2.2.5. تقسيم النباتات حسب متطلباتها الضوئية:

إن تعاقب فترة الإضاءة Photophase hémerophase ومرحلة الظلام scotophase يكون الفترة الضوئية التي تعرف بتعاقب الضوء والظلام أثناء دورة 24 ساعة (الدورة اليومية)، وعلى هذا الأساس نستطيع تصنيف النباتات إلى 4 فآت حسب فترتها الضوئية:

**1- النباتات غير المتأثرة بالإضاءة eespèces aphotiques:** هذه المجموعة تكون أزهارا في غياب الضوء (البطاطا).

**2- النباتات المحايدة (النباتات ذات النهار المعتدل):** وهي النباتات التي تكون أزهارا في مدى واسع من الفترة الضوئية من نهار قصير نسبيا حتى في إضاءة مستمرة (الطماطم ، البازلاء ، القطن).

**3- نباتات النهار القصير espèces de jours courts:** وهي النباتات التي تزهر فقط إذا تعرضت لفترات إضاءة طولها 12 ساعة او اقل مثل (التبغ، قصب السكر، فول الصويا).

**4- نباتات النهار الطويل espècee de jours longs:** وهي النباتات التي تزهر بسرعة عندما يكون طول الفترة الضوئية اكبر من 12 ساعة وتزهر أيضا عندما تكون الإضاءة مستمرة حتى لو دامت 24 ساعة وعندما يقصر طول الفترة الضوئية يقل عدد أزهارها و إذا فصرت فترة الإضاءة تبقى هذه النباتات في حالة خضرية (القمح، الشوفان، البصل) النباتات التي تزرع في الصيف.

### 3.5. تأثير درجة الحرارة المنخفضة (الارتباع) Vernalisation:

تتأثر كفاءة الإزهار بدرجات الحرارة الدنيا وخاصة في المناطق الباردة فهذا التأثير يجعل النباتات تزهر في وقتها الطبيعي فإذا لم تتوفر درجة الحرارة المطلوبة تبقى النباتات في شكلها الخضري ولن تزهر.

**تعريف الارتباع:** يعرف الارتباع Vernalisation (printanisation) على انه اكتساب الكفاءة على الإزهار وذلك بالانخفاض المؤقت للحرارة طبيعيا كان أو اصطناعيا.

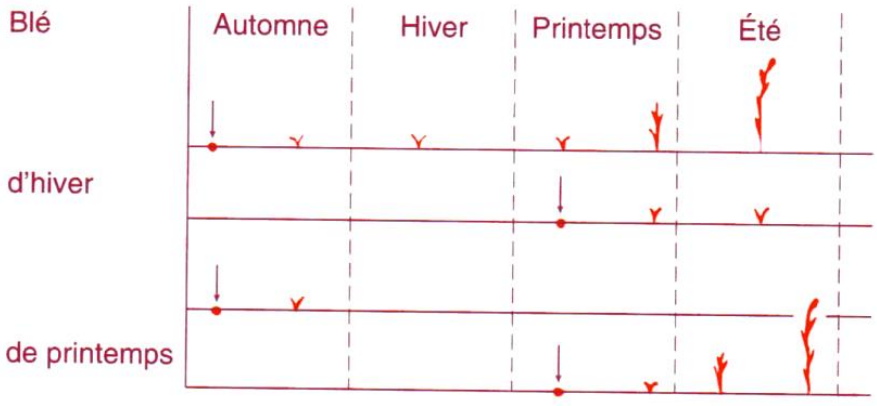
استعمل مصطلح Vernalisation من طرف الباحث الروسي Lyssenko (1928) وهي كلمة روسية مشتقة من (garovisation=yarovization) يقابلها بالعربية الارتباع أو الربيعية.

وهي تحويل سلوك النباتات الشتوية إلى نباتات ربيعية بالبرودة حيث تكمل دورة حياتها في نهاية فصل الربيع من السنة التي زرعت فيها وذلك بزراعتها بعد فترة البرد.

فالقمح الصلب يمثل نوعين من الأصناف:

- الأصناف الشتوية: تزرع في الخريف وتمضي الشتاء كبادرات.
- الأصناف الربيعية: تزرع في الربيع لأنها لا تتحمل برودة الشتاء.

حيث أن القمح الشتوي يمتاز بمردودية عالية ونضج مبكر.




**الشكل 13:** سلوك القمح الشتوي والقمح الربيعي

### 4.5. الفترة الحرارية Thermoperiodisme:

للحرارة تأثير على حياة النبات الشيء الذي يسمح بتقسيم النباتات إلى مجموعتين كبيرتين المجموعة الصيفية والمجموعة الشتوية.

يتراوح المجال الحراري المتوافق مع الحياة النشطة بصفة عامة من -10° م إلى 45° م لكن هذه الحدود تخترق من قبل العديد من النباتات بدخولها في الحياة البطيئة، فالحرارة تؤثر على كل العمليات الأيضية للنبات وكذلك العمليات الفيزيولوجية كالتمثيل الضوئي والتغذية المائية والنتح والنمو.

- يرتبط تأثير درجة الحرارة أيضاً بالإضاءة والإظلام وفترة الإضاءة. فقد وجد أن البراعم الزهرية تزيد عند $18^0$ م ويقل عند $29^0$ م أثناء الظلام لنبات فول الصويا بينما يثبت العدد أثناء فترة الإضاءة ومع إختلاف درجة الحرارة.
- تبريد نصل الأوراق أو البراعم الطرفية موضعياً يؤدى إلى تثبيط التزهير وهذا يؤكد أن بناء الهرمونات التى تتم فى الأوراق تتأثر بانخفاض درجة الحرارة مما يؤثر فيزيولوجيا فى إحداث تغيير فيزيولوجى للبراعم الخضرية وتحولها إلى براعم زهرية
- بعض النباتات تحتاج درجة حرارة منخفضة نسبياً للتزهير وتلك النباتات تتأثر سلبياً وبدرجة سيئة بالجو الدافئ والعكس فى البعض الآخر من النباتات بينما بعض النباتات يمكنها الإزهار فى نطاق واسع من درجات الحرارة.

# الجزء الثاني التغذية الكربونية والمعدنية Nutrition carbonée et minérale

## 1. التغذية الكربونية: Nutrition Carbonée

### 1.1. التمثيل الضوئي Photosynthèse:

تطلق كلمة التمثيل الضوئي بصفة عامة على العملية التي تبني بها الخلايا اليخضورية مواد كاربوهيدراتية معينة انطلاقا من $CO_2$ و$H_2O$ بوجود الضوء، في هذه العملية يكون الاكسيجين ناتج إضافي.

إن تمثيل المواد العضوية اللازمة لنمو وتطور النبات ينطلق من مواد أو عناصر معدنية بسيطة، لكن العنصر الأساسي للجزيئات العضوية هو الكربون الآتي من $CO_2$ الجوي، ومن المحتمل كذلك أن تكون الايونات $CO3H^-$ (كربونات) مصدر للكربون المستعمل في التمثيل الضوئي، فهذا التنظيم للكربون المعدني يسمى التمثيل الضوئي، وتعني هذه الكلمة حرفيا البناء والجمع بواسطة الضوء وتكتب المعادلة الإجمالية عادة كما يلي:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow CH_2O + O_2$$

#### 1.1.1. ملاحظة عملية التمثيل الضوئي:

إذا وضع نبات ما في أنبوب يحتوي على ماء به غاز $CO_2$ (مادة الكربونات) التي تتحلل وتعطي هذا الغاز وعرض لمنبع ضوئي بشدة كافية يلاحظ بعد وقت قصير تحرير الأكسيجين على شكل فقاعات تصعد إلى أعلى الأنبوب المقلوب لأن الأكسيجين أقل ذوبانا في الماء من $CO_2$.

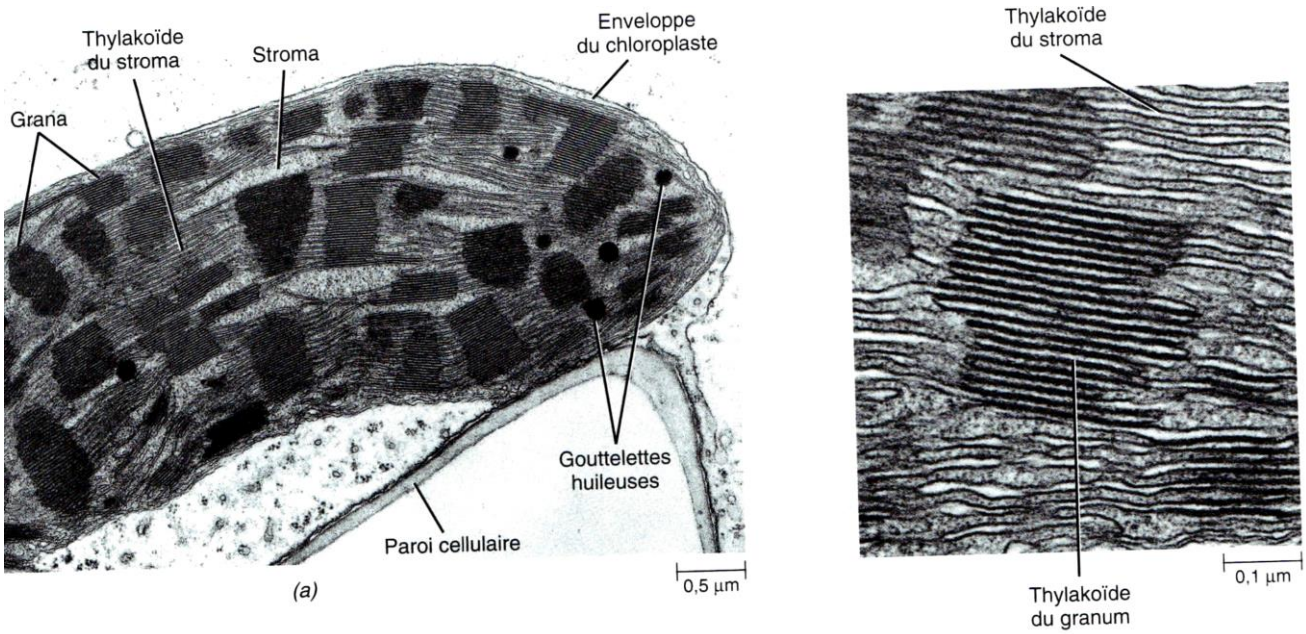
$$2CO_3HNa \longrightarrow CO_2 + CO_3Na_2 + H_2O$$

بعد التجارب العديدة تبين لـ VAN NIEL انه يأتي من استنشاق $CO_2$ لكن أعطى RUBEN بان الماء هو المصدر للأكسيجين باستعمال ماء يحتوي على الأكسيجين الثقيل $H_2O^{18}$ وهو نضير $O_2^{16}$.

$$CO_2 + 2H_2O^{18} \longrightarrow CH_2O + 2O_2 + H_2O$$

#### 2.1.1. الجهاز التمثيلي:

تعبر الصانعات الخضراء الجهاز التمثيلي للنباتات، فهي تتواجد في جميع الأجزاء الخضراء للنبات، يقدر عدد ها في الأوراق بحوالي نصف مليون كلوروبلاست في ملم$^2$ للورقة، لون هذه الأخيرة ناتج من الكلوروفيل وهو الصبغة الخضراء المحتوات داخل الكلوروبلاست (الشكل 14)




**الشكل 14:** صانعة خضراء لنبات الذرة *Zea mays*

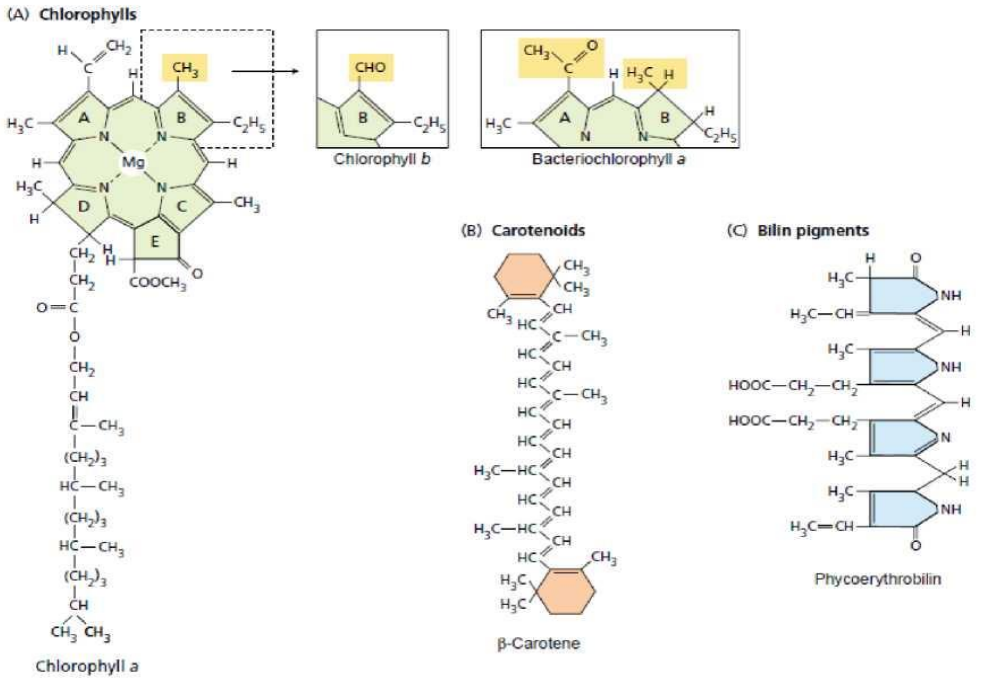
تكثر البلاستيدات في الميزوفيل (النسيج الداخلي للورقة)، خلية الميزوفيل تحتوي على 30 - 40 كلوروبلاست طول الواحدة منها 4 - 7 مك متر وعرضها 2 - 4 مك متر، الغلاف الخارجي لها يتكون من غشائين، في داخل الكلوروبلاست يوجد سائل كثيف هو الحشوة Stroma أين تسبح أكياس غشائية مصفحة تسمى Thylakoide يحدد غشائها حجرة تدعى الفراغ بين الصفائح تكدس هذه الصفائح يعطي لنا ما يسمى بالجرانا Grana، الكلوروفيل يوجد في غشاء الصفائح وفيها تجري عملية التمثيل الضوئي.

وجزيء الكلوروفيل يتكون من رأس محب للماء (Hydrophilique) وذيل كاره للماء .(Hydrophobique) ويوجد نوعين من الكلوروفيل في بلاستيدات الخلايا النباتية هما:

- كلوروفيل أ (Chlorophylle a) : لونه اخضر مائل للزرقة وتبلغ كميته حوالي ثلاث اضعاف كلوروفيل b صيغته الكيميائية $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$.
- وكلوروفيل ب (Chlorophylle b) : لونه اخضر مائل للصفرة صيغته الكيميائية $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$.

يمتاز الأول باحتوائه على مجموعة $CH_3$ بينما يحتوي كلوروفيل ب على مجموعة CHO عند ذرة الكربون الثالثة.

كما توجد اصباغ اخرى مساعدة ثانوية منها الكاروتينات وتشمل α- carotene و β-carotene و Lycopene وتمثل 5 % من مجموع الصبغات (الشكل 15).




**الشكل 15**: الصيغة الكيميائية لجزيئه الكلوروفيل

### 3.1.1. آلية التمثيل الضوئي:

تنقسم عملية التمثيل الضوئي إلى 3 تفاعلات تتم في وقت واحد وهي:

**1- تفاعل هيل Hill**: يتم في داخل الكيبسات بوجود الضوء حيث أن البلاستيدات تستطيع تحرير الأكسيجين بإضافة مستقبل للهيدروجين للوسط وتتم حسب المعادلة التالية:

$$2A + 2H_2O \longrightarrow 2AH_2 + 0_2$$

في تفاعل Hill نجعل من $CO_2$ هو المستقبل للهيدروجين:

$$CO_2 + 2H_2O \longrightarrow HCOH + O_2 + H_2O$$

الحرف A يمثل مستقبلات للهيدروجين في الهواء المستعملة خلال التجربة وفي سنة 1951 وجد بان المركب NADP يعمل كمستقبل للهيدروجين في عملية التمثيل الضوئي مع أن هذا المركب موجود في الصانعات الخضراء فأصبح التفاعل على الشكل التالي:

$$2NADP^+ + 2H_2O \longrightarrow 2NADPH + 2H^+ + O_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

وما تميز تفاعل HILL هو كسر جزيئة الماء وتحرير الأكسيجين والإلكترونات وتكوين NADPH.

