جامعة تكريت
كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية

محاضرات فسلجة النبات المتقدم

المصادر المستخدمة

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A., 2015. Plant physiology and Development.

Frary, A., 2015. Plant physiology and development.

مدرس المادة
أ.م.د. فراس احمد درج

Email: firasahmed@tu.edu.iq

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة الاولى

العلاقات المائية:

الماء ذو اهمية كبيرة للنبات وان أهميته تأتي بسبب صفاته الفريدة التي تشمل:

- يؤلف اكثر من 85% من مكونات الخلايا الحية .
- وسط مناسب لحدوث التفاعلات والفعاليات الحيوية .
- يسهل عملية نقل المواد الغذائية للاعلى والاسفل بجعل المواد بهيئة سائلة .
- للماء حرارة نوعية عالية وتفيد هذه الخاصية النبات في فقد وامتصاص كميات كبيرة من الحرارة دون تغير في درجة حرارة النبات .
- للماء حرارة تبخير عالية وهذه الخاصية تمكن النبات من فقدان كميات كبيرة من الطاقة لتبخير الماء من النبات في الظروف الملائمة للتبخير مسببة عملية تبريد للنبات .
- تمتاز جزيئات الماء بخاصية التماسك التي تعني ارتباط جزيئات الماء مع بعضها وكذلك تمتاز بخاصية التلاصق التي تعني التصاق جزيئات الماء بالسطوح المختلفة وبفعل هاتين الخاصيتين يتم صعود الماء الى اعلى النبات.
- يسبب انتفاخ الخلايا وزيادة فعاليتها وحجمها ونموها بفعل الضغط الانتفاخي .
- الماء مذيب جيد للمواد وذلك لسببين هما :

أ- تكوين الماء لمحاليل مع المركبات الاخرى نتيجة قابلية الماء على تكوين أواصر هيدروجينية مع عدد من المركبات مثل الكحولات لاحتوائها على مجموعة هيدروكسيل OH^- والسكريات لاحتوائها على الاوكسجين O^{-2} والاحماض الامينية لاحتورئها على مجموعة الامين NH^{+2} وغيرها من المركبات.

ب- ان جزيئة الماء جزيئة قطبية تحتوي على جانب موجب H^+ واخر سالب O^{-2} لذلك تذوب فيه المواد بفعل التأثير المتبادل للشحنات .

الانتشار Diffusion :هو انتقال المواد من المنطقة ذات التركيز العالي وضغط الانتشار العالي الى المنطقة ذات التركيز الواطيء وضغط الانتشار الواطيء نتيجة الحركة الحرة الطليقة الذاتية لايونات وجزيئات وذرات المواد لتلك المادة . هناك العديد من العمليات الحيوية الفسلجية في النبات التي تعتمد على خاصية الانتشار فالتمثيل الكربوني يعتمد على انتشار غاز ثاني اوكسيد الكربون من الجو عبلا الثغور الى داخل الورقة ، كما ان النتح يعتمد على انتشار بخار الماء من خلايا النبات وصولا الى الثغور عبر الخلايا الحارسة والخروج الى خارج النبات ، كما ان امتصاص الماء والعناصر من قبل الجذر يعتمد جزئيا على خاصية الانتشار .

العوامل المؤثرة في الانتشار :

1- طبيعة المواد :

حيث ان المواد الغازية اكثر واسرع انتشارا من المواد السائلة والصلبة بسبب قلة المقاومة الناشئة من اصطدام جزيئات الغاز مع بعضها او مع الجزيئات الاخرى .

2- المقاومة الناجمة عن الاحتكاك :

ان معدل الانتشار يتناسب عكسيا مع مقاومة الاحتكاك :

$$Diffution\ Rate\ \alpha\ \frac{1}{F}$$

حيث ان F هي مقاومة الاحتكاك

ان معدل انتشار المواد الغازية يكون سريعا في النبات لانخفاض قيمة F اي بسبب قلة مقاومة الاحتكاك في حين ان المواد السائلة والصلبة والمواد السائلة والمذابة بها مواد صلبة تكون ذات حركة بطيئة بسبب الاحتكاك بين جزيئاتها ، وعموما فان تأثير الاحتكاك يكون ذو تأثير منخفض بالقياس الى تأثير العوامل الاخرى المؤثرة بمعدل الانتشار وسرعته والتي تؤثر في الطاقة الحرة للمواد المنتشرة.

3- الطاقة الكيميائية او الجهد الكيميائي :

تنتقل الذرات او الجزيئات او الايونات من الجهة التي يكون تركيزها فيها عالي الى الجهة التي يقل فيها التركيز ، لذلك فأن الحركة الجزيئية تتجه من الجهة ذات التركيز العالي اي من الجهة ذات الطاقة الحرة العالية الى الجهة ذات التركيز الواطيء اي الى الجهة ذات الطاقة الحرة الواطئة ، وبهذا يعتمد الانتشار على عاملين هما

أ- معدل حركة الجزيئات

ب- عدد الجزيئات بوحدة الحجم

ويطلق على الطاقة الحرة للمادة التي تعتمد على هذين العاملين اصطلاح الطاقة الكيميائية او الجهد الكيميائي Chemical Potential والذي يحسب بالمعادلة :

$$U = RT \ln A$$

حيث ان :

U : الطاقة الكيميائية للمادة المنتشرة بوحدة جول/ غرام (Jule / gram)

R : معامل الغاز (ثابت) ويساوي (8.3 Jule / gram)

T : درجة الحرارة

A : الفعالية او التركيز الفعال للمادة المنتشرة

ln : اللوغارتيم الطبيعي

من المعادلة نجد ان عند ثبات درجة الحرارة فان الطاقة الكيميائية تتناسب مع فعالية المادة او تركيز المادة ، اي عند ثبات درجة الحرارة فان المواد تنتشر من المنطقة ذات التركيز العالي الى المنطقة ذات التركيز الواطيء.

4- مساحة الانتشار والمسافة بين المنطقتين :

ان معدل الانتشار يعتمد على المساحة التي تمر عبرها المادة المنتشرة والمسافة بين المنطقتين ذات التركيز المختلف والتي يطلق عليها بمنحدر التركيز Concentration Gradiant بوحدة المسافة وان العلاقة التي توضح هذه الحالة للانتشار يوضحها قانون Fick الاول للانتشار :

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

حيث ان :

S : كمية المادة المنتشرة بالمول

t : الوقت بالثواني

$\frac{S}{t}$: معدل الانتشار

D : معامل الانتشار (هناك معامل انتشار لكل مادة)

a : مساحة المقطع (سم^2)

C1 : التركيز العالي (mole / liter)

C2 : التركيز الواطيء (mole / liter)

X : سمك المقطع او المسافة بين C1 و C2

$\frac{C1-C2}{X}$: منحدر التركيز

ان قانون Fick الاول يصلح للانتشار بالمسافات القليلة او الضيقة مثل الاغشية اما في حالة المسافات الاكبر او الاوسع فيستعمل قانون Fick الثاني :

$$\frac{dS}{dt} = \mathrm{Da}\ \frac{d\,c}{dX}$$

حيث ان منحدر التركيز هو :

$$\frac{d\,c}{dX}$$

5- حجم الجزيئات او الذرات :