**2- الفسفرة الضوئية:** يتم هدا التفاعل في الكييسات بوجود الضوء فعند إضافة ADP والفوسفات غير العضوية في غياب $NADP^+$ و $CO_2$ ينتج عن العملية ATP:

$$ADP + H_3PO_4 \longrightarrow ATP + H_2O \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

وهذا ما يسمى بالفسفرة الضوئية الحلقية.

والواضح أن التفاعلين (1) و (2) يتمان في وقت واحد حسب العلاقة التالية:

$$2NADP^+ + 2ADP + H_3PO_4 \longrightarrow 2NADPH + 2ATP + 2H^+ + O_2$$

**3- تثبيت الـ $CO_2$:** يتم في غياب الضوء في المادة الاساسية Stroma يتمثل في تثبيت $CO_2$ حسب دورة CALVIN حيث قسمت النباتات إلى 3 مجموعات حسب طريقة تثبيت جزيئة الـ $CO_2$.

بعد العمليات الثلاثة تكون الحصيلة كما يلي:

**المرحلة المضيئة:**

اكسدة الماء $2H_2O \longrightarrow 0_2 + 4H^+ + 4e^-$

ارجاع $2NADP^+ + 2H^+ + 4e^- \longrightarrow 2NADPH$

---

**الحصيلة** $2NADP^+ + 2H_2O \longrightarrow NADPH + 2H^+ + O_2$

الفسفرة Phosphorilation $ADP + Pi \longrightarrow ATP + H_2O$

**المرحلة المظلمة:**

اكسدة NADPH $2NADPH + CO_2 + 2H^+ \longrightarrow CHOH + 2NADP^+ + 2H_2O$

استهلاك الطاقة $ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi$

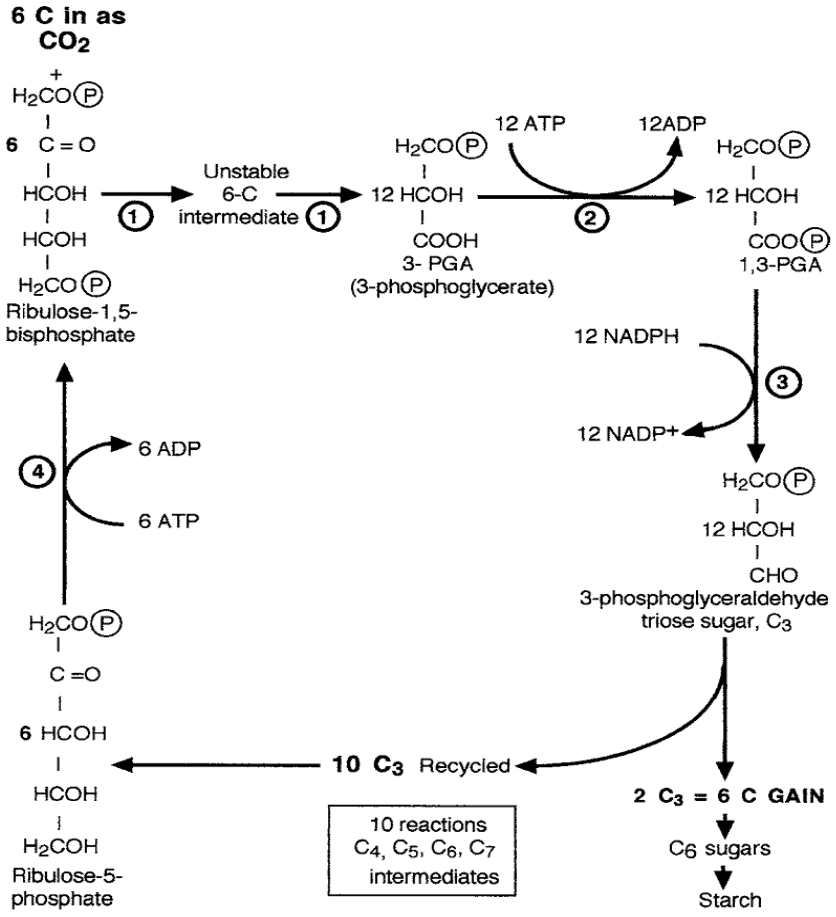
**4.1.1. تقسيم النباتات حسب طريقة تثبيت $CO_2$:**

حسب طريقة إدماج المادة الأولية للبناء قسمت النباتات إلى: $C_3$ . $C_4$ . CAM

**1.4.1.1. تثبيت الـ $CO_2$ عند النباتات ثلاثية الكربون $C_3$ (حلقة CALVIN):**

تشمل الأنواع التالية: القمح ، الشعير ، الأرز ... ، تشمل هذه الدورة على عدة تفاعلات أساسية تحدث داخل البلاستيدة، وقد تم الكشف عن هذه الدورة في طحلب Chlorella حيث قام العالم وزملائه بتعريض البيئة التي يعيش فيها هذا الطحلب للكربون المشع $^{14}CO_2$ وفي الحقيقة استعملت البيكاربونات كمصدر للكربون في شكل محلول $^{14}HCO_3^-$ لفترات زمنية مختلفة وبعد عدة ثواني كان حوالي 90% من المواد المشعة في المجموعة الكربوكسيلية لمركب (3 Phosphoglucerate) واختصارا (3APG)، أما إذا زيدت فترت التعريض فان الكربون المشع يظهر في مركبات أخرى وإذا طالت الفترة الزمنية يظهر الكربون في المركبات السكرية الأخرى مثل السكروز.

وبعد توالي البحوث تأكد بان المستقبل الأول ل $CO_2$ وهو سكر خماسي (Ribulose 1-5 phosphate) ليكون مركب سداسي ذرات الكربون غير ثابت لا يلبث أن ينشطر ليكون سكر ثلاثي الفوسفات الجلسرين (Acide 3 phosphoglycérique) 3APG




**الشكل 16:** حلقة CALVIN

تتلخص دورة كالفن في أربعة مراحل من التفاعلات:

**1- تثبيت الـ $CO_2$:** يثبت الـ $CO_2$ في الكلوروبلاست مع جزيئة خماسية من Rudip، المركب الوسطي السداسي الكربون غير ثابت فهو ينشق بسرعة إلى جريئتين متماثلتين ثلاثية الكربون Acide phosphoglycérique APG يحتويان على ثلاثة ذرات كربون ومنها اشتقت النباتات ثلاثية الكربون.

**2- اختزال APG:** كل جزيئة APG تختزل إلى Glyceraldehydes phosphate باستعمال جزيئة ATP و NADPH

**3- تصدير Glyceraldehydes phosphate:** إلى خارج الكلوروبلاست أين لا يجمع إلا مؤقتا في النهار على شكل جزيئة كبيرة من النشاء الذي يميه في الليل إلى سكريات قابلة للتصدير خارج الكلوروبلاست.

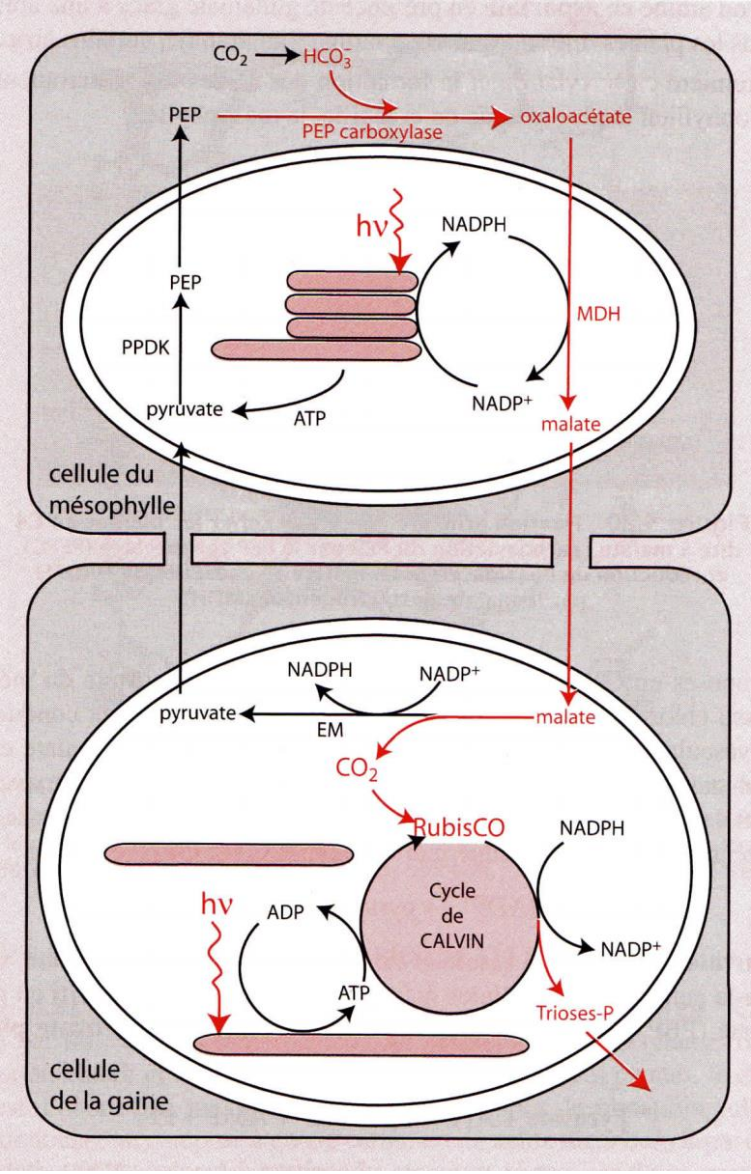
**4- اعادة تشكيل Rudip:** مستقبل $CO_2$ الذي هو Rudip يعاد تشكيله انطلاقا من Pi و ATP انطلاقا من تفاعلات تحويل السكريات والتي تلخص في المعادلة التالية:

Ribulose 1,5-P + $CO_2$ + $H_2O$ ⟶ 2 glycérate 3-P

### 2.4.1.1. تثبيت الـ $CO_2$ عند النباتات رباعية الكربون $C_4$ (حلقة HATCH et SLACK):

بعد اكتشاف مسار الكربون في طحلب Chlorella توالت البحوث في هذا المجال للكشف عن مدى التشابه بين النباتات الراقية في هذه الدورة حيث اثبت HATCH et SLACK عام 1968 ان هناك اختلاف في مسار الكربون عند بعض النباتات مثل قصب السكر والذرة إذ أن الناتج الاول الثابت بعد تعريض النبات للكربون المشع هو عبارة عن مركب عضوي رباعي ذرات الكربون acide Oxaloacétique (OAA) وليس (APG) ، ومن هنا استدلوا أن هناك مسار آخر بديل لاختزال $CO_2$ في هذه النباتات، حيث اكتشف العالمان مسارا للكربون والتعرف كذلك على التفاعلات والانزيمات التي تؤدي إلى اختزال $CO_2$ وإضافته الى الحمض العضوي ثلاثي ذرات الكربون وهو Phosphoenolpyrovate (PEP) وتكوين حمض عضوي رباعي ذرات الكربون هو حمض (OAA) اما الانزيم المسؤول عن هذه العملية هو Phosphoenolpyrovate carboxylase، جميع هذه التفاعلات تحدث في خلايا النسيج المتوسط.

$$\text{Phosphoénolpyruvate} + CO_2 + H_2O \longrightarrow \text{oxaloacétate} + Pi$$




تتميز $C_4$ بصفات معينه تتميز بها عن غيرها من النباتات الاخرى فمن الناحية التشريحية تتميز بوجود طبقة من الخلايا تحيط بالحزمة الوعائية وبها بلاستيدات تختلف عن البلاستيدات الموجوده في الخلايا الكلورنشيمية الاخرى في الورقة اي ان $C_4$ تتميز بوجود نمطين من البلاستيدات في موضعين مختلفين في الورقة عكس $C_3$ (نمط واحد في جميع الخلايا الكلورنشيمية).

**الشكل 17:** مسار الكربون عند النباتات رباعية الكربون $C_4$

### 3.4.1.1. تثبيت الـ $CO_2$ عند النباتات العصارية Crassulacean Acid Metabolism (CAM):

جاء الاسم من اسم فصيلة النباتات التي تم اكتشاف هذه الطريقة فيها لأول مرة وهي فصيلة النباتات العشبية (Crassulacea) أو السيدوم بعد ذلك تم اكتشاف هذه الطريقة في أكثر من 25 عائلة من النباتات الأخرى مثل الأناناس التي تنمو في ظروف بيئية جافة.

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

1- تتم عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون بواسطة إنزيم Phosphoenolpyrovate carboxylase، وارتباطه مع Pyruvique acide معطياً (OAA) تتم أثناء الليل فقط في خلايا النسيج المتوسط (Mesophylle) التي تقوم بتخزين الأحماض العضوية الناتجة بعد تثبيت ثاني أكسيد الكربون في الفجوات العصارية حتى الصباح.
2- أثناء النهار يتحرر ثاني أكسيد الكربون من الأحماض العضوية ويدخل دورة كالفن لإكمال تفاعلات الدورة في خلايا النسيج المتوسط أيضاً وليس في الخلايا الحزمية كما في النباتات الأخرى.

ليلاً :

$$(OAA) \longrightarrow \text{malate} \longrightarrow CO_2 + (PEP)$$

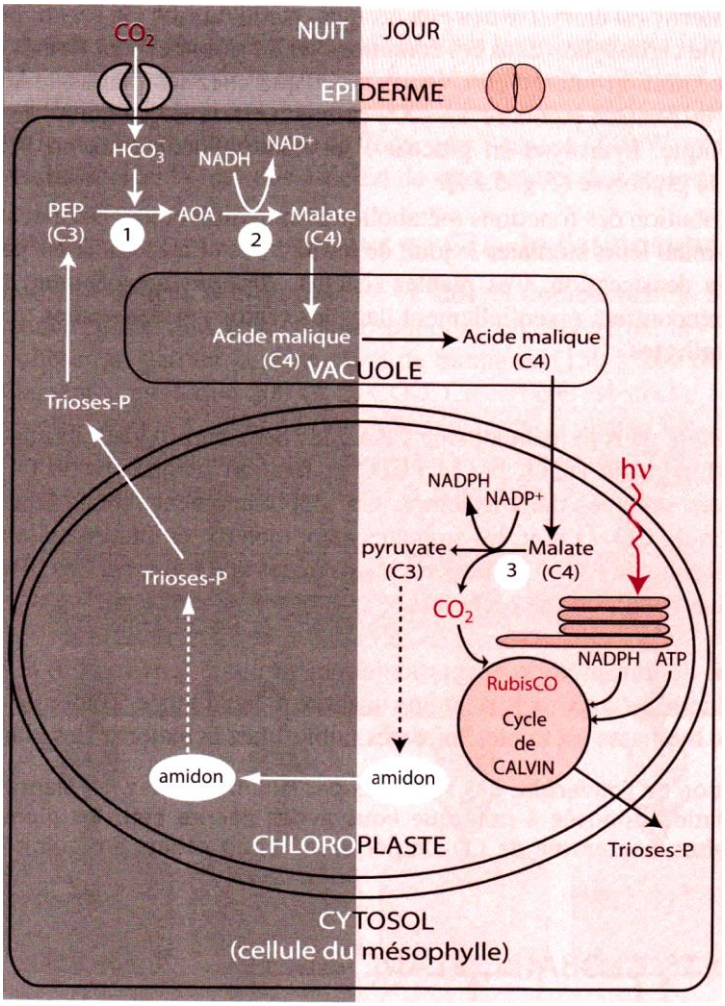
Oxaloactic acid Posphoenol pyruvate

نهاراً:

$$\text{Malate} \longrightarrow (OAA) \longrightarrow CO_2 + (PEP)$$

تمتاز هذه النباتات بعدة صفات منها:

1- نباتات جفافية ( تعيش في بيئة جافة).
2- تمتلك النباتات أوراقا غضة وتكون نسبة مساحة سطح النبات الى حجمه صغيرة.
3- تمتاز بمعدل ضعيف من النتح.
4- تتشابه مع $C_4$ في جميع التفاعلات والأنزيمات.
5- تغلق ثغورها نهاراً للمحافظة على الماء القليل وتفتح ليلا لتثبيت $CO_2$ وتحويله الى أحماض عضوية (malate).
6- يتم تثبيت $CO_2$ ليلا ليتم اختزاله لتكوين حمض رباعي ذرات الكربون malate الذي يتجمع في الفجوة وفي النهار تغلق الثغور ويتم تحرير $CO_2$ من malate ليتم اختزاله في دورة كالفن.




**الشكل 18: مسار الكربون عند النباتات العصاريةCAM**

**جدول 1 مقارنة بين نباتات رباعية الكاربون $C_4$ ونباتات ثلاثية الكاربون $C_3$**

| نباتات$C_4$ | نباتات$C_3$ |
|---|---|
| الانزيم الذي يثبت $CO_2$ تثبيت هو Phosphoenolepyruvate carboxylase | الانزيم الذي يثبت $CO_2$ تثبيت هو Ribulose diphosphate carboxylase |
| تمتلك نوعين من الكلوروبلاست: في النسيج المتوسط وفي غمد الحزم الوعائية | نوع واحد من الكلوروبلاست |
| ناتج التفاعل الاول هو Oxaloacetate | ناتج التفاعل الاول هو acide Phosphoglycérique |
| تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي بفعالية في تراكيز منخفضة من $CO_2$ | لا تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي بفعالية في تراكيز منخفضة من $CO_2$ |
| تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي بفعالية عالية في الشدة العالية للضوء | لا تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي بفعالية عالية في الشدة العالية للضوء |
| تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي بفعالية عالية في دراجات الحرارة العالية | لا تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي بفعالية عالية في دراجات الحرارة العالية |
| تستطيع العيش في ظروف قلت الماء | لا تستطيع العيش في ظروف قلت الماء |
| عملية التمثيل الضوئي لا تتأثر بوجود الاكسيجين | عملية التمثيل الضوئي تتثبط بوجود الاكسيجين |
| اغلب نباتاتها تعيش في المناطق شبه الاستوائية كالذرة وقصب السكر | اغلب نباتاتها تعيش في المنطق المعتدلة |
| عملية التنفس الضوئي Photorespiration فيها منخفضة | عملية التنفس الضوئي Photorespiration فيها عالية |

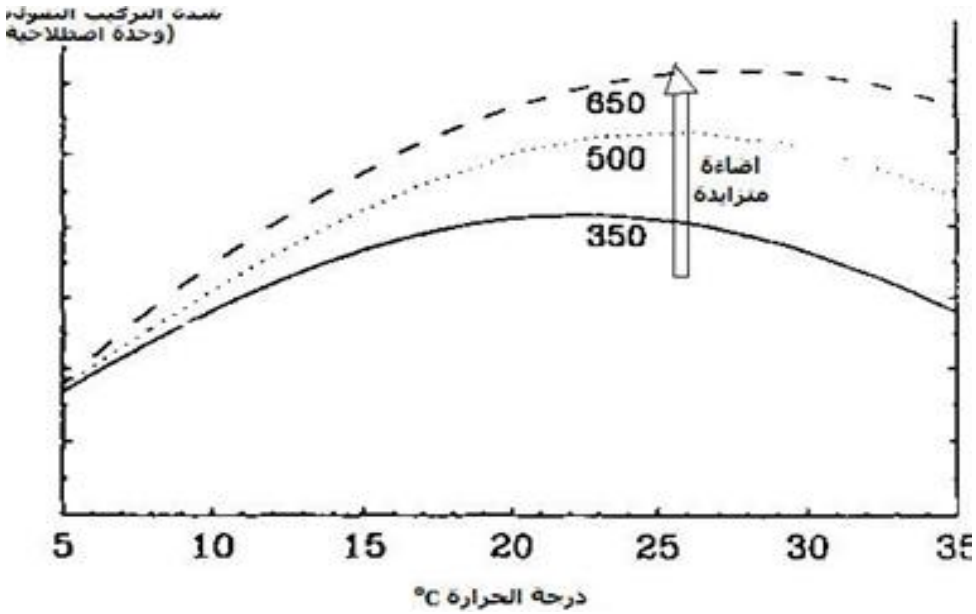
### 5.1.1. العوامل المؤثرة على التمثيل الضوئي:

**1- الإضاءة:**

تزداد سرعة عملية التمثيل الضوئي بزيادة كمية الضوء، شدة الاضاءة اليومية التي يستطيع فيها النبات أن يبني السكر اللازم لحياته تسمى شدة الإضاءة الحرجة، وتختلف النباتات في معدل التمثيل الضوئي وشدة الإضاءة حسب البيئات التي تعيش فيها الى نباتات محبة للضوء ونباتات الظل، كما ان نوعية الاضاءة لها تأثير في معدل التمثيل الضوئي فقد وجد ان الضوء الاحمر والأزرق هما الاساسيان في التفاعلات الضوئية، وتعتبر شدة الاضاءة تحت الظروف الطبيعية هي العامل المحدد في هذه العملية عندما تكون العوامل الاخرى مثالية، كما ان الضوء ينشط بعض انزيمات دورة CALVIN مثل انزيم Ribulose diphosphate carboxylase.

**2- الحرارة:**

تؤثر درجات الحرارة بصورة واضحة في عملية التمثيل الضوئي، فدرجات تحت الصفر تؤدي الى تجمد الماء في داخل المسافات البينية ومنع دخول غاز $CO_2$ وبالتالي خفض معدل التمثيل الضوئي، أما درجات الحرارة العالية فتؤثر سلبيا على نشاط انزيمات تفاعلات الظلام (ولا تؤثر في تفاعلات المرحلة الضوئية) مسببة خفض معدل التمثيل الضوئى، ويتراوح المجال الحراري لهذه التفاعلات ما بين 2 - 3م° في حدود الحرارة الفيزيولوجية و ما بين 5 - 20م° عند اغلبية الباتات حيث ينخفض معدل التمثيل الضوئى او يتوقف عندما تنخفض او ترتفع درجة الحرارة عن هذا المجال.

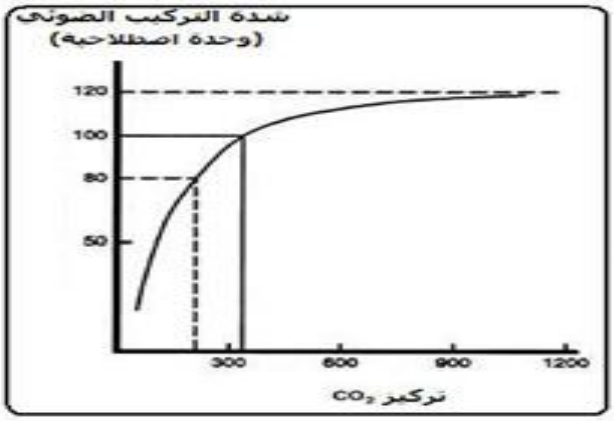



**الشكل 19**: تأثير الحرارة على شدة التمثيل الضوئى

**3- تركيز $CO_2$:**

تبلغ نسبة $CO_2$ في الهواء الجوي 0.03 % وجد أن زيادة تركيز $CO_2$ في الهواء المحيط بالنبات يؤدي الى زيادة معدل التمثيل الضوئى أعلى الى أن يصل تركيزه الى 0.15 %، وينقص معدل التمثيل الضوئي سريعا عند تركيز أعلى من هذا المستوى (4 %) ويعزى ذلك لحدوث التأثير السام للغاز على البروتوبلازم.

تؤثر كل من عملية انتشار غاز $CO_2$ وتركيزه في معدل عملية التمثيل الضوئي، فقد لوحظ أن انتشار الغاز داخل أنسجة الورقة من خلال الثغور يتأثر بسعة الثغر فهو يتناسب طرديا مع قطر الثغر.




**الشكل 20: تأثير تركيز $CO_2$ على شدة التمثيل الضوئى**

**4- تركيز الاوكسجين:**

تبلغ نسبة الأكسوجين فى الهواء الجوى حوالي 21% ولقد وجد أن نقص تركيز الأوكسجين في الهواء الجوي ذو تأثير مشجع على عملية التمثيل الضوئى بينما زيادة تركيزه عن هذا الحد يكون ذو أثر مثبط وذلك لأنه يعمل على:

1- التنافس مع $CO_2$ على $H_2$ وبالتالي يقلل فرص إختزال $CO_2$ مما يثبط التمثيل الضوئي .

2- أكسدة Rudip المستقبل لغاز $CO_2$ ليحوله الى مركب آخر مما يقلل كفاءة التمثيل الضوئي.

3- التأثير السلبي على نشاط إنزيم Ribulose diphosphate carboxylase

**5- الماء:**

دلت الأبحاث أن كمية الماء اللازمة لاستمرار عملية التمثيل الضوئي تقدر بحوالي 1% فقط من جملة الماء الممتص بواسطة النبات، كما لوحظ أن للماء تأثير على عملية التمثيل الضوئي فعند حصول الجفاف الشديد تغلق الثغور وينخفض دخول غاز $CO_2$ وبالتالي ينخفض التمثيل الضوئي، كما أن الجفاف الشديد يؤدي الى سحب الماء من البروتوبلازم وهذا بدوره يؤثر سليبا في نشاط الانزيمات في الخلية ومنها انزيمات التمثيل الضوئي.

**6- العناصر الغذائية:**

نقص بعض العناصر الغذائية كالنيتروجين والمغنيزيوم والبوتاسيوم والفوسفور يؤدي إلى انخفاض معدل التمثيل الضوئي لكون تلك العناصر قد تشترك في بناء الكلوروفيل a و b كما في النتروجين والمفنيزيوم، أو تلعب دور العوامل المساعدة لبعض الإنزيمات الخاصة بتفاعلات الظلام، أو ضرورة وجودها بكميات قليلة مثل الكلور فقد وجد أنه يؤثر على نقل الالكترونات من الماء إلى الكلوروفيل.

**7- عمر الورقة:**

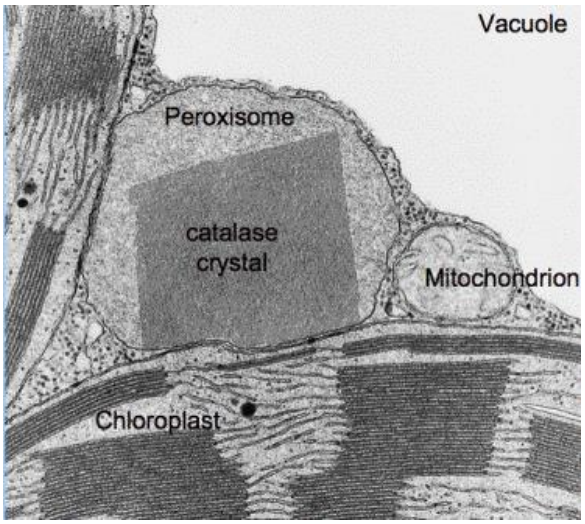
الأوراق البالغة هي الأوراق الأكثر كفاءة في عملية التمثيل الضوئي أما الأوراق الحديثة والأوراق التي وصلت الى موحلة الشيخوخة فإنها تكون ذات كفاءة منخفضة.

### 2.1. التنفس الضوئي Photorespiration:

المعروف أن الباتات كغيرها من الكائنات الحية تقوم بالتنفس الخلوي، وهي عملية تكسير المواد العضوية في السيتوبلام والميتوكوندري لتحرير الطاقة الازمة لمختلف النشاطات على هيأة ATP، وكذلك توفير مركبات وسطية وتستغل الاكسيجين وتطلق $CO_2$، وتتميز النباتات الخضراء بعملية التمثيل الضوئي اذ تستغل الطاقة الشمسية في بناء مواد سكرية عن طريق ادخال $CO_2$ الجوي داخل البلاستيدات الخضراء وينجم عنها اطلاق $O_2$ كناتج ثانوي لتحلل الماء ومواد سكرية في عملية التنفس الضوئي.

ولقد تبين من خلال هذه الدراسة ان معدل تصاعد الـ $O_2$ في عملية التمثيل الضوئي اكبر من معدل استهلاكه في عملية التنفس في الظلام بحوالي 100 مرة، ولكن تحت ظروف الإضاءة تستهلك النباتات $O_2$ و يتصاعد $CO_2$ بشكل ملحوظ مقارنة باستهلاكه في الظلام في عملية التنفس الخلوي.

ومع تقدم الدراسات تبين أن أحد المكونات الناتجة عن عملية التمثيل الضوئي يؤكسد مرة اخرى وينطلق $CO_2$، من هنا عرفت الظاهرة بالتنفس الضوئي Photorespiration تمييزا عن التنفس الخلوي Respiration إذ الاخير يتم في الظلام والإضاءة بينما الاول يتم في الإضاءة فقط.



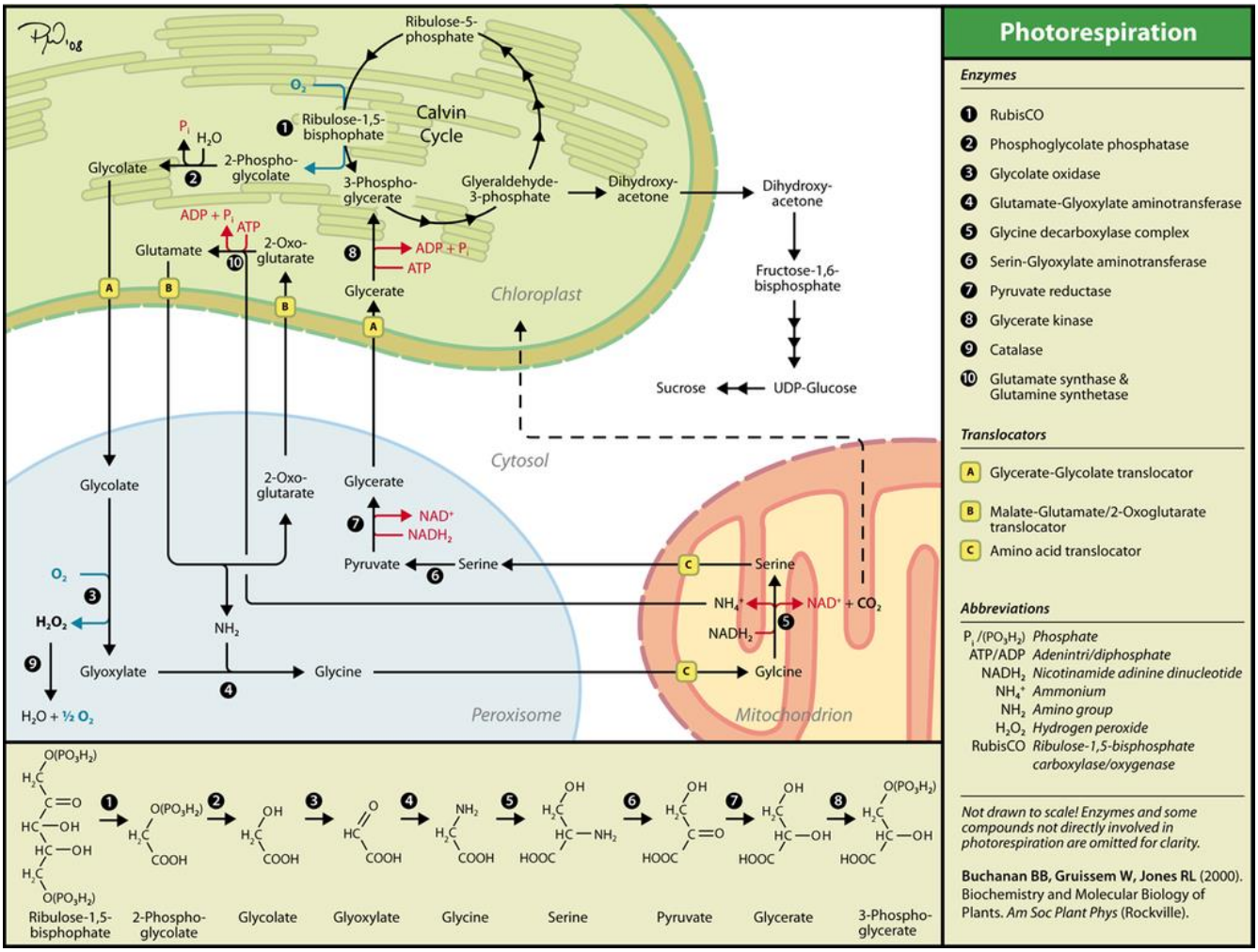

اول الملاحظات التي ادت الى إطلاق هذه التسمية على هذه الظاهرة رغم انها لا تعتبر ظاهرة تنفس حقيقية ملاحظة العالم الامريكي DECKER الذي بين انه عند تعريض الاوراق الى الإضاءة ثم الظلام يزداد معدل تصاعد $CO_2$ زيادة كبيرة وان هذه الزيادة تعتمد على استهلاك الأكسيجين وتتناسب مع شدة الإضاءة وهذا ما جعل هذا العالم يطلق اسم التنفس الضوئي على هذه الظاهرة.