ان سرعة الانتشار للمواد تتناسب عكسيا مع حجم الذرات او الجزيئات اي مع الوزن الذري او الجزيئي ، لذلك فان الجزيئات او الذرات الصغيرة ذات الوزن الجزيئي او الذري المنخفض تنتشر بسرعة اكبر من انتشار الجزيئات او الذرات الكبيرة ذات الوزن الجزيئي او الذري الكبير وحسب العلاقة للجزيئات الصغيرة للمواد السائلة والصلبة :

$$Diffution\ Rate\ \alpha\ \frac{1}{(\,mass\,)1/2}$$

وللجزيئات الكبيرة

$$Diffution\ Rate\ \alpha\ \frac{1}{(\,mass\,)1/3}$$

اما بالنسبة لجزيئات الغاز فقد وضع العالم كراهام قانون ينص على ان معدل انتشار جزيئات الغاز يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي لكثافة جزيئات الغاز

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

حيث ان :

r 1 و r 2 : معدل انتشار جزيئات الغاز الاول والثاني

d 1 و d 2 : كثافة الغاز الاول والثاني

فلو فرضنا ان كثافة الغاز الاول 4 والثاني 16 فان المعادلة تكون

$$\frac{r1}{r2} = \frac{\sqrt{16}}{\sqrt{4}}$$

اذن

$$\frac{r1}{r2} = \frac{4}{2}$$

وبالتالي

$$\frac{r1}{r2} = \frac{2}{1}$$

اي ان معدل انتشار الغاز الاول تعادل ضعف (2) معدل انتشار الغاز الثاني (1)، ولذلك كلما قلت كثافة الغاز ازدادت معدلات انتشار الغاز مقارنة بالغازات الاكثر كثافة.

6- درجة الحرارة :

ان معدل الانتشار يزداد بزيادة درجة الحرارة حيث ان زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة الطاقة الحركية للجزيئات وبالتالي زيادة حركة الجزيئات والدقائق للمواد المختلفة ، وان انتشار الغازات تنطبق عليه المعادلة الاتية :

$$Vavr = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

حيث ان :

Vavr : معدل سرعة جزيئات الغاز

R : معامل الغاز (ثابت)

M : الوزن الجزيئي للغاز

T : درجة الحرارة

π : النسبة الثابتة (3.14)

7- وسط الانتشار :

كلما ازداد تركيز وسط الانتشار اي الوسط الذي تنتشر اليه المادة تقل سرعة انتشار جزيئات المادة المنتشرة .

8- قابلية ذوبان الدقائق المنتشرة :

هذا العامل يتعلق بأنتشار المذاب الصلب في المذيب السائل او المذاب السائل في المذيب السائل او المذاب الغاز في المذيب السائل . فأذا كان العامل الفاصل او الحاجز جسما تركيبيا في الوسط الحاوي على المحلول فان منحدر التركيز لايتوقف فقط على فرق التركيز بين الوسطين بل على قابلية ذوبان المادة المنتشرة في هذا التركيب . فاذا كان الحاجز رقيقا سمي بالغشاء ولهذا فان معدل الانتشار للمادة خلال وحدة مساحة المقطع في الغشاء تعتمد على درجة الحرارة ومنحدر التركيز وحجم الدقائق المنتشرة اضافة الى نفاذية الغشاء لتلك المادة او قابليةذوبان المادة المنتشرة في هذا الغشاء فكلما ازدادت قابلية الذوبان كان الانتشار اكبر واسرع.

النقص في الضغط الانتشاري : (Diffusion Pressure Deficit (DPD

هو عبارة عن الاختلاف في الضغط الانتشاري بين المحلول (المذيب + المذاب) والانتشار في المذيب النقي تحت نفس درجة الحرارة والضغط الجوي . ويعرف ايضا بأنه النقص الحاصل في انتشار المحلول بالمقارنة مع انتشار الماء النقي او المذيب النقي . ان النقص في الضغط الانتشاري للماء النقي او المذيب النقي يساوي صفر ويرتفع فيه نقص الضغط الانتشاري كلما زادت المواد المذابة به او ازداد تركيز المحلول ، لذلك فان الماء يتحرك من الجهة التي يكون فيها نقص الضغط الانتشاري الواطيء الى الجهة التي يكون فيها نقص الضغط الانتشاري مرتفعا . وضع Meyer عام 1945 معادلة لحساب نقص الضغط الانتشاري DPD عندما يكون هناك محلولان مائيان ومختلفان في الضغط الاوزموزي ومفصولان بغشاء نصف ناضح وهي :

$$DPD = \pi - p$$

حيث ان :

DPD : النقص في الضغط الانتشاري بوحدة الضغط الجوي

π : الضغط الاوزموزي للعصير الخلوي بوحدة الضغط الجوي

P : الضغط الجذري او الانتفاخي بوحدة الضغط الجوي

انواع الاغشية :

أ- انواع الاغشية بحسب نوع المادة المكونة لها :

1- يكون الغشاء متكونا من طبقة من السائل غير القابل للامتزاج مع السائل المذيب في النظام الاوزموزي ولكن هذه الطبقة تسمح بمرور جزيئات المذيب اكثر من المذاب خلاله .

2- يكون الغشاء عبارة عن طبقة غازية (هوائية بين محلولين مائيين) ولهذا فأن الماء سوف يمر خلال هذه الطبقة الغازية بشكل بخار ماء ، كذلك تمر من خلاله المواد الطيارة اما المواد غير الطيارة فلا تستطيع المرور من خلاله .

3- تكون الاغشية طبقة صلبة ذات ثقوب بحيث تستطيع جزيئات الماء المرور من خلالها .

ب- انواع الاغشية بحسب قابلية نفاذيتها :

1- اذا سمح الغشاء لجزيئات المادة الذائبة او المذيب بالنفاذ خلاله سمي الغشاء نفاذا Permeable membrane .

2- اذا لم يسمح الغشاء لجزيئات المواد المختلفة النفاذ خلاله يكون الغشاء غير نفاذ .

3- اذا سمح الغشاء لجزيئات المذيب بان تمر خلاله ولم يسمح لجزيئات المذاب بالنفاذ فيكزن الغشاء نصف ناضح Semipermeable membrane

ان معظم الاغشية النفاذة في الخلية النباتية تسمح بمرور بعض المواد المذابة اضافة للمذيب ولاتسمح لمواد اخرى بالنفاذ ولهذا تسمى بالاغشية متمايزة النفاذية Differentially permeable membrane .

الاوزموزية (التنافذ) : Osmosis

عبارة عن حركة الماء من المنطقة ذات التركيز العالي للماء عبر غشاء نصف ناضح الى المنطقة ذات التركيز الواطيء للماء . او حركة الماء من المنطقة ذات القوة الدافعة العالية للماء Water Potential الى الجهة الاقل في القوة الدافعة للماء عبر غشاء نصف ناضح .ان حركة الماء تنجم عن نشوء ضغط هو الضغط الاوزموزي للمحلول Osmotic pressure .تلاحظ الاوزموزية بوجود المحاليل او الماء عندما تكون معزولة بمادة تقيد حركة الدقائق المذابة اكثر من تقييدها لحركة جزيئات المذيب ، وهذا العازل الذي لايمتزج بالمحاليل المحيطة يطلق عليه الغشاء نصف الناضح .

ان معدل حركة الماء الاوزموزية ومدى حدوث التوازن سوف يعتمد على طبيعة الغشاء فكلما كان الغشاء منفذا لجزيئات الماء بسهولة ازدادت حركة الماء الاوزموزية ، فالاغشية المبللة تنفذ الماء اسرع من الاغشية الجافة ، اما نفاذية الغشاء للدقائق المذابة فسوف تحدد معدل التوازن المعتمد على عاملي التركيز والضغط على جانبي الغشاء .