**الشكل 21:** صورة فوتوغرافية بالمجهر الالكتروني النفاذ (MET) تظهر تقارب العضيات الثلاثة المسؤولة عن التنفس الضوئي

### 1.2.1. خصائص التنفس الضوئي:

التنفس الضوئي يشتمل على استهلاك الأكسيجين وانطلاق $CO_2$ في عملية تعتمد على الإضاءة، وبمقارنة بسيطة تبدو هذه العملية وكأنها عكس التمثيل الضوئي:

وللتعرف على المركبات الاساسية لهذه الظاهرة استخدم LORIMER et al (1973) نظائر من $^{18}O_2$ حيث اتضح ان اول مركب ثابت يظهر فيه الأكسيجين هو Phosphoglycolate ثم acide Glycine ثم acide Serine ثم المركب الوسطي في حلقة CALVIN (APG) acide Phosphoglycérique، وبتقدم الدراسات تبين ان Phosphoglycolate يتكون من اكسدة مركب RUBP ، والشكل التالي يوضح المسارات في هذه العملية




**الشكل 22:** مختلف المسارات في التنفس الضوئي

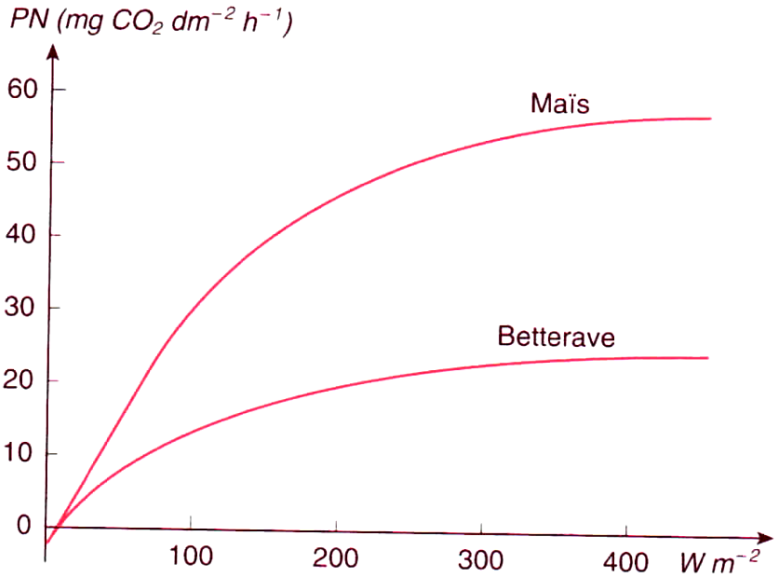
الإنزيم المسؤول عن هذه العملية هو إنزيم RubisCO حيث انه يقوم بعمليتين: اضافة $CO_2$ (Carboxylase) أو اضافة الأكسيجين (Oxygénase) لمركب RUBP حيث انهما يتواجدان بتركيز معين في حيز التفاعل مع RUBP، أي ان الأكسيجين يتنافس مع $CO_2$ لذلك يطلق على الانزيم Carboxylase او Oxygénase حسب مادة التفاعل، وحتى تتم العملية الاولى لابد من اتحاد $CO_2$ حتى يكون الانزيم نشطا وبالطبع يتنافس مع الأكسيجين على موقع التنشيط حسب الظروف

السائدة (حرارة ، ph ،...)، ففي الجو الطبيعي حيث تركيز $CO_2$ يقدر بحوالي 10 ميكرو مول والأكسيجين 250 ميكرو مول يكون معدل تفاعل اختزال $CO_2$ (التمثيل الضوئي) اكبر من معدل اختزال تفاعل الأكسيجين (التنفس الضوئي) بحوالي 4 الى 5 مرات وهذا يلاحظ عند النباتات ثلاثية الكربون مقارنة بالنباتات رباعية الكربون و النباتات العصيرية التي اعطت قيما منخفضة تقارب الصفر وهذا راجع الى اختلاف عملية اختزال $CO_2$.

### 2.2.1. العوامل المؤثرة في التنفس الضوئي:

#### 1- تركيز $CO_2$ والأكسيجين:

زيادة تركيز $CO_2$ يزيد من معدل التمثيل الضوئي وتخفض من معدل التنفس الضوئي (تستغل هذه الظاهرة في البيوت الزجاجية) من جهة اخرى تخفيض تركيز الأكسيجين الى 2% بدلا من 21% يؤدي الى انخفاض معدل التنفس الضوئي الى الصفر (FOTER, 1984)، بينما زيادة الأكسيجين يؤدي الى زيادة معدل التنفس الضوئي عكس التنفس الخلوي الذي يحتاج الى تركيز منخفض من الأكسيجين.




Effet de l'éclairement sur la photosynthèse nette d'une plante C4 (Maïs) et C3 (Betterave).
La photorespiration de la plante C3, stimulée par la lumière, diminue l'effet positif de l'éclairement (d'après CHARTIER et BÉTHENOD, 1976).

**الشكل 23:** تأثير الإضاءة على التركيب الضوئي لنبات C4 (الذرة) واخر C3 (البنجر)

#### 2- الحرارة:

زيادة درجة الحرارة الى حد معين تزيد معدل التنفس الضوئي، لكن هناك تأثير آخر للحرارة في مواد التفاعل، فالمعروف ان ذوبان $CO_2$ والأكسيجين في الماء ينخفض بارتفاع درجة الحرارة لكن ذوبان $CO_2$ ينخفض بمعدل اكبر من ذوبان الأكسيجين، وبالتالي يزداد معدل التنفس الضوئي زيادة ملحوظة بزيادة درجة الحرارة.

**3- الـ pH:**

يؤثر الـ pH على نشاط الاكسدة حيث ان زيادة الـ pH يزيد من معدل الاكسدة وقد تبين ان الـ pH الامثل للأكسيجين كمادة تفاعل هو 9.2 بينما الـ pH الامثل لـ $CO_2$ كمادة تفاعل هو 7.8 (BECK, 1977).

**3.1. التنفس Respiration:**

تعد عملية التنفس عملية أكسدة واختزال، وفي هذه العملية تتم أكسدة المركبات العضوية الكربوهيدراتية كالنشا والسكروز وغيرها فضلا عن الدهون والأحماض العضوية والبروتينات، يعد سكر glycose المادة الأساسية في عملية التنفس ويمكن كتابة معادلة التنفس بالصيغة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 675\ K.Cal$$

عملية التنفس تتضمن عدة عمليات يمكن إيجازها بالتالي:

1. امتصاص الأوكسجين.
2. تحويل الكربوهيدرات المعقدة الى ثاني أكسيد الكربون والماء (أكسدة المواد الغذائية المخزنة أكسدة تامة).
3. تحرر الطاقة التي يستخدم جزء منها في إنجاز العمليات الحيوية والباقي يفقد على شكل حرارة.
4. تكوين مركبات وسطية تقوم بأدوار مختلفة.

هذا النوع من التنفس والذي يشترك فيه الأوكسجين بشكل أساسي لغرض الأكسدة النهائية وتكوين ثاني أكسيد الكربون والماء يسمى التنفس الهوائي Respiration Aerobique، وهو الشائع في النباتات والحيوانات والفطريات.

بعض أنواع الكائنات الحية كالخمائر تستطيع أكسدة المركبات الكربوهيدراتية بدون استخدام الأوكسجين (تنفس لا هوائي Respiration Anaerobique)، في هذه الحالة الأكسدة لا تكون تامة وإنما جزئية ويتكون نتيجة تلك الأكسدة الكحول الإيثيلي بدلا من الماء، هذا النوع من التنفس نادر الحدوث في النباتات الراقية، يمكن التعبير عن التنفس اللاهوائي بالمعادلة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH + Energie$$

أما التنفس في البكتيريا فإنه يحدث بطريقة أخرى حيث تتحصل البكتريا على الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية نتيجة أكسدتها لبعض المواد غير العضوية فمثلا بكتيريا *Nitrosomonas* تستطيع استخدام الأوكسجين لأكسدة الأمونيا الى نتريت كما في المعادلة:

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + Energie$$

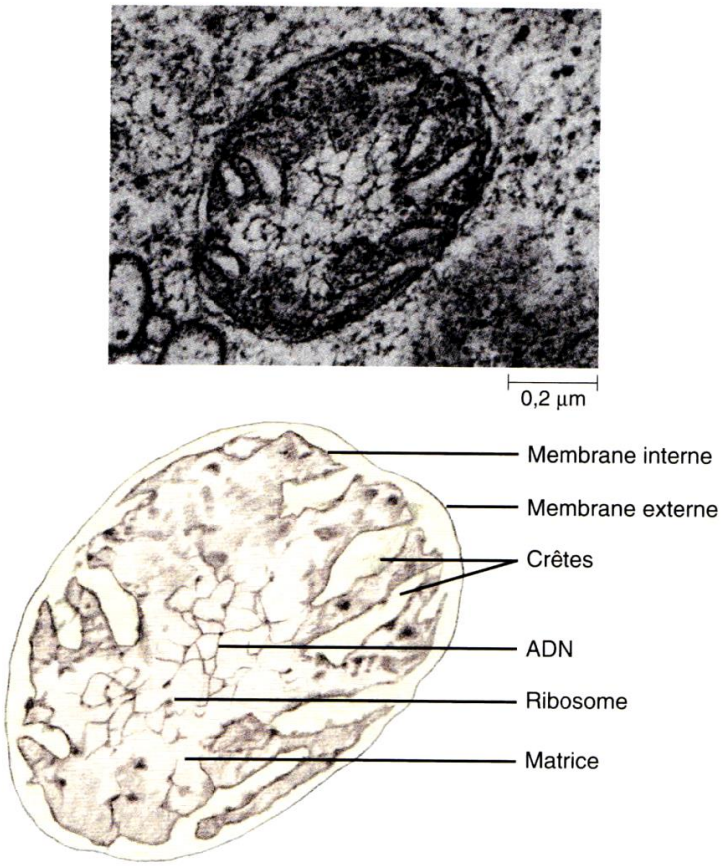
**1.3.1. الميتوكوندري:**

ميتوكندري عضيات خلوية حية موجودة في سيتوبلازم جميع الخلايا حقيقية النواة سواء الحيوانية أو النباتية، و تبدو في الغالب على هيئة حبيبات عصوية، تتواجد الميتوكندري في الخلايا النشيطة بأعداد أكبر من الخلايا المسنة مما يدل على

أهميتها في نشاط الخلية حيث توصف بأنها بيت الطاقة، والدور الأساسي لها هو استخلاص الطاقة المخزنة في المواد الغذائية.

تختلف أعداد الميتوكندري في الخلايا المختلفة، وتحتوي الخلايا النباتية أعداداً أقل من الخلايا الحيوانية، وقد تنعدم الميتوكندري في بعض الخلايا مثل كريات الدم الحمراء في الثدييات، وكذلك يختلف عدد الميتوكندري تبعاً لنوع الخلايا ووظائفها، وهي متعددة الأشكال فقد تكون على هيئة قضبان أو خيوط دقيقة أو حبيبات صغيرة أو بيضوية، تنتشر الميتوكندري في أنحاء سيتوبلازم الخلية وقد تتوزع بشكل غير متجانس.

تحاط الميتوكندري من الخارج بغشائين لهما تقريباً نفس تركيب غشاء الخلية، أحدهما غشاء خارجي أملس والأخر غشاء داخلي و يفصل بينهما فراغ الغشاء الداخلي يمتد داخل تجويف الميتوكندري على هيئة زوائد تعرف بالأعراف الهدف منها زيادة مساحة السطح، ويحتوي تجويف الميتوكندريا على سائل شبه متجانس يعرف بالسائل الحشوي ويحتوي على العديد من الإنزيمات والمواد البروتينية والدهنية والكربوهيدراتية والأحماض النووية.




**الشكل 24:** متوكوندريا لنبات السبانخ (*Spinacea olerecea*)

### 2.3.1. آلية التنفس:

تشتمل عملية التنفس وتحرير الطاقة من المركبات الكربوهيدراتية على ثلاث مراحل رئيسية:

1. التحلل السكري Glycolyse.
2. دورة كريبس Cycle de Krebs
3. سلسلة نقل الطاقة.

**1- التحلل السكري Glycolyse:**

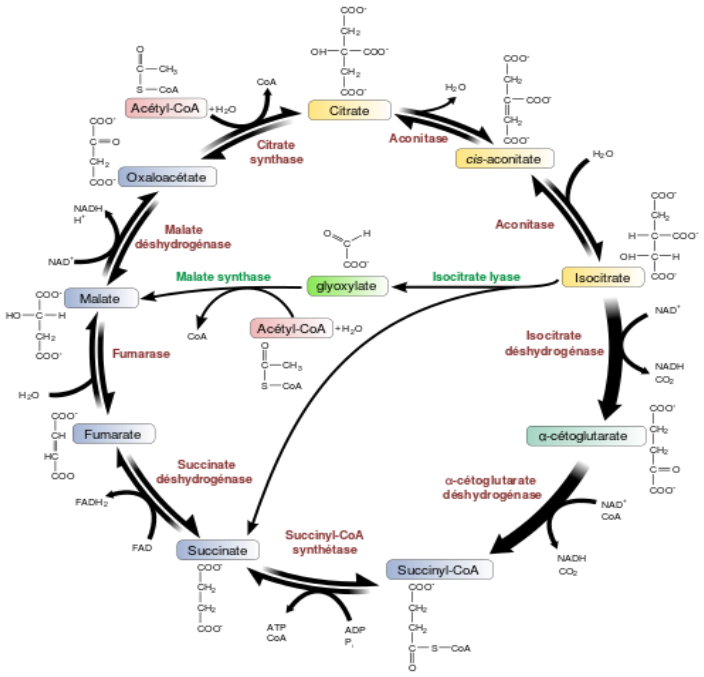
وهي عملية تحليل المواد الكربوهيدراتية مثل الغلوكوز والنشا والسكروز في السيتوبلازم الى مركبات وسطية تنتهي بتكوين حمض البيروفيك Acide pyruvique، وهذه العملية تتم بوجود أو غياب الأوكسجين، إن جزيء واحد من السكر السداسي (الغلوكوز أو الفراكوز) ينتج جزيئين من حمض البيروفيك، تتم عملية التحلل السكري في كافة الكائنات الحية سواء بدائية النواة أو حقيقية النواة.

**2- دورة كريبس Cycle de Krebs:**

وهي المرحلة الثانية من مراحل التنفس الهوائي والتي تسمى دورة الحمض الثلاثي الكربوكسيل Cycle Acide Tricarboxylique أو دورة كريبس Cycle de Krebs نسبة لمكتشفها، الذي افترض سلسلة التفاعلات الدورية في عملية تحليل البيروفات هوائيا، كما سميت بدورة حمض الستريك Cycle Acide Citrique نسبة الى الحمض العضوي الأول المتكون بعد دخول حمض البيروفيك الى داخل الميتوكوندري.

إن حصيلة أكسدة البيروفات في دورة كريبس هي:

1. إنتاج ثلاث جزيئات من $CO_2$.
2. خزن معظم الطاقة الحرة بشكل 4 جزيئات من NADH (Nicotinamide adenine dinucleotide hydrogen) او جزيء واحد من FADH2 (Flavin adenine dinucleotide hydrogen).
3. إنتاج جزيء واحد من ATP.