معامل الارتداد Reflection coefficient (σ) :

عبارة عن العلاقة بين نفاذية الغشاء للماء ونفاذيته للمادة المذابة وهو الذي يحدد طبيعة ومعدل نفاذ المادة المذابة عبر الغشاء ، ولمعامل الارتداد عدة حالات :

1- عندما يكون معامل الارتداد يساوي (1) فان الغشاء من نوع الغشاء نصف الناضح ولايسمح بمرور اية مادة مذابة ويكون النظام الاوزموزي مثاليا .
2- عندما يكون معامل الارتداد اقل من (1) لبعض الذائبات سوف تمر هذه الذائبات من خلال الغشاء دون غيرها .
3- اذا كان معامل الارتداد اقل من (1) لجميع الذائبات فان التوازن النهائي سوف يعتمد على الضغط الاوزموزي بين طرفي النظام الاوزموزي .
4- اذا كان معامل الارتداد يساوي صفر فهذا يعني ان الغشاء يكون فاقد الحيوية ومنفذا لجميع المواد المارة .

ان منحدر القوة الدافعة (الطاقة الكامنة) للماء Water potential gradient عبارة عن تقييد انتشار دقائق المذاب مقارنة بالمذيب وما يترتب عن ذلك . فاذا وجد ماء نقي على جهة واحدة ومحلول على الجهة الاخرى المفصولة بغشاء نصف ناضح فان القوة الدافعة للماء في المحلول تكون اقل مما في الماء النقي . ان جهد الماء Water potential للمحلول يكون اقل من صفر (قيمة سالبة) لذلك يحصل التنافذ بحركة الماء النقي الى المحلول عبر الغشاء وبعد التنافذ وحصول التوازن فان جهد الماء Water potential يصبح متشابه على جانبي الغشاء .

الطاقة الكيميائية الكامنة للماء (جهد الماء) :

ان الطاقة الكيميائية الكامنة Chemical potential هي الطاقة الحرة للمول الواحد من اي مادة كيميائية في النظام الكيميائي ، ولهذا تكون الطاقة الكيميائية الكامنة للمادة تحت ظروف الضغط ودرجة الحرارة المتشابهة معتمدة على عدد المولات لتلك المادة الكيمياوية الموجودة في المحلول لذلك فان تلك الطاقة الكيميائية الكامنة للماء يطلق عليها Water potential خهد الماء .

ان حاصل الطاقة الكيميائية للماء في اي نظام والذي يرمز له (Uw) يكون معادل للطاقة الكيميائية للماء النقي (*Uw) اضافة الى القوى المؤثرة في ذلك النظام والتي تغير طاقته الكيميائية . ان الطاقة الكيميائية للماء تحدد بالمعادلة التالية عند تأثير القوى المؤثرة في الضغط البخاري :

$$Uw = Uw* + RT\ ln\frac{e}{e*}$$

حيث ان :

Uw = الطاقة الكيميائية للماء في اي نظام *erg/ mol*

Uw* = *الطاقة الكيميائية للماء النقي* erg/ mol

R = معامل الغاز (ثابت)

T = درجة الحرارة

Ln = اللوغاريتم الطبيعي

e = الضغط البخاري للماء عند درجة حرارة معينة (مل زئبق)

$e*$ = الضغط البخاري للماء النقي في نفس درجة الحرارة (مل زئبق)

وبالتعويض بالمعادلة اعلاه تكون بالصيغة :

$$Uw - Uw* = RT\ ln\frac{e}{e*}$$

$$¥w = RT\ ln\frac{e}{e*}$$

حيث ان ¥w هي الطاقة الكيميائية الكامنة للماء ،

وعندما يكون $\frac{e}{e*}$ اقل من (1) فان اللوغاريتم الطبيعي له يكون قيمة سالبة ولهذا تكون الطاقة الكيميائية للماء في ذلك النظام اقل مما في الماء النقي .

ان الطاقة الكيميائية الكامنة للماء في اي نظام تتأثر بالعديد من العوامل التي تغير الطاقة الحرة او الفعالية الكيميائية للجزيئات حيث ان الطاقة الكيميائية الكامنة للماء تنخفض بتأثير

1- اضافة المواد الذائبة
2- القوى المتشربة او المواد التي تلتصق بالماء
3- الضغط السالب مثل الضغط الذي ينشأ في نسيج الخشب في ظروف معدل النتح العالي
4- انخفاض درجة الحرارة

ان الطاقة الكيميائية الكامنة تزداد عند:

1- زيادة الضغط الجذري الانتفاخي
2- ارتفاع درجة الحرارة

في حالة الخلية النباتية تحت الظروف المتشابهة والمتوازنة فان الطاقة الكيميائية لماء الخلية *¥cell* يتكون من ثلاث مكونات كما في المعادلة:

¥cell = ¥s+ ¥p+ ¥m

حيث ان:

¥cell= الطاقة الكيميائية الكامنة لماء الخلية

¥s = الطاقة المتسببة عن الذائبات او الاوزموزية

¥p = الطاقة المتسببة عن الضغط الجذري او الانتفاخي

¥m = الطاقة الناتجة عن التشرب او المواد التي تلتصق بالماء مثل الغرويات

ان قيمة هذه المكونات الثلاثة تساوي صفر عندما تكون الخلية كاملة الانتفاخ وعادة تكون قيم ¥s و ¥m تعبر عن قيمة سالبة بينما ¥p يعبر عن قيمة موجبة.

الضغط الاوزموزي *Osmotic Pressure*

هو الضغط الناشيء في محلول عند فصله عن المذيب النقي بغشاء نفاذ اختياري . او هو الضغط الواجب تسليطه على محلول لمنع دخول الماء النقي او المذيب النقي الى المحلول عبر غشاء نفاذ اختياري. ان الضغط الاوزموزي هو احد مكونات جهد الماء *Water Potential* فعندما يفصل المحلول عن المذيب النقي (الماء النقي) بغشاء نصف ناضح فان المذيب يتحرك باتجاه المحلول لان الطاقة الكيميائية الكامنة للمذيب في حالته النقية هي اعلى من الطاقة الكيميائية للمذيب في المحلول ويطلق على هذه الحالة بالتنافذ او الاوزموزية . لقد وضع *Van Hoff* المعادلة التالية لقياس الضغط الاوزموزي من خلال العلاقة بين الضغط الوزموزي وتركيز الذائبات في المحلول:

$$\pi=\alpha\frac{n}{v}RT$$

حيث ان :

π = الضغط الاوزموزي للمحلول بالضغط الجوي

α= ثابت التأين

n = عدد مولات المذاب

v = حجم المذاب باللتر

R = معامل الغاز (ثابت)

T = درجة الحرارة

العوامل المؤثرة بالضغط الاوزموزي في النبات :

1- تركيز محلول التربة : ان الضغط الاوزموزي لخلايا النباتات الملحية يكون عاليا بسبب معيشتها في بيئة ملحية ، لذلك عند ارتفاع تركيز محلول التربة بسبب الاملاح او قلة الرطوبة في ظروف الشد المائي فان الضغط الاوزموزي لخلايا النبات يكون عالي ليوازن جهد الماء السالب في محلول التربة لديمومة امتصاص الماء والعناصر المغذي من محلول التربة من قبل الجذور وبدون ارتفاع الضغط

الاوزموزي في محلول الخلايا النباتية يتأثر الامتصاص مما يسبب انخفاض العمليات الحيوية ونقص المحتزى المائي للنبات ممنا يؤثر بالنمو وقد يسبب موت النبات في ظروف الملوحة والجفاف .

2- كمية الماء في التربة : كلما زادت كمية الماء في محلول التربة انخفض جهد الماء في التربة وكذلك انخفاض الضغط الاوزموزي في خلايا النبات بسبب قلة المواد المذابة .

3- الرطوبة الجوية : ان فقدان الماء من اوراق النبات بالنتح يرفع الضغط الاوزموزي في نسيج الورقة وان ارتفاع الرطوبة الجوية تخفض معدل النتح وتخفض فقدان الماء من خلايا النبات مما يسبب خفض الضغط الاوزموزي في انسجة النبات .

4- الضوء : يؤثر الضوء في عملية التمثيل الكربوني وبناء الكربوهيدرات وان ارتفاع معدلات التمثيل الكربوني يرفع تركيز الذائبات في محلول الخلية مما يسبب رفع الضغط الاوزموزي في خلايا النبات.

5- درجة الحرارة : تسبب درجات الحرارة في حدود معينة تأثيرا في الضغط الاوزموزي بسبب تغير معدلات العمليات الحيوية بتغير درجة الحرارة .

اهمية الاوزموزية للنبات:

1- حفظ امتلاء الانسجة النباتية وادامة نشاطها

2- تسبب دخول الماء الى النبات

3- تساعد في نقل الماء والمواد المذابة في النبات

4- اكتساب الانسجة النباتية المتانة والقوة.

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة الثانية

التشرب Imbibition :

هو احد صور الانتشار للماء من المنطقة ذات التركيز العالي الى المنطقة ذات التركيز الواطيء للماء لان صافي حركة الماء تعتمد في التشرب على الفرق في الضغط الانتشاري ويحدث الانتشار للسائل في المادة الصلبة مثل تشرب الماء في البذور الجافة، فعند وضع بذور جافة في الماء فان البذور تتشرب بالماء بسبب تكون ضغط كبير في الماء يسمى الضغط التشربي في حين ان الضغط التشربي داخل البذور يكون منخفضا بسبب انخفاض محتوى البذور من الماء لذلك ينتقل الماء بفعل التشرب من المنطقة ذات التركيز العالي للماء الى المنطقة ذات التركيز الواطيء من الماء (البذور الجافة) مما يؤدي الى دفع الماء للدخول الى البذور وتشربها به وهذه الخاصية مهمة لانبات البذور الجافة عند زراعتها في التربة وريها بالماء .

ولحدوث التشرب لابد من توفر شرطين اساسيين هما:

- لابد من وجود فرق في الجهد المائي وفرق في ضغط التشرب بين الجسم المتشرب والسائل المحيط بها (السائل المتشرب).
- وجود تجاذب والفة بين السائل المتشرب والمادة المتشربة.

ان الجهد المائي Water Potential للانسجة النباتية (البذور الجافة) يكون سالب جدا فعند وضع البذور في الماء او زراعة البذور بالتربة وسقيها يكون الفرق كبيرا بين الانسجة النباتية والماء في جهد الماء وفي الضغط التشربي مما يدفع الماء للتشرب الى داخل البذور الجافة وبذلك تقل سالبية جهد الماء داخل البذور بزيادة تشربها بالماء ويقل كذلك الفرق في الضغط التشربي بين الماء والبذور بسبب ارتفاع محتوى البذور من الماء بسبب التشرب وعند وصول الحالة الى التوازن في الجهد المائي وتساوي ضغط التشرب خارج وداخل البذور المتشربة اي يصبح الفرق في ضغط التشرب يساوي صفر لذلك تتوقف عملية التشرب.

العوامل المؤثرة في معدل التشرب وكمية الماء المتشرب :

- **درجة الحرارة :** تؤثر درجة الحرارة في معدل التشرب فبأرتفاع الحرارة يزداد معدل التشرب لكن درجة الحرارة لاتؤثر في كمية الماء المتشربة لانه بعدم وجود منحدر للضغط التشربي او فرق في الضغط التشربي فان الحرارة لاتؤثر في معدل التشرب.
- **الضغط التشربي :** يؤثر الفرق في الضغط التشربي بين السائل المتشرب (الماء) والمادة المتشربة (البذور الجافة) في كل من معدل التشرب وكمية المادة المتشربة فكلما زاد الفرق في الضغط التشربي ازداد معدل التشرب وزادت كمية الماء الذي يتشرب في البذور.

النفاذية Permeability :

النفاذية صفة من صفات الاغشية وليس صفة من صفات المواد وتعني قابلية الاغشية على السماح بمرور المذيبات والمواد المذابة خلالها . ان حركة الماء خلال الغشاء البلازمي تتأثر بخاصية الطاقة الكيميائية للماء او جهد الماء الذي بدوره يتأثر بعاملين هما :

- **درجة الحرارة** : فكلما ارتفعت الحرارة ضمن حدود معينة ازدادت النفاذية خلال الغشاء البلازمي الى الجهة الاكثر برودة فالماء ينتقل من الجهة التي تكثن فيها طاقته الكيميائية الكامنة عالية (الجهة الاكثر حرارة) الى الجهة التي تكون فيها طاقته الكيميائية الكامنة واطئه (الجهة الاقل حرارة)
- **الضغط الاوزموزي** : ان الطاقة الكيميائية الكامنة للماء تتأثر بالضغط الاوزموزي الذي يتسبب من وجود الذائبات فيه، فكلما ازدادت الذائبات في محلول الخلية ازداد الضغط الاوزموزي في المحلول وانخفضت الطاقة الكيميائية الكامنة للماء في محلول الخلية مقارنة بخارج الخلية ولذلك ينفذ الماء الى داخل الخلية ويسبب انتفاخها مما يرفع الطاقة الكيميائية للماء ويخفض الضغط الاوزموزي في محلول الخلية حتى تتقارب او تتساوى الطاقة الكيميائية داخل وخارج الخلية فتتوقف حركة الماء.

ان الغشاء الخلوي من نوع Differentially Permeable membrane اي غشاء نصف ناضح متمايز او اختياري او انتقائي يسمح بمرور ذائبات دون غيرها فالتوازن النهائي لايعتمد على الطاقة الكيميائية الكامنة للماء في جهتي الغشاء فقط بل على حالة مرور الذائبات من والى الخلية اي ان المعدل الحقيقي لحركة الماء عبر الغشاء الخلوي تتحدد بعاملين مهمين تحددان حركة السائل المذيب او الماء خلال وحدة مساحة المقطع العرضي للغشاء وهما :

- **القوة الدافعة او الفرق في القوة الدافعة الكيميائية للماء (ΔV)**: فالجريان يتناسب طرديا مع القوة الدافعة او الفرق في القوة الدافعة الكيميائية للماء.