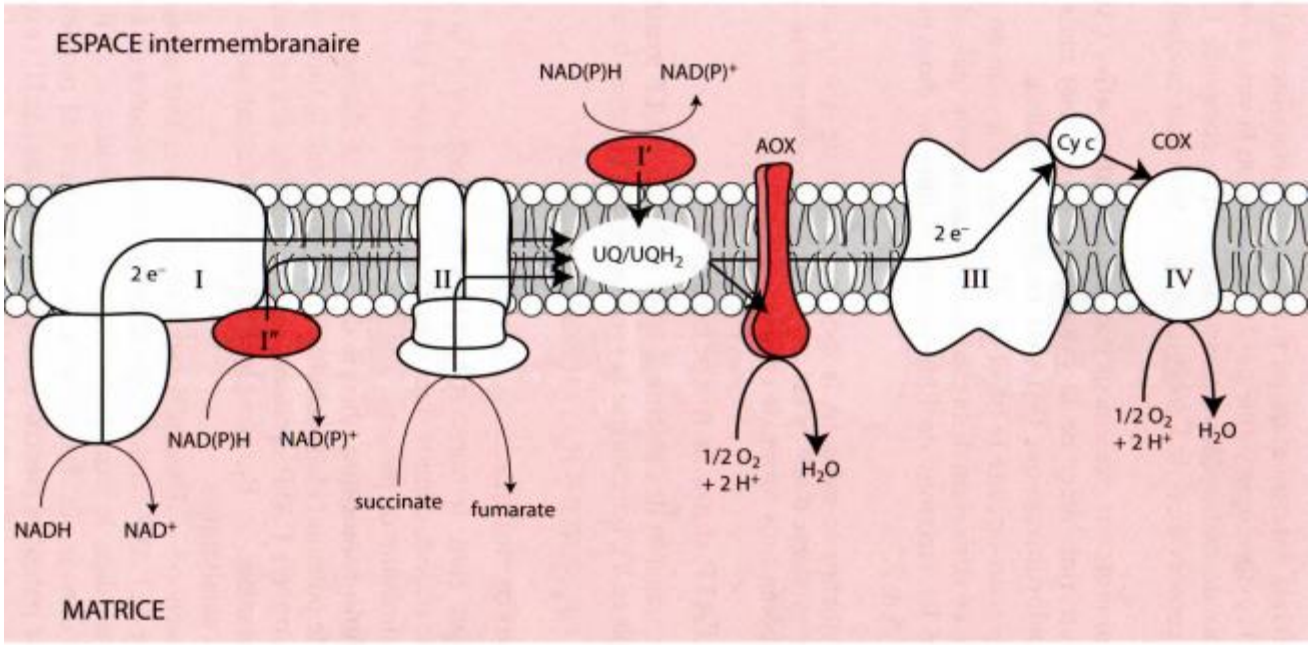



**الشكل 25**: حلقة Krebs

**3- سلسلة نقل الطاقة:**

إن الالكترونات المنزوعة من مواد التفاعل خلال عملية التحلل السكري ودورة كريبس تنقل من المرافقات الإنزيمية NADH و $FADH_2$ المرتبطة مع إنزيمات تلك التفاعلات الى نظام نقل الكتروني موجود على الميتوكوندري، وقد سمي هذا النظام بنظام السيتوكروم Cytochrome.

من أهم نواقل الالكترونات في هذا النظام Ubiquinone الذي يشابه الناقل الإلكتروني Plastoquinone في التمثيل الضوئي، كما تشتمل منظومة النقل Cytochrome a و Cytochrome c.




**الشكل 26:** سلسلة نقل الطاقة

**3.3.1. العوامل المؤثرة على عملية التنفس:**

**1- تركيز $O_2$:**

يزداد معدل التنفس بزيادة تركيز الاكسيجين ولذلك فإن نقص الاكسيجين يسبب انخفاض معدل التنفس، وعلى العموم فإن التنفس الهوائي يتطلب وجود الاكسيجين أي في حالة غياب الاكسيجين فإن التنفس يكون لا هوائيا، ويختلف تأثير تركيز الاوكسجين في سرعة التنفس حسب نوع الانسجة، فقد وجد أن معامل التنفس لا يتأثر عند خفض تركيز الاوكسجين الى 9%، غير أن خفض التركيز الى 5% أو أقل أدى الى انخفاض معامل التنفس لمعظم النباتات، وعلى العموم فان سرعة التنفس تنخفض كلما قل تركيز الاوكسجين عن 20%.

**2- تركيز $CO_2$:**

يختلف تأثير تركيز $CO_2$ في عملية التنفس باختلاف نوع النسيج وفترة التعريض، ويعتقد ان زيادة تركيز $CO_2$ قد يثبط عملية التنفس، حيث ان زيادة تركيز $CO_2$ في الانسجة النباتية قد يسبب غلق الثغور ومن ثم التأثير على تبادل الغازات وبالتالي تثبيط التنفس.

**3- تركيز مادة التنفس:**

تؤدي زيادة تركيز المادة الغذائية الذائبة في الخلايا الى زيادة معدل التنفس حتى درجة معينة بعدها تصبح العملية محددة بعامل آخر، فقد لوحظ زيادة تنفس النباتات الخضراء في الظلام عند تعرضها للضوء لمدة كافية وذلك لقيام الأوراق بعملية التمثيل الضوئي التي تؤدي بدورها الى زيادة محتوى الأوراق من السكر، أما إذا ما تركت النباتات لفترة أطول في الظلام فإن سرعة تنفسها تنخفض مع الزمن وإذا استمر تعريض النبات للظلام لفترة أطول فإن سرعة التنفس تبدأ بعد فترة بالزيادة مرة أخرى (الانخفاض الأول كان بسبب نفاذ الكربوهيدرات أما الزيادة الثانية فكانت بسبب لجوء النبات الى استخدام البروتين كمادة تنفس) لا يلبث أن يعقبه انخفاض في التنفس ينتهي بموت النبات.

**4- المحتوى المائي للأنسجة:**

يؤثر المحتوى المائي للأنسجة النباتية في سرعة تنفسها، فقد وجد أن سرعة تنفس حبوب القمح عند محتوى الرطوبة 12% تكون منخفضة وعند زيادة المحتوى الرطوبي الى 16% قد سبب زيادة ضئيلة في سرعة التنفس، أما عند زيادة المحتوى الرطوبي عن 16- 17% فإن سرعة التنفس تزداد بشكل كبير، ويرجع انخفاض التنفس عندما يكون المحتوى المائي للحبوب قليل الى أن معظم الماء الموجود فيها يكون مرتبط وغير جاهز لعمليات التحلل المائي، كما أن المحتوى المائي المنخفض يؤدي الى قلة نفاذية الأغشية الخلوية للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون.

**5- درجة الحرارة:**

تؤثر درجة الحرارة تأثيرا ملحوظا في عملية التنفس، فالنباتات تستجيب لارتفاع درجة الحرارة في عملية التنفس مثلها كمثل أي عمليه حيوية اخرى، فيزداد معدل التنفس بزيادة درجة الحرارة الى حد ما، كذلك فأن انخفاض درجة الحرارة قد يسبب انخفاض في عملية التنفس وذلك بحسب نوع النبات والبيئة التي يعيش فيها.

تؤثر درجات الحرارة العالية التي تفوق 35° م على التنفس بسبب عوامل عديدة منها:

1. تناقص النشاط الانزيمي مع زيادة درجة الحرارة.
2. عدم دخول الاكسيجين بكمية كافية.
3. تراكم $\underline{CO_2}$ الذي بدوره يؤدي الى تثبيط التنفس.

**6- الضوء:**

تؤثر الضوء في عملية التنفس بطريقة غير مباشرة، ففي الأنسجة غير الخضراء يكون تأثير الضوء في سرعة التنفس محدودا، أما في الأنسجة الخضراء فإن تعرضها الى الضوء ينتج عنه زيادة في سرعة التنفس نتيجة لزيادة إنتاج مادة التنفس (الكربوهيدرات) بفعل التمثيل الضوئي، كما أن زيادة الإضاءة يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة الأنسجة والتي تؤدي بدورها الى زيادة سرعة التنفس، فضلاً عن حدوث التنفس الضوئي.

## 2. التغذية المعدنية Nutrition minérale

علم تغذية النبات وهو العلم الذي يهتم بدراسة كيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية وكيفية امتصاصها وتتبع دخولها من محلول التربة والجو إلى داخل السيتوبلازم والفجوة العصارية، وكذلك دراسة الفرضيات والنظريات المتعلقة بالامتصاص والعوامل التي تؤثر على هذا الامتصاص وكذلك تشخيص أعراض النقص والسمية، إضافة إلى دراسة الوظائف الفيزيولوجية المختلفة لهذه العناصر ودورها في نمو النبات.

تتغذى النباتات على ايونات العناصر المعدنية التي مصدرها التربة، وأن التربة هي ناتج لعمليات التعرية والتجوية في الصخور المختلفة، لذلك تعد الصخور والمحيطات والهواء الجوي المصدر الخام للعناصر الغذائية المعدنية، وعند توفر كميات جاهزة من هذه العناصر تنمو النباتات الصغيرة والكبيرة ويتغذى عليها الحيوان والإنسان، لذلك هنالك علاقة وثيقة بين تغذية النبات ومصير الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية.

وتعتبر التغذية المعدنية عند النباتات ذاتية التغذية من أهم العمليات الحيوية، فهي لا تقل أهمية عن العمليات الأخرى كالتمثيل الضوئي والتنفس ...

1- تهتم بدراسة مكونات النبات من العناصر ودورها في تكوين حسم النبات من خلال العمليات الايضية وكيفية حصول النبات على هذه العناصر من الوسط الذي تعيش فيه.

2- تغذية النباتات الراقية (التي تستطيع تكوين غذائها العضوي بنفسها) تعتبر معدنية في بدايتها أي تحتاج إلى العناصر المعدنية والعضوية في نهايتها.

3- أول عالم لاحظ امتصاص العناصر المعدنية المغذية هو العالم Liebig (1840).

4- الفرق بين Nutrition و Alimentation هو أن Nutrition تعني مصير العناصر المعدنية الممتصة وتأثيرها على ايض النبات، بينما Alimentation فهي كل المواد التي يمتصها النبات والتي يجدها في الوسط.

5- لمعرفة المحتوى المعدني نتبع طريقتين:

- الطريقة التحليلية Méthode Analytique: تعتمد على تحليل النبات في مرحلة ما من نموه.

- الطريقة التركيبية Méthode synthétique: وتعتمد على دراسة كل عنصر معدني حسب مختلف التركيبات حتى نحصل على المستوى المناسب للمركبات، وكذلك تأثيرات هذا العنصر في الوسط الخارجي وكذلك التاثيرات بين العناصر فيما بينها.

### 1. طرق دراسة التغذية المعدنية للنبات:

لمعرفة المحتوى المعدني نتبع طريقتين:

#### 1.1. الطريقة التحليلية Méthode Analytique:

بفضل هذه الطريقة نستطيع معرفة كل العناصر الموجودة في النبات، حيث توصل الباحثون إلى أن المادة الجافة متكونة من مواد عضوية (كربوهيدرات ، دهون ...) ومواد غير عضوية، ويمكن التخلص من المواد العضوية بحرق المادة الجافة تحت درجة عالية تقارب 600°م بحيث نتحصل في الأخير على الرماد الذي يحتوي على جميع الأملاح المعدنية التي

امتصها النبات من التربة، هذه العناصر تتواجد في الرماد على شكل غير نقي (اكاسيد) تتراوح النسبة المؤوية للرماد إذا حرقنا 100 غ من المادة الجافة 1- 15% ، تمثل العناصر (O،H،C) 80 - 90 % من المادة الجافة يحصل عليها النبات من الهواء والماء بينما يقوم بامتصاص العناصر الأخرى من التربة.

الطريقة التحليلية طريقة بسيطة تعتمد على اخذ قطعة من النبات (أوراق) ونقوم بتحليل العناصر التي تحتويها:

1- تجفيف العينة النباتية ثم حرقها حيث نحصل على الرماد.

2- نقوم بعملية المعدنة.

3- التحليل (التقدير الكمي).

**جدول 2: التراكيز المئوية للعناصر الضرورية لمعظم النباتات حسب Salisboury et Ross (1985).**

| العناصر | الرمز | الصيغة الممتصة | النسبة في النبات % |
|---|---|---|---|
| الكاربون | C | $CO_2$ | 50-40 |
| الاكسيجين | O | $O_2$ $H_2O$ | 45-42 |
| الهيدروجين | H | $H_2O$ | 7-6 |
| النيتروجين | N | $NO_3^-$ $NH_4^+$ | 3-1 |
| الفوسفور | P | $H_2PO_4^-$ $HPO_4^{-2}$ | 0. 5-0.1 |
| الكبريت | S | $SO_4^{-2}$ | 0.6-0.1 |
| الكالسيوم | Ca | $Ca^{+2}$ | 2-1 |
| المغنيزيوم | Mg | $Mg^{+2}$ | 0.7-0.1 |
| البوتاسيوم | K | $K^+$ | 4-2 |
| الحديد | Fe | $Fe^{+2}$ $Fe^{+3}$ | 0.01 |
| الكلور | Cl | $Cl^-$ | 0.01 |
| البور | B | $H_3BO_3$ | 0.002 |
| المنغنيز | Mn | $Mn^{+2}$ | 0.05 |
| الزنك | Zn | $Zn^{+2}$ | 0.002 |
| النحاس | Cu | $Cu^+$ $Cu^{+2}$ | 0.0006 |
| الموليبدام | Mo | $MoO_4$ | 0.00001 |

وحسب العالمان STOHT et ARNON (1939) أن العنصر الضروري للنبات تتوفر فيه 3 معايير:

1- عند فقده النبات لا يستطيع أن يتم نموه.

2- وضيفة هذا العنصر لا يستطيع أن يقوم بها عنصر آخر.

3- العنصر يجب أن يكون مباشرا في الميتابوليزم أو التركيب.

هذه الطريقة لها ايجابياتها وسلبياتها:

ـ من ايجابياتها أنها تساعد على اكتشاف كل العناصر المعدنية الموجودة في للنبات، وكذلك معرفة ماذا استهلك النبات من العناصر وماذا فقد.

ـ من سلبياتها أنها لا تستطيع إثبات ضرورة هذه العناصر لنمو النبات، كما أنها تبقى ناقصة لأنها لا تخبرنا عن الدور الفيزيولوجي لهذه العناصر.

**2.1. الطريقة التركيبية أو المنهج الشامل** Méthode synthétique**:**

تعتمد على تشكيل محاليل اصطناعية واستعمالها في تغذية النباتات التي تعيش في وسط جامد.

**1ـ مبدأ الطريقة التركيبية:** انطلاقا من نتائج الطريقة التحليلية (تحليل النبات):

1ـ يركب وسط شامل يسمح بنمو وتطور النبات.

2ـ تغيير صيغة الوسط بحذف أحد العناصر أو الأملاح وفحص تأثيراته لمعرفة ضرورية هذا العنصر من عدمها،

3ـ عندما يتبين بان عنصر ما ضروري في الوسط نحاول تدقيق الجرعة الحسنة اللازم وجودها في الوسط فنحصل بذلك على منحنيات التأثير (Courbes d'action) (الشكل 27).

تعتمد الطريقة التركيبية على نتائج الطريقة التحليلية حيث تؤخذ كأساس في تحضير المحاليل التي تضم كل العناصر التي تساعد على نمو النبات. حيث نحدث تغيرات في كمية عنصر ما في الوسط ونرى ما هي الانعكاسات التي يحدثها على النمو، فإذا كان النمو عادي نقول أن هذا العنصر غير أساسي في التغذية، أما إذا حدث تذبذب في النمو نقول بان العنصر نافع، وأما إذا توقف النمو نقول بان العنصر ضروري.

نرفع تدريجيا تركيز العنصر الغذائي حتى نحصل على التركيز الذي يعطي نمو جيد للنبات، فإذا وصلنا إلى التركيز الأدنى الذي يمكن للنبات من النمو المثالي هذا الامتصاص الزائد للعنصر يعتبر استهلاك زائد. في الأخير إذا ارتفع تركيز العنصر يصبح سام.

**2. التركيب المعدني للنبات:**

يثبت المنهج التركيبي النتائج المتحصل عليها عن طريق المنهج التحليلي ألا وهي الفصل بين العناصر المغذية للنبات، ويمكن تقسيم العناصر الغذائية حسب:

**1ـ كميتها في النبات:** والتي تقسم إلى مجموعتين:

1ـ العناصر المستعملة بكميات كبيرة وتتراوح حدودها بالنسبة للنبات من (0.1 % - 6 %) من محتوى المادة الجافة وتسمى بالعناصر الكبري macro-elements أو les éléments majeurs وهي: P ، N ، S ، Mg ، Ca ، Fe وهي عناصر جوهرية وهناك عناصر اخرى Al ، Cl ، Na ، Si غير اساسية.