- **مقاومة الغشاء الخلوي (r):** حيث ان الجريان يتناسب عكسيا مع مقاومة الغشاء نصف الناضح .

$$J = \Delta V / r$$

حيث ان:

J= كمية السائل الجارية خلال وحدة المقطع العرضي للغشاء

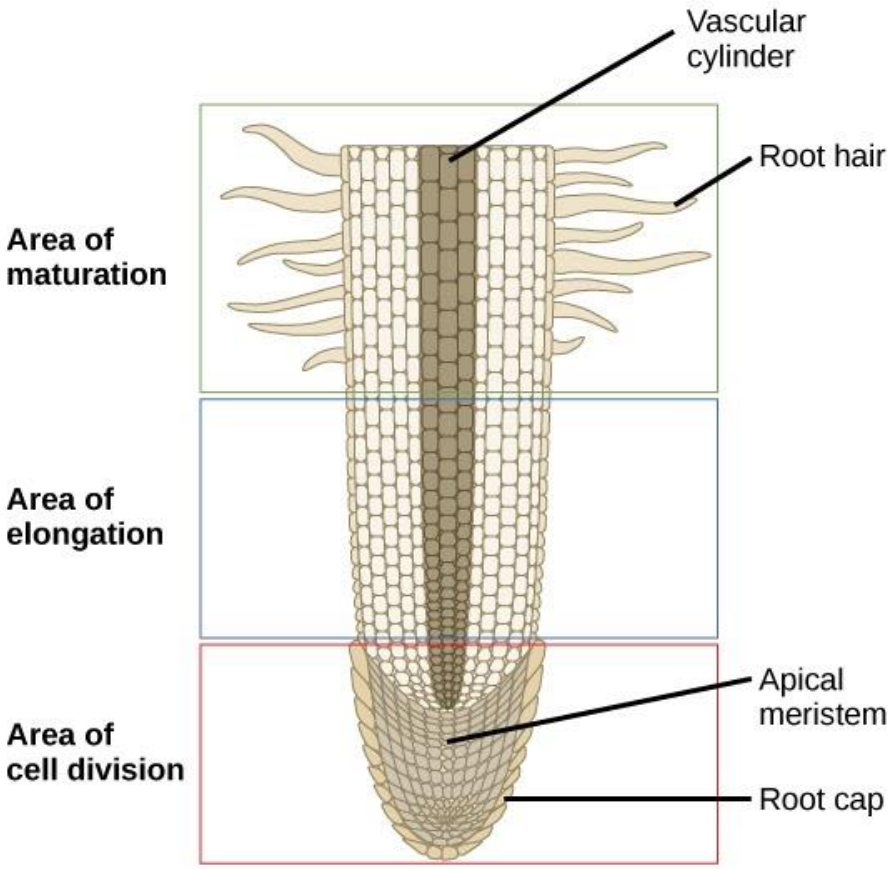
- **الضغط الانتفاخي : Turgor Pressure:** هو الضغط الناشيء في محتويات الخلية والمسلط على جدارها في حالة الانتفاخ الاعظم للخلية .
- **الضغط الجداري Wall Pressure:** هو الضغط المسلط من جدار الخلية باتجاه محتويات الخلية وهو يساوي الضغط الانتفاخي بالمقدار ويعاكسه بالاتجاه .

الامتصاص Absorption:

من الصعب الفصل بين امتصاص الماء وامتصاص الذائبات، اذ يعد الجذر الجزء الرئيسي المسؤول عن امتصاص الماء والذائبات والذي يتكون من اربعة اجزاء رئيسية هي :

- **القلنسوة:** وهي الجزء الذي يقوم بحماية طرف الجذر من الاحتكاك والتلف.
- **المنطقة المرستيمية:** هي المنطقة التي تكون نشطة بالانقسام للخلايا بصورة سريعه اذ تضيف خلايا جديدة الى مناطق الجذر الاخرى.

- **منطقة الاستطالة:** وهي المنطقة التي تقوم بزيادة طول وحركة الجذر بين دقائق التربة عن طريق امتداد واستطالة خلايا هذه المنطقة.
- **الشعيرات الجذرية:** وهي عبارة عن خلايا بشرة متحورة تقوم بامتصاص الجزء الاكبر من الماء والعناصر المغذية التي يقوم الجذر بامتصاصها بسبب كبر الاسطح الملامسة لدقائق التربة مقارنة بالمناطق الاخرى من الجذر.



شكل يوضح مقطع طولي في قمة جذر

ان الماء يدخل خلايا الجذر نتيجة لمنحدر جهد الماء water potential فكلما كان جهد الماء لمحلول التربة اعلى (اقل سالبية) مما في الجذر فان الماء يدخل الى الجذر بنسبة اكبر ، وان منحدر جهد الماء يكمن في صالح زيادة الامتصاص نتيجة لزيادة الذائبات في محلول الخلية ونقص

ضغط الانتفاخ مما يجعل قيمة جهد الماء في الخلية اكثر سالبة من محلول التربة نتيجة انخفاض الطاقة الكيميائية الكامنة للماء. وان اكثر الماء الداخل الى النبات بالامتصاص يتم عن طريق الخاصية الاوزموزية وبعضه بفعل الانتشار.

انواع الامتصاص :

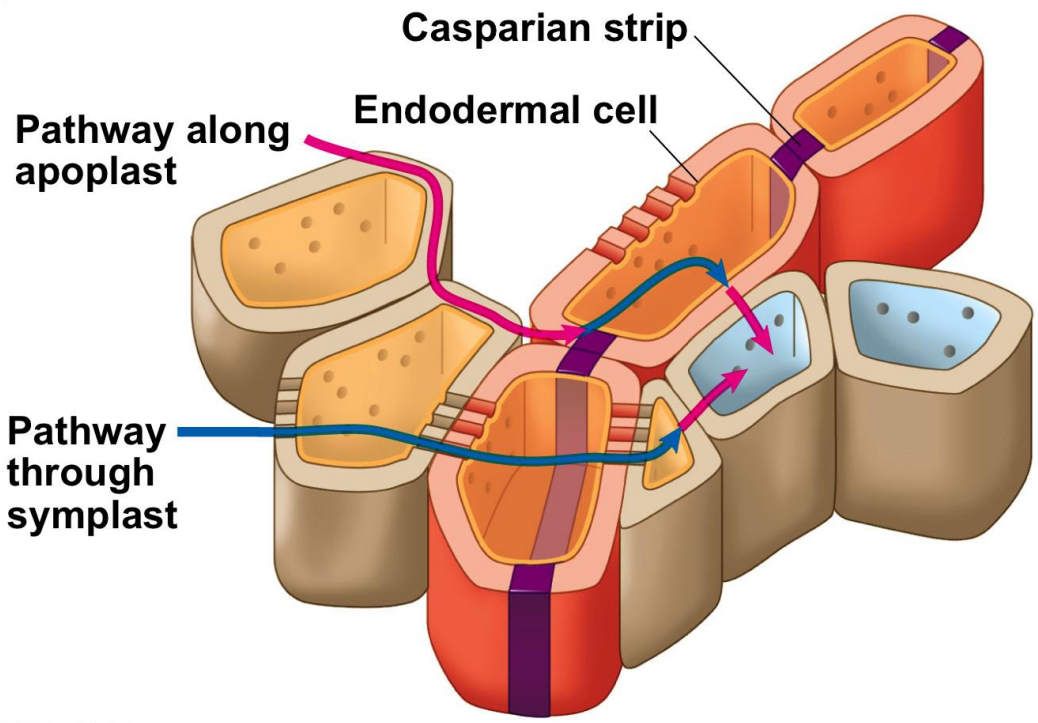
- **الامتصاص السلبي (الامتصاص الحر للماء) :**

يطلق على القوة المسببة لامتصاص الماء بصورة حرة بالقوة السالبة لان دخول الماء الى الجذر يكون سببه ظروف وفعاليات تحدث خارج الجذر وليست في داخله ومن هذه الظروف ما يحدث في الاجزاء العلوية من النبات (الاوراق) بسبب عملية النتح التي يخرج بفعلها الماء من خلايا النبات الى الخارج مسببة حدوث قوة سالبة او شد سالب بسبب زيادة سالبية جهد الماء في خلاي الورقة نتيجة فقد الماء بالنتح وارتفاع الضغط الاوزموزي وقلة الضغط الانتفاخي بسبب زيادة تركيز محلول الخلية بسبب فقد الماء منها مما يولد قوة سحب للماء الى الخلايا الحارسة من الخلايا المجاورة لها والتي بدورها تسحب الماء من الخلايا المجاورة لها ايضا وبذلك ينتقل الفرق في جهد الماء السالب من خلايا الورقة الى الساق ثم الى خلايا الجذر مسببة سحب الماء وامتصاصه من التربة الى الجذر بالانتشار البسيط دون الحاجة الى طاقة وبذلك تكون الفعالية الرئيسية التي تسبب امتصاص الماء بهذه الالية تحدث في **الاوراق** ويكون الجذر مجرد سطح يدخل الماء من خلاله الى النبات .