2- العناصر المستعملة بكميات قليلة (فعالة ولكن بكميات اقل) ويقدر محتواها في المادة الجافة (200ppm) (جزء بالمليون) وتسمى بالعناصر الصغرى micro-élément أو oligo-élément وتنقسم هذه العناصر بدورها إلى مجموعتين:

- مجموعة العناصر الضرورية : Mo، B ، Cu ، Zn ، Mn
- مجموعة العناصر غير الضرورية : Pb ، Cr ، Cd ، I ، F

**2- وظائفها الفيزيولوجية والحيوية:** والتي تقسم إلى المجاميع التالية:

**المجموعة الأولى:** وتشمل عناصر (C-H-O-N-S) حيث تدخل في تركيب المادة العضوية النبات وتنشيط الإنزيمات.

**المجموعة الثانية:** وتشمل عناصر(P-B-Si) وتشارك هذه العناصر في انتقال الطاقة وتكوين مجاميع الاستر.

**المجموعة الثالثة:** وتشمل عناصر(Cl-Mn-Mg-Ca-Na-k) فإنها ذات أهمية في الضغط الاسموزي وتساهم في عملية تكوين الإنزيمات والبروتينات.

**المجموعة الرابعة:** وتشمل عناصر (Fe-Cu-Zn-Mo) تعمل على انتقال الالكترونات ولها دور بعمليات الأكسدة والاختزال.

**3. أدوار العناصر المعدنية وأعراض نقصها:**

**1.3. العناصر الكبرى:**

**1- النتروجين:**

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

**2- الفوسفور:**

- يشترك في تركيب المركبات الغنية بالطاقة.
- يدخل في تركيب مشتقات الدهون والبروتينات النووية ويعمل كمرافق إنزيمي لبعض الإنزيمات.
- يتواجد بنسبة عالية فى البذور والثمار.
- من العناصر المتحركة داخل النبات مثل النتروجين ولذلك يوجد بكثرة في الأنسجة المرستيمية.
- يعمل على الإسراع في عملية الإزهار بينما النتروجين يؤخر الإزهار.
- من أعراض نقصه صغر حجم النبات والأوراق والتي تأخذ لوناً قاتماً وقد يظهر اللون القرمزي علي الأعناق والعروق وقد تظهر بقع قرمزية أو بنية علي نصل الورقة وهذا اللون يرجع لتراكم صبغة الأنثوسيانين.

**3- البوتاسيوم:**

- من العناصر المتحركة ويوجد بنسبة عالية في الأطراف النامية لكل من الجذر والساق والأوراق.
- له دور هام في بناء السكريات والنشا ورفع الضغط الإسموزي للخلايا.

- منظم لعملية فتح وغلق الثغور.
- من أهم أعراض نقصه إحتراق حواف الأوراق وخاصة الأوراق السفلية، ويظهر النبات ضعيفاً وقصيراً وأوراق أشجار الفاكهة تتلون باللون الإرجواني وتحترق حوافها والأوراق المسنة مجعدة.

**4- الكبريت:**

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

**5- الكالسيوم:**

- يدخل في تركيب الصفيحة الوسطي للخلية مع المواد البكتينية.
- ضروري لعمليات الانقسام غير المباشر.
- له دور هام في عمليات تحويل النشا إلي سكريات والعكس.
- من العناصر غير المتحركة في النبات ولذلك تبدو أعراض نقصه علي الأوراق العليا والقمة النامية.
- منظم لعملية التنفس وتكوين الميتوكوندريا ومنشط للإنزيمات.
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي احتراق حواف الأوراق وتصبح الأوراق غير منتظمة وتموت القمم النامية للسوق وتموت البذور أو تكون ضعيفة التكوين وتموت الأوراق مبتدئة بالأوراق العليا متجهة للقاعدة.

**6- المغنيسيوم:**

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

**7- الحديد:**

- يعتبر الحديد عنصر أساسي ولكن بتركيزات منخفضة.
- مهم جداً لتكوين الكلوروفيل ولو أنه لا يدخل في تركيبه.
- يدخل في تركيب إنزيمات الأكسدة والسيتوكروم.
- من أهم أعراض نقص هذا العنصر اصفرار الأوراق الحديثة بينما الأوراق المسنة تبدو طبيعية وهذا يدل علي أن الحديد من العناصر الساكنة غير المتحركة في النبات.

- تكثر أعراض نقص الحديد في الأراضي القلوية فيوجد في صورة غير صالحة للامتصاص ويعمل وجود النحاس والمغنسيوم علي خفض معدل امتصاص الحديد وذلك لحدوث ظاهرة التضاد.

**2.3. العناصر الصغرى:**

**1- البور:**

- له دور مهم في تكوين الهرمونات وأيض الدهون وهو عنصر ساكن.
- يعمل كمنظم لمعدل الامتصاص وفقد الماء وامتصاص النتروجين.
- له دور مهم في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية.
- نقصه يؤدي إلي تشوه الأطراف النامية وموت قواعد الأوراق. وتشقق السيقان وتصبح الأوراق قصيرة وسميكة وسهلة التكسير وتلف الثمار.

**2- النحاس:**

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

**3- الزنك:**

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

**4- الموليبدام:**

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

**5- المنغنيز:**

- عامل مساعد في تفاعلات الضوء في عملية البناء الضوئي.
- يدخل في تركيب الإنزيمات ويعمل كمرافق إنزيمي لإتمام عمليات الأكسدة والاختزال.

- يساعد في عملية انقسام البلاستيدات الخضراء.
- أهم أعراض نقصه اصفرار الأوراق مع بقاء العروق خضراء وعدم إزهار النباتات.

**6- الكلور:**

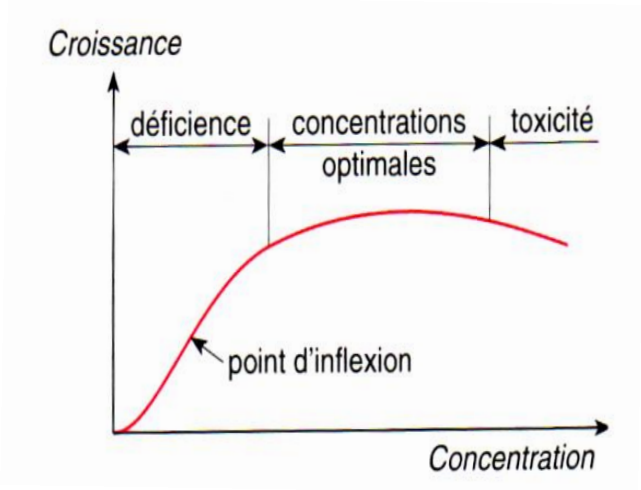
- عامل مساعد في عملية التحلل الضوئي للماء في تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي.
- أعراض نقصه تشبه إلي حد كبير أعراض نقص المنغنيز.

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

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

**4. تأثير مختلف جرعات عنصر ما على النبات:**

**1- في حالة عنصر واحد:** نغير تدريجيا تركيز عنصر غذائي واحد فقط نتحصل على منحنى يمثل تغيرات نمو النبات بدلالة تغير في تركيز العنصر المغذي، بهذا النوع من التجارب نحصل بسهولة على قيم العنصر المغذي أين يكون النمو مثالي وثم تعميم تأثير عنصر معدني واحد على نمو النبات والحصول على المنحني العام لتأثير عنصر معدني على النمو (الشكل 27).




**الشكل 28**: منحنى تأثير عنصر غذائي واحد على النمو

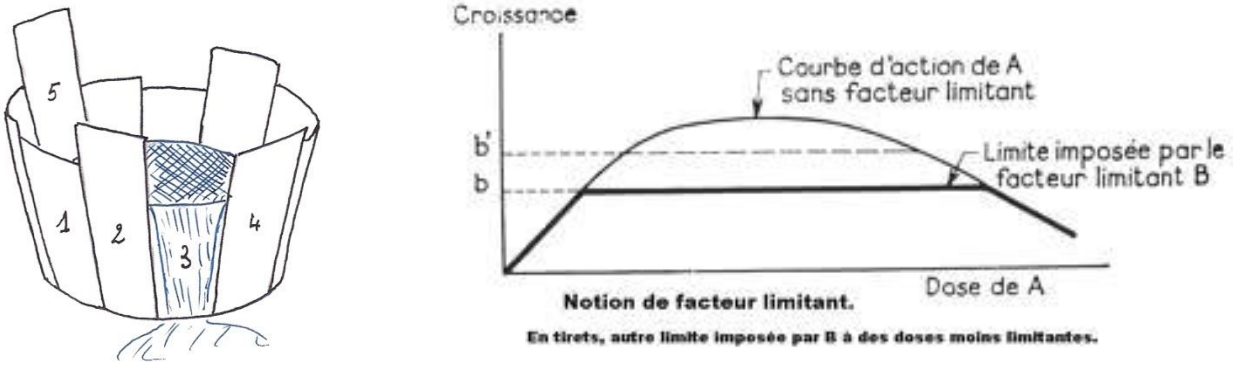
يتقسم المنحني إلى 3 أجزاء:

1- جزء متصاعد يمثل التركيزات غير الكافية للعنصر المعدني.
2- جزء يمثل التركيزات الجيدة والمثلى.
3- جزء نازل يمثل التركيزات السامة.

**2- في حالة عدة عناصر:**

هنا يجب علينا دراسة تأثير عدة عناصر على النمو ولشرح هذه الحالة نذكر بمفهوم العامل المحدد:

**مفهوم العامل المحدد facteur limitant**: إذا كانت ظاهرة بيولوجية تحث تأثير عدة عوامل فإن العامل الأقل تركيزا هو المحدد لهذه الظاهرة وحسب Liebig فإن العنصر الغذائي الموجود بالأرض بأقل كمية بالنسبة لحاجة النبات منه يصبح عاملا محددا للنمو فإضافة أي مقدار منه يزيد في النمو بنسبة كبيرة وثابتة بينما إضافة أي عنصر آخر لن يكون لها أي تأثير حتى يزيد مقدار هذا العنصر المحدد.




**الشكل 29**: مفهوم العامل المحدد

في حالة تغيير تركيز ثلاثة عناصر مع بعض فنستطيع استعمال الطريقة المثلثية ونتائجها تمثل على الشكل التالي:

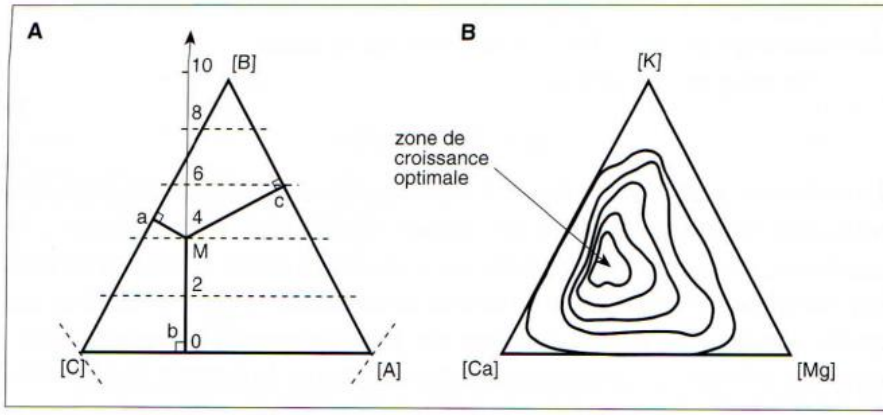



**Figure 11.4 : Méthode graphique triangulaire pour déterminer les proportions optimales de trois éléments différents.**
**A, principe (cf. texte). La somme a + b + c reste constante pour tout point du triangle équilatéral. On a représenté, à titre d'exemple, l'échelle des concentrations de l'élément B.**
**B, application à la croissance de la tomate.**

**الشكل 30:** الطريقة المثلثية لدراسة تأثير ثلاثة عناصر مع بعض

## 4. التغذية الآزوتية Nutrition Azotée

في منتصف القرن التاسع عشر أدرك معظم العلماء بان النبات يحصل على النيتروجين من التربة بدلا من الهواء الجوي، وقد اتضح بأن هذا العنصر من أهم العناصر بعد C و H وO وعلى الرغم من أن النيتروجين يؤلف 78 % من الهواء الجوي المحيط بالكرة الأرضية إلا أن نسبته في النباتات لا تزيد عن 1 - 3 % (على أساس الوزن الجاف).

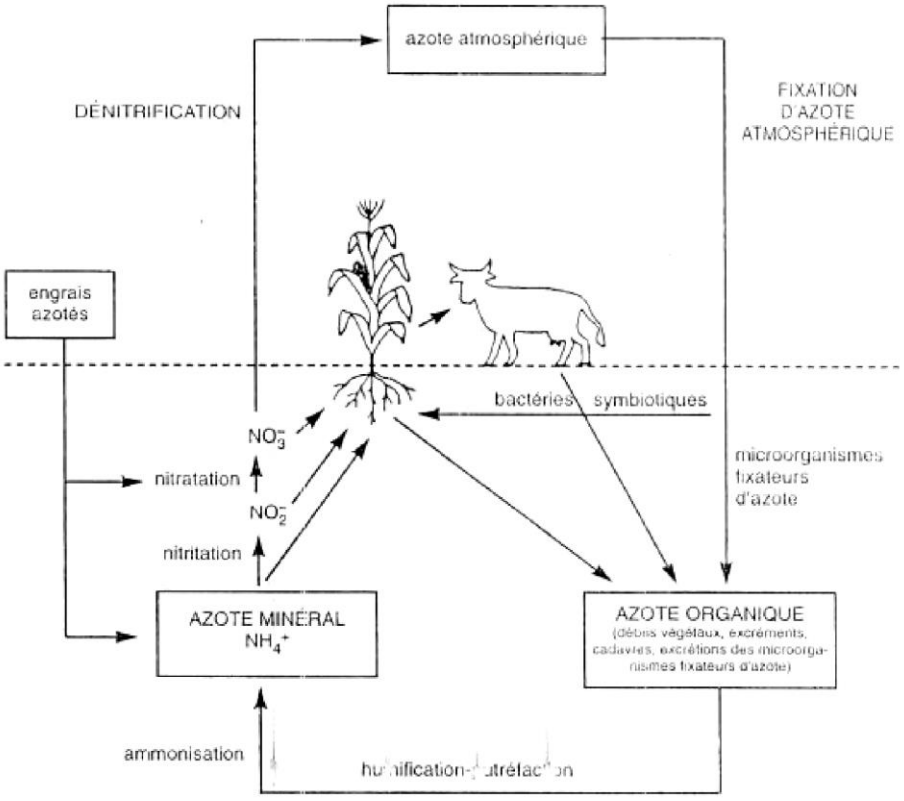
يتحصل النبات عادة على النيتروجين الموجود في التربة أو عن طريق التكافل Solidarité بين النباتات العائلة البقولية Legumineuses والبكتيريا *Pseudomonas* القادرة على تثبيت هذا العنصر في التربة بواسطة العقد الجذرية.

### 1. مصادر المركبات النتروجينية:

تستمد النباتات الراقية جميع احتياجاتها من هذا العنصر من المركبات المحتوية عليه، وبما أن النيتروجين لا يدخل في تركيب الصخور المكونة للتربة فيترتب على المزارع تجديد محتوى التربة بهذا العنصر بإضافة الأسمدة الآزوتية كما يتم تزويد التربة بواسطة نشاط بعض الكائنات الموجودة في التربة والمتمثلة في البكتيريا المثبتة للنيتروجين.