- **الامتصاص الفعال (النشط):**

يتم الامتصاص الفعال نتيجة فعالية خلايا الجذر وليس بفعل قوى خارجية مثل القوة السالبة في الاجزاء العليا من النبات والتي تسبب الامتصاص السلبي، وان الامتصاص الفعال يتم بالخاصية

الاوزموزية ويحتاج الى طاقة. وبفعل هذه الالية فان الماء يتحرك من التربة الى داخل خلايا الجذر بسبب وجود منحدر او فرق في جهد الماء الذي يكون اكثر سالبية باتجاه خلايا الجذر، مسببة دخول الماء خلال خلايا البشرة فالقشرة والى الاوعية الناقلة في الخشب بسبب ازدياد تركيز الذائبات والاملاح كلما اتجهنا من الخلايا الخارجية للجذر الى الخلايا الداخلية للجذر، وان سبب زيادة تركيز الذائبات في الخلايا الداخلية للجذر مقارنة بالخلايا الخارجية يعزى الى انخفاض الفعاليات الحيوية الى اقل مستوى في المنطقة الداخلية للجذر قرب القنوات الخشبية بسبب انخفاض مستوى الاوكسجين وارتفاع مستوى ثاني اوكسيد الكربون ومنع شريط كاسبر Casparian strip للاملاح بالحركة والرجوع الى الخلايا الخارجة للجذر لذلك فان الماء يتحرك بسبب الخاصية الاوزموزية الى داخل الجذر والى القنوات الخشبية ثم الى الاجزاء العليا من النبات وان مسط الاملاح بهذه الخاصية يحتاج الى طاقة.



شكل يوضح مسار انتقال الماء و العناصر داخل الجذر

العوامل المؤثرة في امتصاص الماء بصورة عامة:

- **كمية الماء القابلة للامتصاص في التربة :** ان النباتات تمتص الماء من التربة اذا كان ماء التربة يقع بين نقطة الذبول الدائمي والسعة الحقلية، اما اذا قل المحتوى المائي القريب من الجذر الى اقل من هذه الحدود يصبح الامتصاص صعبا بسبب كون القوى الطبيعية التي تمسك الماء مع دقائق التربة تصبح اشد من القوى المسببة لدخول الماء الى النبات.
- **درجة حرارة التربة :** ان معدل امتصاص الماء من التربة ينخفض بانخفاض درجة حرارة التربة ويزداد بارتفاع درجة الحرارة الى حدود معينة، وان تأثير درجة الحرارة يختلف باختلاف النباتات، ويرجع انخفاض امتصاص الماء بانخفاض درجة الحرارة الى الاسباب التالية :
  - انخفاض معدل انتشار الماء وانخفاض حركة ونقل الماء
  - انخفاض نفاذية البروتوبلازم والاغشية الخلوية بانخفاض درجة الحرارة
  - انخفاض نشاط العمليات الحيوية التي تؤدي بدورها الى انخفاض نمو وانتشار الجذور في التربة .
  - زيادة لزوجة البروتوبلازم الذي يسبب مقاومة عالية لحركة وانتقال الماء في الخلايا وبين الخلايا .
- **تركيز محلول التربة:** كلما قل تركيز محلول التربة انخفض الضغط الاوزموزي وازداد جهد الماء فيه (يصبح اقل سالبية) وبذلك يزداد الفرق بالجهد المائي بين محلول التربة والعصير الخلوي وبالتالي يزداد معدل امتصاص الماء من قبل النبات. هناك نباتات تتميز بارتفاع

الضغط الاوزموزي وقلة جهد الماء في عصيرها الخلوي بحيث تستطيع امتصاص الماء في ظروف الشد المائي والملحي.

- **تهوية التربة** : تمتص الجذور الماء من التربة الجيدة التهوية بمعدل اسرع من الترب الغدقة او الرديئة التهوية للاسباب التالية :
  - انخفاض مستوى الاوكسجين في التربة مما يؤدي الى اعاقة نمو الجذور وانخفاض مستوى العمليات الفسلجية وبالتالي تردي قابلية الجذور على الامتصاص للماء والعناصر المغذية .
  - تراكم ثاني اوكسيد الكربون في الترب قليلة التهوية يؤدي الى اضرار اكثر من اضرار قلة الاوكسجين لكون زيادة ثاني اوكسيد الكربون تسبب زيادة لزوجة البروتوبلازم وقلة النفاذية مما ينجم عن ذلك تقليل امتصاص الماء من قبل النبات .
- **معدل النتح في النبات:** كلما ارتفع معدل النتح ازدادت القوة السالبة في العصير الخلوي وبالتالي يزداد امتصاص الماء من قبل الجذور.
- **خصائص المجموعة الجذرية:** ان الجذور الاكثر انتشارا واختراقا للتربة تؤلف شبكة كثيفة من الجذور ذات التماس المباشر مع سطح اكبر من التربة مما يسبب زيادة الامتصاص اكثر من الجذور قليلة التفرع والجذور السطحية . كما ان بقاء الشعيرات الجذرية الممثلة للجزء الاكثر امتصاصا للماء لفترة اطول تزيد من الامتصاص.

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة الثالثة

النتح : Transpiration :

يحتاج النبات الى كميات كبيرة من الماء للمحافظة على ديمومة العمليات الحيوية فيه، الا ان مايستخدم منه في العمليات الحيوية يمثل كمية قليلة وان الكمية الاكبر تفقد من النبات بعملية النتح ، فالنتح عموما يمثل عملية فقدان الماء من النبات بهيئة بخار ماء ، لذلك لابد للنبات ان يمتص كميات من الماء تفوق مايفقده بالنتح لاستخدام المتبقي بالعمليات الحيوية وادامة النمو ، اما في حال امتصاص كميات اقل مما يفقد بالنتح فسوف يؤدي ذلك الى حدوث الذبول. وهناك عدة انواع من النتح :

1- النتح الثغري Stomatal Transpiration : وهو فقدان الماء من النبات على شكل بخار ماء عن طريق الثغور وهذا النوع يمثل اهم انواع النتح ويفقد بواسطته مايصل الى 95% من الماء المفقود بالنتح.

2- النتح العديسي Lenticular Transpiration : وهو فقدان الماء على هيئة بخار ماء عن طريق فتحات صغيرة موجودة بالنسيج الفليني للاوراق والسيقان في بعض النباتات خاصة نباتات الحشائش تسمى العديسات.

3- النتح الادمي (نتح الكيوتكل) Cuticular Transpiration : وهو فقدان الماء على هيئة بخار ماء من خلال طبقة الكيوتكل ولاسيما في الاوراق الصغيرة حديثة التكوين ذات طبقة الكيوتكل الرقيقة ولايحدث هذا النوع من النتح في الاوراق ذات طبقة الكيوتكل السميكة.

4- الادماع Guttation: وهو فقدان الماء على هيئة قطرات ماء تخرج من فتحات تسمى الثغور المائية، وتحدث هذه الحالة في النباتات المائية والتي تعيش في الترب الغدقة وبالجو المشبع بالرطوبة .

- ميكانيكية فتح وغلق الثغور : هي الميكانيكية التي يتم بواسطتها فتح وغلق الثغور ، وان اهم التفسيرات لفتح وغلق الثغور تتلخص بالاتي :

تفسير Stewart :

ان فتح وغلق الثغور بصورة عامة يتأثر بالرقم الهيدروجيني pH في الخلايا الحارسة وعموما فان الرقم الهيدروجيني القريب من 7 يؤدي الى فتح الثغور والرقم الهيدروجيني القريب من 5 يؤدي الى غلق الثغور وان تغير الرقم الهيدروجيني له علاقة وثيقة بالضوء والتمثيل الكربوني . ان توفر الضوء يؤدي الى استهلاك ثاني اوكسيد الكربون في عملية التمثيل الكربوني والذي يؤدي بدوره الى قلة CO_2 في الماء لانتاج حامض الكربونيك H_2CO_3 ولذلك تقل حامضية الخلايا الحارسة وترتفع قيمة pH فيها الى 7 وهذا يؤدي الى تحول النشأ في الخلايا الحارسة الى سكريات مفسفرة بفعل انزيمي phosphorylase و phosphoglucomutase والتي بدورها تتحول الى فسفور عضوي وسكريات وان ارتفاع محتوى الخلايا الحارسة من السكريات يؤدي الى رفع الضغط الاوزموزي في الخلايا الحارسة مما يسبب سحب الماء من الخلايا المجاورة الى الخلايا الحارسة مما يسبب انتفاخها وبالتالي تؤدي الى فتح الثغور . اما عند عدم توفر الضوء او في الظلام فان استهلاك CO_2 بالتمثيل

الكربوني ينخفض فيؤدي الى زيادة ذوبانه بالماء لانتاج حامض الكربونيك مسبب خفض pH نحو 5 وهذا يسبب تحول السكريات الى سكريات مفسفرة ثم الى نشأ في الخلايا الحارسة بمساعدة انزيم اخر هو Hexokinase وبوجود مركب الطاقة ATP وارتفاع النشأ يؤدي الى خفض الضغط الاوزموزي مما يسبب خروج الماء من الخلايا الحارسة الى الخلايا المجاورة وانكماش الخلايا الحارسة وغلق الثغور.

اما بحسب رأي Levitt فان الخلايا الحارسة عند تعرضها الى الضوء يحدث التمثيل الكربوني الذي ينتج فيه المركب ATP والمركب NADPH ويثبت فيه ثاني اوكسيد الكربون مما يسبب زيادة ايونات البيكاربونات وارتفاع pH وهذه البيكاربونات تنشط انزيمات تثبيت CO_2 بالتمثيل الكربوني وهي RuBPcar و PEPcar وتتفاعل معها مسببة تكوين الاحماض العضوية ثنائية الكاربوكسيل R–coo– ولهذا يجب تعويض هذين الانزيمين من خلال هدم النشأ في الخلايا الحارسة وتحولها الى سكريات كما ان ايونات الهيدروجين الناتجة من تأين الاحماض العضوية الثنائية الكاربوكسيل تتبادل مع ايونات البوتاسيوم وبوجود انزيم ATPase والسكريات فيرتفع الضغط الاوزموزي في الخلايا الحارسة ويقل جهد الماء وبالتالي سحب الماء الى الخلايا الحارسة وانتفاخها وفتح الثغور . اما في الظلام فيتوقف التمثيل الكربوني فتزداد نسبة CO_2 في المسافات البينية مما يسبب دخوله وقلة تثبيته بالتمثيل الكربوني لذلك تختفي الظروف الملائمة لنشاط الانزيمين RuBPcar و PEPcar وتصبح الحاجة لتعويضهما من تحلل النشأ قليلة فيزداد النشأ ولاتتجمع الاحماض العضوية ثنائية الكاربوكسيل ولاتتجمع ايونات الهيدروجين بتبادلها مع ايونات البوتاسيوم فينخفض الرقم الهيدروجيني وينخفض الضغط الاوزموزي فتفقد الخلايا الحارسة الماء الى خلايا البشرة فيؤدي الى انكماشها وغلق الثغور .

معامل النتح Transpiration Coefficient : هو مقدار الماء الذي يفقده النبات بالنتح (باللتر) لبناء كيلوغرام واحد من المادة الجافة للنبات .

يتم تقدير النتح الكلي للنبات طوال فترة حياته مع تقدير الوزن الجاف النهائي الكلي للنبات ويتم استخراج معامل النتح بالمعادلة :

$$T.C. = \frac{T}{DW}$$

حيث ان :

T.C. = معامل النتح للنبات

T = النتح الكلي خلال فترة حياة النبات (سم^3 او لتر)

DW = الوزن الجاف للنبات بالغرام

يتراوح معدل معامل النتح بالنبات الواحد في معظم المحاصيل بين 300–500 غرام ماء لكل غرام مادة جافة.

النتح النسبي Relative Transpiration : هو وزن الماء المفقود من سطح نباتي الى وزن الماء المتبخر من سطح مائي مساوي له في المساحة .

تستخدم اجهزة خاصة لقياس النتح النسبي تسمى المبخرات والتي تملأ بالماء المقطر وتوضع مع النبات الذي يقدر له النتح النسبي تحت نفس الظروف البيئية فتعمل المبخرات على تبخير الماء المقطر من سطحها المعلومة مساحته وتوزن الاجهزة قبل التبخير وبعده وفرق الوزن يمثل وزن الماء

المتبخر منها في الزمن المحدد والمعلوم ويقاس ايضا في نفس الوقت المحدد وزن الماء المفقود من النبات بالنتح ويستخرج النتح النسبي من المعادلة :

$$R.T. = \frac{wt}{we}$$

حيث ان :

RT = النتح النسبي

Wt = وزن الماء المفقود من النبات / 100 سم^2 من سطح الورقة / ساعة

We = وزن الماء المتبخر من الجهاز / 100 سم^2 من سطح الورقة / ساعة

ان تقدير النتح النسبي يفيد في مقارنة فقدان الماء من المساحات الحرة مع فقدان الماء من المساحات التي تسيطر عليها العمليات الحيوية للنبات مثل النتح من الثغور

التنفس Respiration :

هو عبارة عن سيل من التفاعلات التأكسدية – الاختزالية والتي يتم فيها تأكسد مادة التفاعل الى ثاني اوكسيد الكربون بينما يختزل الاوكسجين ليدخل في تركيب السكريات والنشأ والحوامض الشحمية والعضوية والبروتينات .

يتم التفاعل في التنفس بحسب المعادلة :

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow 6C0_2 + 6H_2O + Energy$$

ان الخلايا المتنفسة تكون قادرة على استغلال الطاقة الناتجة وتحويلها من طاقة حرارية الى طاقة كيميائية داخل الخلية نفسها والتي تستخدم فيما بعد لاغراض النمو والبناء .