### 2. دورة النيتروجين:

تخضع المركبات النيتروجينية لتغيرات مختلفة ناتجة عن تفاعلات حيوية يؤلف تتابعها ما يسمى بدورة النيتروجين، فمصدر النيتروجين في التربة هو مواد متنوعة كبقايا المحاصيل والجثث والأسمدة المعدنية وأملاح الامونيوم والنترات الواصلة إليها مع الأمطار وكذلك المركبات النيتروجينية المثبتة بواسطة البكتيريا التربة (الشكل30)، تتعرض هده المواد المتنوعة إلى فعل الكائنات الحية الدقيقة فتتحول المواد العضوية النيتروجينية إلى مركبات امينية ثم إلى امونيوم بعملية النشدرة Amonification ويتحول المونيوم إلى نترات بعملية النترتةNitrification فتمتص النباتات مركبات الامونيوم أو النترات فتتحول داخل النبات إلى أشكال عضوية مختلفة وتعود هذه المركبات ثانية إلى الأرض سواء على شكل بقايا نباتية أو جثث أو فضلات.




**الشكل 31**: دورة النيتروجين في الطبيعة

ويتعرض قسم من النترات المتشكلة إلى الفقد Denitrification بتحويلها إلى أشكال نيتروجينية غازية تنطلق في الهواء الأرضي ومنها إلى الهواء الجوي.

### 3- . الدبال Humus:

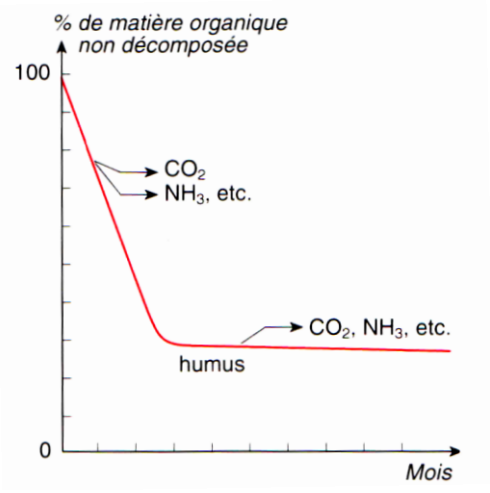
تصل نسبة المادة العضوية في التربة العادية 2 % والى 6 - 8 % في التربة المزروعة وحتى 12 - 15 % في التربة الغابية، تتكون هذه المادة العضوية من بقايا نباتية أو حيوانية محللة جزئيا تمد العناصر أو المواد المركبة التالية: $CO_2$ . $NO_3$ . . $NH_4OH$ وعناصر أخرى $PO4H_3^-$ مع تحرر العناصر التالية $Mg^{++}$ . $K^+$ . $Cl^-$ . $Ca^{++}$. وهذا بعد معدنة المركبات الأولى ويتم الحصول على الدبال في مرحلتين:

**1- المرحلة الاولى**: تعني كل المواد السللوزية والبروتينية تتم بسرعة حيث تتطلب من بعض الأسابيع إلى بعض الأشهر في الظروف الملائمة (تهوية وحرارة ورطوبة) وتسمح بتحلل حوالي 70 % من المادة العضوية الأولية بواسطة الجراثيم والفطريات وتسمى هذه العملية بالإندبال Humification.(هي مجموعة التحولات التي تؤدي إلى تكوين مواد دبالية، هي عملية بيوكيميائية معقدة تقوم بها ميكرو فلورا التربة).

**2- المرحلة الثانية:** وهي نفس العملية لكن تكون بطيئة وتمس المواد الأكثر مقاومة للتحلل فتأخذ وقت كبير، وكل من المرحلتين يؤدي إلى الحصول على الدبال وهو مادة سوداء التي تعطي لون التربة ويعتبر الدبال مخزون للنيتروجين وللعناصر المعدنية الأخرى بالنسبة للتربة وهناك جزء صغير من الدبال يتحول إلى عناصر معدنية Miniralisation ( تحول الدبال إلى $NH_4$).

يتكون الدبال من 3 أجزاء:

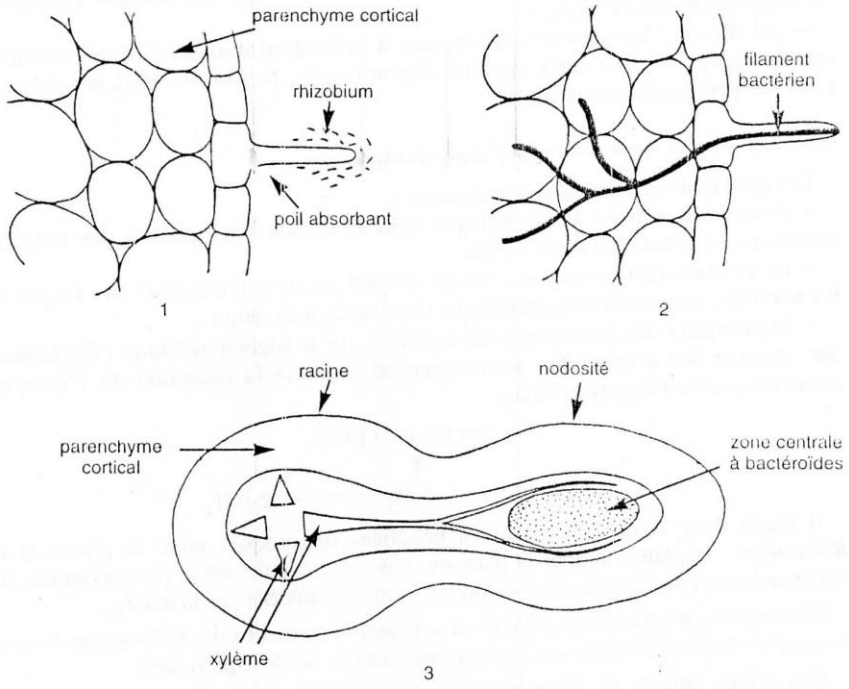
- أحماض دبالية Acide humique، - أحماض فولفية Acide fulvique ، - الحمض الحيادي Humine




**الشكل 32**: مراحل تكون الدبال humification

**4. تثبيت النيتروجين من طرف البقوليات: (مراحل تكوين العقد الجذرية):**

ـ اقتراب البكتيريا من الشعيرة الجذرية ـ خدش الشعيرة الجذرية ـ دخول البكتيريا وتكاثرها في خلايا القشرة ـ تمايز الجزء المصاب.




**الشكل 33:** مراحل تكون العقد الجذرية

**4. امتصاص وانتقال العناصر المعدنية:**

**1.4. امتصاص العناصر المعدنية:**

تتم عملية امتصاص معظم الأملاح المعدنية وبالتالي تغذية النباتات بواسطة الاوبار الماصة بالتزامن مع امتصاص الماء، فتمتص العناصر من محلول التربة على شكل ايونات ما عدى القليل منها (عندما يكون أس الربة عاليا).

الامتصاص يكون على مرحلتين:

**المرحلة الابتدائية:** يكون الامتصاص سريعا ومحددا في الزمن، فيسمح الامتصاص في هذه المرحلة بالوصول إلى اتزان وتعادل بين الوسط الداخلي والخارجي فيقال بأنه حدث تشبع للفراغ الحر(هو الفراغ الموجود في الخلايا والذي تنتقل اليه المواد بطريقة حرة وهو يشمل جدران الخلايا ، المسافات الينية بين الخلايا والاوعية والقصيبات الخشبية).

**المرحلة الثانية:** وتسمى المرحلة التراكمية وهي بطيئة ومستمرة ويتم تركم الايونات الممتصة والتي تكون على حالتين:

ـ الحالة الأولى: تكون حرة قابلة للتبادل حائزة على كمية ثابتة من الايونات.

ـ الحالة الثانية: ثابتة غير قابلة للتبادل حائزة على كمية متغيرة من الايونات حسب نفاذية اغشية الخلية.

تطابق المرحلة الأولى الامتصاص السالب أما المرحلة الثانية فتطابق الامتصاص النشط للايونات.

**الامتصاص السالب Absorption passif:** هو الامتصاص الذي يتم بواسطة الانتشار أو أي عملية أخرى دون صرف طاقة من طرف النبات ويتم بواسطة:

- توازن دونان Equilibre de Donnane
- النتح Transpiration الذي يؤثر على جذب محلول التربة أو الوسط الغذائي للمحافظة على تدرج التركيز بين خلايا الجذر والوسط الذي تعيش فيه هذه النباتات.

**الامتصاص النشط Absorption actif:** تسمى عملية الامتصاص التي تستهلك طاقة بالامتصاص النشط.

### 2.4. انتقال العناصر المعدنية:

يستمر انتقال المواد الذائبة من بداية نمو النبات حتى اكتمال دورته ويتم ذلك خلال عناصر التوصيل في كل عضو من النبات فتنتقل الأغذية من أنسجة التخزين في البذرة إلى الأعلى في الساق النامية والى الأسفل في الجذور.

تتحرك المواد والمركبات الممتصة من التربة إلى أعلى كما تتحرك بعض المركبات إلى الأسفل (من أماكن التمثيل إلى الجذور)، واثر انتقالها أو هجرتها تتم عدة تبادلات بين الماء والمواد المغذية وكذلك الفضلات والهرمونات، فمواد التبادل أو المواد المهاجرة تندرج في تيارين محددين هما:

1- التيار الناقل للماء والأملاح في الأوعية الخشبية وهو مكون من السغ الخام (Sève brute) (سائل مغذي بتكون من ماء وأملاح معدنية الممتصة من طرف الجذور) وهذا التيار يسمى التيار الصاعد (Courant Ascendant).

ينقسم هذا التيار إلى قسمين (مرحلتين):

- انتقال أفقي: من الاوبار الماصة نحو الاسطوانة المركزية للجذر.

- انتقال عمودي: انتقال الماء داخل النبات عموديا.

**آلية صعود العصارة:** تتم هذه الهجرة على أساس عمليتين (نظريتين):

**العملية الأولى:** وهي عملية النتح وتماسك جزيئات الماء، فانتقال محلول التربة من الجذور إلى الأوراق يحدث تزحزح الماء في الأوعية بمجرد خروجه من الثغور.

تماسك جزيئات الماء ببعضها البعض والتصاقها مع جدار أوعية الخشب الدقيقة (الخاصية الشعرية) يسمح (يسبب) سحب الماء من أسفل النبات إلى أعلاه حيث يكون الماء عمودا متصلا داخل النبات، وهذا ما يعبر عنه Dixon وآخرون في تجربتهم في الشكل الذي يعبر عما يحدث بين جذور النبات الممتصة والأوراق المتصلة ببعضها بأوعية خشبية دقيقة.

(الماء والمواد الذائبة يصعد في شكل عمود مائي متصل في الأنسجة الخشبية بفضل تماسك جزيئات الماء داخل العمود وكذلك لقوى التلاصق بين الماء والأوعية الخشبية ثم الضغط الاسموزي ثم السحب عن طريق الأوراق نتيجة النتح). فقد الماء عن طريق الأوراق يؤدي إلى تزحزح الماء في الأوعية.

**العملية الثانية:** هي الدفع الجذري وجد باحثون أن ضغطا يتكون في جذور النباتات يسمح بضخ المحلول المغذي للتربة من الجذور إلى أعالي النبات، فمثلا الضغط عند نبات العنب يتراوح من 5-6 ض ج يسمح بانتقال محلول التربة إلى ابعد برعم في هذا النبات.

2- التيار النازل أو التيار الناقل للنسغ الكامل (Sève elaborée) يتم في أنسجة اللحاء ينقل هذا التيار النسغ الكامل المكون من محلول مركز نسبيا مقارنة بالنسغ الخام غني بالسكريات (5-20)% كما يحتوي هذا المحلول على بعض الأملاح، ويتم تمثيل هذا المحلول في كل الأجزاء الخضرية الحاوية لمادة اليخضور وخاصة الأوراق فتيار النسغ الكامل ينتقل عادة من الأعلى إلى الأسفل من الاوراق إلى الجذور وبذلك يسمى كذلك بالتيار النازل (Courant descendant) .

### 3.4. العوامل المؤثرة على امتصاص العناصر المعدنية:

إن نفاذية الأغشية الخلوية أو إمكانية الامتصاص تتغير حسب متطلبات الخلية، حسب نوع النبات، حسب العضو النباتي، حسب النسيج المعني وكذلك العنصر الكيميائي المعني بالامتصاص، كما تتغير شدة الامتصاص مع الحالة الفيزيولوجية للخلايا سواء كانت خلايا فتية أو كبيرة أو مسنة، شدة الامتصاص تتغير ايضا مع العوامل الخارجية، فمن بين هذه العوامل الخارجية أو البيئية نذكر:

**1- الحرارة:** الامتصاص يزداد بزيادة درجة الحرارة في الحدود الفيزيولوجية المقبولة للنبات من $0^0$ م إلى $45^0$ م، ويرجع سبب زيادة شدة الامتصاص بزيادة درجة الحرارة إلى عاملين هما:

- معدل الانتشار في هذه العناصر (الحرارة تسهل انتشار العناصر المعدنية).
- زيادة نشاط الخلايا وخاصة التنفس.

**2- الضوء:** الإضاءة لا تتدخل مباشرة في ظواهر الاسموز لكنها تؤثر بصورة غير مباشرة وبصفة حساسة على الامتصاص من جانب الايض العام للنبات، فالنباتات المعرضة لشدة ضوئية عالية كافية لتثبيت $CO_2$ بمعدلات كبيرة وينتج عن ذلك كميات من المواد المصنعة أو الممثلة التي تستعمل في عملية تنفس الجذور والتي تعتبر أساس نشاطها وبالتالي تزيد نشاط الجذور في امتصاص الايونات ومن ثمة نقول أن الإضاءة تساهم في عملية الامتصاص.

**3- التهوية:** يجب تزويد جذور النباتات بالأكسيجين حتى تستطيع امتصاص الكميات اللازمة من الأملاح الضرورية لنموها وليس من الضروري أن تكون نسبة الأكسيجين في التربة عالية أو مقاربة لنسبته في الهواء.

ولقد وجد أن جذور الشعير تمتص كميات قصوى من K عندما يكون تركيز $O_2$ يقترب من (2-3)% من جو التربة وكن ليس لهذا النقص تأثير على الامتصاص من طرف جذور الارز.

**4- تأثير pH الوسط:** يمكن نمو النباتات في وسط ذي أس هيدروجيني من (4-9) وأغلبيتها تعيش في وسط pH=7 بصورة جيدة وهذا لما للـ Ph من دور في تسهيل الامتصاص بإذابة هذه المواد بتعقيدها مع مواد أخرى.

يؤثر pH على امتصاص الايونات بعدة طرق فإذا ما انخفض pH تقوم الكاتيونات $H^+$ بتقليل امتصاص الكاتيونات الأخرى ، وتسمح بامتصاص الايونات السالبة (الانيونات) ، وعندما يكون pH مرتفعا تقوم ايونات $OH^-$ بتقليل امتصاص الايونات السالبة وتزيد من امتصاص الايونات الموجبة الشيء الذي يمكن من الحصول على اتزان.

**5- تأثير العوامل الكيميائية للمواد الممتصة:** تتأثر شدة امتصاص الايونات حسب:

- شدة تركيز هذه المواد في الوسط.
- الوجود المتزامن لها مع ايونات أخرى.

فعند امتصاص الخلايا الحية لايونات معينة تتأثر أنواع هذه الشوارد بوجود أثار متبادلة تؤدي إلى تنشيط بين عنصرين حيث يمكن أن يكون تنشيط بين عنصرين، حيث يكون مفعول العنصر ا ينشط امتصاص العنصر ب وتسمى هذه الظاهرة بالمساعدة Synergie.

مثال: وجود $NO_3^-$ أو $Cl^-$ ينشط امتصاص $K^+$ و $Ca^{+2}$

يمكن أن يكون هناك تعاكس Antagonism حيث تنشيط امتصاص العنصر ا يقلل من امتصاص العنصر ب.

مثال: وجود $Mg^{+2}$ و $Ca^{+2}$ يقلل امتصاص $Na^+$

## 4.4. العوامل المؤثرة على المحتوي المعدني في النبات:

### 1- العامل الوراثي:

للعامل الوراثي دور مهم في تحديد محتوى النبات من العناصر المعدنية وبصورة عامة فإن مادة النباتات الخضراء تحتوي من عنصري النتروجين والبوتاسيوم ما يعادل عشرة أضعاف ما يحتويه من عنصري الفسفور والمغنيسيوم أما من ناحية نوع النباتات نلاحظ إن محتوى البقوليات من عناصر النتروجين والكالسيوم والفسفور أعلى مما موجود في النجيليات وأن الحمضيات تحتوي عادة على كميات عالية من الكالسيوم أما محاصيل البطاطا والبنجر السكري وقصب السكر فتكون عالية المحتوى من البوتاسيوم ويلاحظ إن السبانخ ذو محتوى عالي من الحديد أما بالنسبة البصل والثوم فتكون ذو محتوى عالي من الكبريت.

### 2- جاهزية العنصر الغذائي:

كلما زاد تركيز العناصر الغذائية في النبات يكون انعكاسا لزيادة هذه التراكيز في وسط النمو.

### 3- اختلاف العضو النباتي:

يختلف محتوى النبات من المغذيات باختلاف الجزء النباتي المدروس (أوراق، جذور، ثمار، بذور ..) بصورة عامة يلاحظ أن محتوى أنسجة النبات من المغنيزيوم والنتروجين والبوتاسيوم والفسفور والكالسيوم يكون عادة متركزة في اغلفة الحبوب أكثر من البذور.

### 4- اختلاف عمر النبات:

يلاحظ أن محتوى النباتات الحديثة السن من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم يكون عالي بينما النباتات المسنة يلاحظ أن محتواها من الكالسيوم والمنغنيز والحديد والبور يكون عالي.

# قـــائمـــة المـــراجـــع Références


كاظم عبد العظيم، 1985. علم فسلجة النبات. الجزء الأول، دار الكتب للطباعة والنشر. جامعة الموصل. العراق. 532ص.

كاظم عبد العظيم، 1985. علم فسلجة النبات. الجزء الثاني، دار الكتب للطباعة والنشر. جامعة الموصل. العراق. 405ص.

كاظم عبد العظيم، 1991. أساسيات فيزيولوجيا النبات. الجزء الثاني. جامعة بغداد. .العراق . 415 ص.

BOWES B. G., 1996. *Structure des plantes : Atlas en couleur*. Ed INRA. Paris, France. 192p.

GORENFLOT R. et DE FOUCAULT B., 2005. *Biologie Vegetale: Les Cormophytes.* Ed. Dunod, France, 594p.

HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., 2000. *Physiologie Végétale : 2. Développement.* Ed. Dunod, 6e éd, France, 366p.

HOPKINS W. G., 1999. *Introduction to Plant Physiology.* 2nd Ed., John Wiley& Sons, USA, 512p. *Traduction française* de : Serge Rambour, 2003. *Physiologie Végétale.* Ed. De Boeck 532 p.

LAFON J-P., THARAUD-PRAYER C. et LEVY G., 1996. *Biologie des plantes Cultivées*, Tome1 : Organisation/Physiologie de la Nutrition. Ed. Tec. & doc. Lavoisier, 2eéd., 150p.

LAFON J-P., THARAUD-PRAYER C. et LEVY G., 1998. *Biologie des plantes Cultivées*, Tome2 : Physiologie de développement, Génétique et Amélioration. Ed. Tec. & doc. Lavoisier, 2eéd., 150p.

MARAGARA J., 1998. *Bases de la Multiplication Végétative, Les méristèmes et l'organogenèse*. Ed. INRA, France, 262p.

MAZLIAK P., 1998. *Physiologie Végétale : 2. Développement.* Ed. Hermann. 465p.

MEYER S., REEB C. et BOSDEVEIX R., 2008. *Botanique: Biologie et Physiologie Végétales.* Ed. Maloine, 490p.

NABORS M., 2008. *Biologie Végétale : Structures, Fonctionnement, Écologie et Biotechnologies.* Pearson Education, France. 614p.

ROBERT D. et CATESSON A. M., 1990. *Biologie Végétale Tome 2 : Organisation Végétative.* Ed. Doin, Paris, 256p.

SALISBURY F.B. & ROSS C.W., 1992. *Plant Physiology.* 4th ed. Wadsworth Publishing Company, California, USA.

TAIZ L. & ZEIGER E., 2006. *Plant Physiology*. Cummings Publishing Company, California, USA.

VALLADE J., 1990. *Structure et Développement de la Plante : Morphogenèse et Biologie de Reproduction des Angiospermes.* Ed. Dunod, France, 224p.

# الأعمـــال التطبـــيقية Travaux Pratiques

## العملي الأول: دراسة تأثيرات الجبرلين Gibberelline على الإنبات Germination

**الهدف من العملي:**

في هذا العملي نتعرف على أولى المراحل التطورية لدورة حياة النبات وهي الإنبات (انتقال البذرة من الحياة البطيئة إلى الحياة النشيطة) أي تحول البذرة إلى بادرة ومن خلاله يتم تقدير مدة ونسبة الإنبات عند كل نوع نباتي، ومن جهة اخرى

**الأدوات والوسائل:**

المادة النباتية: 100 بذرة من:

القمح Blé (*Triticum durum*) الشعير Orge (*Hordeum vulgare*)

البازلاء Pois (*Pisum sativum*) الحمص Pois chiche (*Cicer arietinum*)

الفاصوليا Haricot (*Phaseolus vulgaris*)

الجبرلين Gibberelline بتركيز 50 ملغ/لتر

أطباق بتري ، ماء مقطر ، ماء جافيل ، ملقط ، حاضنة.

**خطوات العملي:**

يتم العملي في مراحل متتالية هي:

1. انتقاء البذور السليمة
2. تغسل البذور وتغمس بماء جافيل المخفف لمدة 5 دقائق بعدها تغسل جيدا بالماء لإزالة آثار ماء جافيل
3. التشرب Imbibition وذلك بوضع البذور في الماء المقطر وفي محلول الجبرلين لمدة 24 ساعة.
4. تؤخذ البذور بملاقط معقمة وتوضع في أطباق نتري بها أوراق مبللة وتوضع في الحاضنة تحت درجة حرارة $25^0$ م، يراقب استمرار التبلل بإضافة الماء المقطر و محلول الجبرلين باستمرار.
5. معاينة البذور النابتة.

**المطلوب:**

1. معرفة مدة الإنبات عند كل نوع نباتي؟
2. حساب نسبة الإنبات بعد 120 ساعة؟
3. هل هناك تأثير لهذا الهرمون على نسبة الانبات؟
4. رسم كل مراحل الإنبات بعد كل عملية عد للبذور النابتة ابتداء من اليوم الثاني من وضع البذور في الحاضنة إلى غاية اليوم السادس (من 24 إلى 120 ساعة).
5. من خلال هذا العملي تعرف عن نمط الإنبات لمختلف الأنواع (Epigée أو Hypogée).

# العملي الثاني: حركية النمو الخضري Cinétique de croissance

**الهدف من العملي:**

دراسة حركية النمو لبعض الأنواع من النباتات الحولية

**مبدأ العملي:**

تتبع مراحل النمو الخضري وذلك بقياس النمو اليومي لأغصان نوعين من النباتات وتحديد أطوار النمو، ودراسة تأثير هرمون الاوكسين على النمو.

**الأدوات والوسائل:**

المادة النباتية: نبات الحمص ونبات البازلاء

أكواب ، AIA و AIB.

**خطوات العملي:**

1- نحضر التراكيز لـ AIA و AIB : 10 ملغ/لتر و 20 ملغ/لتر
2- نحضر البذور المنبتة بالطريقة السابقة (عملي الإنبات) بعد تركها تنبت لمدة 7 أيام في أطباق بتري
3- تغرس النبتات في الأكواب
4- نقوم بسقي النبتات بالمحلول المحضر سابقا وبالماء المقطر.
5- نقوم بقياس طول الساق خلال فترات معينة وندون النتائج

**المطلوب:**

1- رسم المنحنى البياني المعبر عن الطول بدلالة الزمن لكل نوع؟
2- تحديد مراحل النمو من خلال المنحنى؟
3- حساب سرعة ومعدل النمو في المجال اليومي (15-20) و (30-35)؟
4- هل هناك تأثير لهذا الهرمون على النمو؟
5- الاستنتاج

# العملي الثالث: دراسة حيوية حبوب اللقاح عند نخيل التمر

## (*Phoenix dactylifera* L.)

يعتبر نخيل التمر من أشجار ثنائية المسكن Dioïque وتلقيحها يتم عن طريق انتقال حبوب اللقاح من الأفحل الذكرية إلى النخيل الأنثوية وتعتبر هذه أول مرحلة من حياة الثمار لذا فالتلقيح يتأثر بنوع الحبوب وحيويتها.

**مبدأ العملي:**

التعرف على المظهر الخارجي لحبوب لقاح نخيل التمر لنوعين من الذكار، وذلك معرفة حيوية حبوب اللقاح ونسبة الإنبات في وسط اصطناعي .

**1- الفحص المجهري لحبوب اللقاح:**

الفحص بتكبير ×40 وبتكبير ×100

**2- دراسة حيوية حبوب اللقاح :**

تفحص حيوية حبوب اللقاح باستخدام صبغة الكارمن وذلك بوضع قطرة من الصبغة على شريحة الزجاجية مع إضافة حبوب اللقاح وتفحص بالمجهر الضوئي بتكبير ×40 م وحساب النسبة المؤوية للحيوية من خلال المعادلة التالية:

$$\text{حيوية حبوب اللقاح \%} = \frac{\text{حبوب اللقاح المصبغة}}{\text{حبوب اللقاح الكلية (100حبة)}} \times 100$$

**3- نسبة المئوية للإنبات:**

يحضر وسط الزرع مكون من 15% غلوكوز يضاف اليه:

- 20 mg de sulfate de magnésium MgSO4
- 10 mg de nitrate de potassium KNO3
- 30 mg de nitrate de calcium Ca (NO3) 3
- 5 mg de acide bourique
- 1g d'agar

حيث عقم في حمام مائي درجة حرارته 120°C لمدة 20 دقيقة ووضع في طبق بيتري، يتم زرع الحبوب بنشرها في كامل مساحة العلبة وتغلفيها جيدا ثم توضع في الحاضنة تحت درجة حراره 27°C لمدة 24 ساعة يتم قياس نسبة الإنبات حسب العلاقة :

$$\text{نسبة الإنبات\%} = \frac{\text{حبوب اللقاح النابتة}}{\text{حبوب اللقاح الكلية (50حبة)}} \times 100$$

**المطلوب:**

1- رسم البذور بتكبير ×100 ؟

2- حساب نسبة حيوية حبوب اللقاح لكل نوع ؟

3- حساب نسبة المئوية لإنبات حبوب اللقاح لكل نوع ؟

4 - مقارنة النتائج ؟ ماذا تستنتج ؟

# العملي الرابع: قياس الضغط الاسموزي الخلوي بواسطة التغير في الوزن

**الهدف من العملي:**

قياس الضغط الاسموزي الخلوي اعتمادا على مبدأ التغير في وزن الخلية النباتية عند وجودها في أوساط متغيرة التركيز.

**مبدأ العملي:**

اخذ عينات من أنسجة نباتية وملاحظة تغير أحجامها من خلال وضعها في محاليل مختلفة التركيز

**الأدوات والوسائل:**

المادة النباتية: قطع بطاطا

محلول السكروز ، ميزان ، أكواب ، ملقط ، ورق ترشيح ، مصاصات ، ماء مقطر ، دورق معياري بحجم 1 لتر.

**خطوات العملي:**

1. نحضر محلول عياري من السكروز بإذابة 1 غرام منه في لتر من الماء.
2. نحضر المحاليل ذات التراكيز العيارية التالية انطلاقا من المحلول الأصلي: 0 ، 0.1 ، 0.2 ، .....0.9 ، 1.
3. غسل وتجفيف البطاطا ثم تقسيمها إلى اسطوانات متساوية في القطر والطول بواسطة ورق ملمتري (11 قطعة).
4. توضع القطع في المحاليل العيارية المحضرة وذلك بعد وزنها ($و_1$) ثم نعاود الوزن بعد الغمس والتجفيف فنحصل على الوزن ($و_2$) وندون النتائج.

**المطلوب:**

1. استنتاج قيمة التعادل.
2. لماذا لم يحصل أي تغير يذكر في وزن قطع البطاطا.
3. مثل فروق الوزن بدلالة التركيز في منحني بياني.
4. تسجيل نقطة تقاطع المنحني مع الخط الأفقي للتركيز (هي قيمة تعادل التركيز).
5. فسر الأخطاء الناتجة عن التجربة وماهي اسبابها.

## العملي الخامس: تحديد التغذية المعدنية بعصر الفوسفور في أوراق أشجار النخيل بتقنية التشخيص الورقي Diagnostic foliaire

**الهدف من العملي:**

الهدف من التجربة هو تقييم حالة التغذية المعدنية بطريقة التشخيص الورقي diagnostic foliaire وذلك بتقدير محتوى الفوسفور عند أشجار النخيل أثناء النمو

**مبدأ العملي:**

من اجل معرفة حالة التغذية بالنسبة لعنسر الفوسفور عند أشجار النخيل سنقوم بدراسة إحدى طرق التقدير للعناصر المعدنية عند النباتات وهي طريقة التشخيص الورقي وذلك باستعمال طريقة JORET-HEBERT

**الطرق والوسائل:**

المادة النباتية: اوراق النخيل *(Phoenix dactylifera* L.*)*

- حمض كلور الماء HCl - بجهاز المطيافية اللونية (spectrophotomètre)
- ماء مقطر – ورق ترشيح – انابيب اختبار - حمام مائي – فرن كهربائي
- الكواشف المستعملة في المعايرة هي :($P_2O_5$ (50ppm) . ascorbique . sulfomolbidique

**خطوات العملي:**

يتم العملي في ثلاث عمليات وهي تحضير العينة وعملية المعدنة والتقدير الكمي

1- **تحضير العينة:** تنزع الاوراق أثناء عملية الإزهار بحيث يراعى هنا سلامة الأوراق وتؤخذ الى المخبر مباشرة، تخضع بعدها العينات لتنظيف سطحها من الغبار والشوائب العالقة بواسطة قطن مبلل ثم تغسل بواسطة الماء المقطر، ثم تجفف في فرن على درجة حرارة 70$^0$م لمدة 48 ساعة وتطحن ويحفظ المسحوق المتجانس المتحصل عليه في قوارير زجاجية محكمة الإغلاق إلى حين إجراء عملية التحليل.

**2- المعدنة (minéralisation):** يُبدأ بتجفيف العينة لمدة ساعة في الفرن على درجة حرارة 105$^0$ م، بعدما تبرد يؤخذ منها وزن محدد من المسحوق النباتي (100مغ) وتوضع في جفنات خزفية في الفرن على درجة حرارة 500$^0$ م لمدة 5 ساعات ثم تترك لتبرد حيث يظهر الرماد فاتحا، تبلل العينات بقطرات من الماء المقطر لمنع تطاير الرماد، يذاب الرماد في 5 مل من حمض كلور الماء (HCl) المركز (N 6) ثم يرشح

ويغسل بالماء المقطر المغلي لعدة مرات، يجمع الراشح في دورق معياري سعته 50 مل ويكمل بالماء المقطر إلى العلامة عندما يبرد.

**3- التقدير الكمي:** وذلك باستعمال طريقة JORET-HEBERT والتي تعتمد أساسا على تكوين واختزال معقد لحمض الفوسفوريك وحامض السيلفولبيديك في وجود حامض الاسكوربيك وكنتيجة لذلك يتشكل اللون الأزرق بعد عملية تسخين المركب حيث تتناسب كثافته مع تركيز الفوسفور وتقاس الشدة الضوئية بجهاز المطيافية اللونية على طول موجة 650 nm.

**تحضير المحلول المعياري:**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_2O_5$ | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| الماء المقطر | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Sulfomolbidique | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ascorbique | 6.5 | 6.4 | 6.3 | 6.2 | 6.1 | 6 |
| التركيز النهائي لـ $P_2O_5$ | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 |

**تحضير العينات:**

نقدر القوسفور في خليط حجمه 10 ملل بحيث نأخذ عينة قدرها 1 ملل من المحلول الام الذي يضاف اليه 2 ملل كاشف sulfomolbidique و7 ملل من حامض ascorbique في انابيب اختبار مرقمة التي توضع في حمام مائي bain marie على درجة حرارة 100 م$^0$ لمدة 10 دقائق

بعد تبريد الانابيب نقوم برجها جيدا ثم نمرر مباشرة لتقاس شدة الكثافة الضوئية بجهاز المطيافية اللونية على طول موجة 650 nm.

**المطلوب:**

1- تحديد نسبة الفوسفور للأصناف الأربعة من أشجار النخيل.
2- هل هذه الأصناف غنية ام فقيرة من هذا العنصر
3- الاستنتاج