عند اكسدة الجزيئات الكبيرة مثل السكريات بفعل عملية التنفس تنتج عدد من المركبات الوسطية التي تتحول الى المواد الاساسية في بناء الخلايا ويمكن تلخيص التحولات في هذه المركبات الوسطية بما يلي :

1- بعض المركبات الوسطية تتحول الى الاحماض الامينية التي تدخل في بناء البروتينات .

2- مركبات وسطية اخرى تتحول الى نيوكليوتيدات Nucleotides والتي بدورها تدخل في تركيب الاحماض النووية .

3- مركبات وسطية تعتبر مصدر كاربوني للعديد من الصبغات مثل البورفرين Porphyrin والسيتوكرومات Cytochromes والستيرولات Sterols .

4- مركبات وسطية تتحول الى حوامض شحمية تدخل في تركيب الشحوم والزيوت .

معامل التنفس Respiration Quotient (RQ) : وهو عبارة عن نسبة CO_2 الناتج من عملية التنفس الى O_2 الداخل في العملية ، اي ان :

$$RQ = \frac{CO2}{O2}$$

حالات معامل التنفس :

1- معامل التنفس يساوي واحد : RQ= 1

يكون معامل التنفس مساويا الى واحد (1) عندما يكون كمية ثاني اوكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس يساوي كمية الاوكسجين الداخل في العملية او المستهلك فيها ، وتحدث هذه الحالة في الخلايا النباتية التي تستخدم السكريات او النشويات كمادة للتنفس .

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \text{ ----------} \geq 6C0_2 + 6H_2O + \text{Energy}$$

$$RQ = \frac{CO2}{O2} = \frac{6}{6} = 1$$

2- معامل التنفس اقل من واحد : $RQ < 1$

تحدث هذه الحالة في الخلايا النباتية التي تستخدم مركبات زيتية كمادة لعملية التأكسد في عملية التنفس ، كما في المحاصيل الزيتية مثل زهرة الشمس والسمسم ، اذ ان كمية ثاني اوكسيد الكربون الناتج يكون اقل من الاوكسجين المستهلك في التفاعل وبحسب المعادلة :

$$C_{18}H_{34}O_2 + 25\ O_2 \text{ ----------} \geq 18C0_2 + 17H_2O$$

$$RQ = \frac{CO2}{O2} = \frac{18}{25} = 0.7$$

3- معامل التنفس اكثر من واحد : $RQ > 1$

يكون معامل التنفس اكبر من (1) في النباتات التي تستخدم مواد عضوية شبه مؤكسدة كمادة لعملية التنفس ، لانه عند اكسدة هذه المركبات الى CO_2 وماء فان التفاعل خلال عملية التنفس يحتاج الى كمية قليلة من الاوكسجين لاتمام عملية التنفس وانتاج ثاني اوكسيد الكربون اكثر من كمية الاوكسجين المستهلك . ويعود السبب في ذلك لكون المواد العضوية الشبه مؤكسدة التي تستخدم في عملية التنفس تحتوي اصلا على كمية من الاوكسجين لذلك فان الحاجة للاوكسجين تكون اقل لاتمام عملية التنفس .

مراحل عملية التنفس : ان الاكسدة الكاملة لاي مادة في عملية التنفس تتم في عدة مراحل :

1- المرحلة الاولى : وتسمى بالتنفس اللاهوائي وتحدث هذه المرحلة عبر سلسلة من التفاعلات الكيميائية في السايتوبلازم بدون وجود الاوكسجين ، اي انها تفاعلات غير هوائية يتم فيها تجزئة مادة التفاعل الى حامض البيروفيك Pyrovic acid الثلاثي الكربون وتسمى هذه التفاعلات بالكلايكولايسس Glycolysis يتم في هذه التفاعلات استهلاك جزيئتين من الطاقة ATP مقابل تكوين اربع جزيئات من ATP وجزيئتين من NADPH لكل جزيئة من جزيئات مادة التفاعل دون تكوين CO_2 .

2- المرحلة الثانية : يحدث في هذه المرحلة سلسلة من التفاعلات التي تسمى دورة كربس Kribs Cycle بوجود الاوكسجين الذي يشترك بصورة غير مباشرة ومع ذلك فتعتبر هذه المرحلة من التنفس مرحلة ذات تفاعلات هوائية . تحدث هذه المرحلة في المايتوكوندريا ، وينتج في هذه المرحلة اربع جزيئات من NADPH الاولى تتكون من تأكسد حامض البيروفك الى Acetyl CoA والثانية تتحرر اثناء تأكسد isocitric acid الى α-ketoglutaric acid بينما تتحرر الجزيئة الثالثة من تأكسد Succinic acid الى Fumaric acid والرابعة تتحرر من أكسدة Malic acid الى Oxaloacetic acid مع تحرر ثلاث جزيئات من CO_2 . يتم في هذه المرحلة تجزئة حامض البيروفيك في سلسلة من التفاعلات حتى انتاج الهيدروجين .

3- المرحلة الثالثة : تسمى نظام نقل الالكترون وامتصاص الطاقة تضم سلسلة تفاعلات تأكسدية – اختزالية تحدث في المايتوكوندريا ايضا وتتم فيها اتحاد الهيدروجين الناتج من المرحلة الثانية مع عدة وكونات لانتاج الطاقة قبل ان يتحد مع الاوكسجين لتكوين الماء وتشترك في هذه العملية العديد من

الانزيمات. تتحرر في هذه المرحلة كمية كبيرة من الطاقة الحرارية التي تحولها الخلية الى طاقة كيميائية تستخدم في العمليات الحيوية في الخلية وتبلغ كمية الطاقة التي تنتج من التنفس اللاهوائي 2 ATP ومن التنفس الهوائي 36 ATP .

العوامل المؤثرة بالتنفس :

1- توفر مادة التفاعل : ان اي عملية تنفس تعتمد على وجود مادة التفاعل وخاصة السكريات والنشويات ، فاذا انخفضت هذه المواد بالنبات تنخفض معدلات التنفس وبسببها يقوم النبات بتجزئة وأكسدة المواد البروتينية والمركبات النتروجينية في النبات لاستخدامها كمادة تفاعل في التنفس وهذه الحالة تسمى بالتجويع لذلك تظهر على النبات علامات الاصفرار بسبب حالة التجويع هذه واعتماد النبات على المخزون من المواد الغذائية لتوفير مادة التفاعل للتنفس.

2- الاوكسجين المتوفر : ان انخفاض معدلات الاوكسجين في الجو خاصة في البيئات ذات معدلات التلوث العالي ونقص الاوكسجين وزيادة ثاني اوكسيد الكربون تؤدي الى خفض معدلات التنفس في النبات

3- درجة الحرارة Temperature : في مدى درجة الحرارة مابين صفر – 30 درجة مئوية فانه كلما ارتفعت درجة الحرارة (10) درجة مئوية فان معدل التنفس يتضاعف . اما اذا ارتفعت درجة الحرارة اكثر من ال 30 درجة مئوية فان الزيادة في الحرارة تكون حينئذ ذات تأثيرات سلبية ومؤذية على الخلية والنبات بسبب تحول الانزيمات الى حالة غير فعالة مما يؤدي الى خفض معدل التنفس وذلك لان الانزيمات تلعب دورا مهما بعملية التنفس وان تعطيلها يؤدي الى خفض التنفس .

4- الجروح والتأثيرات الميكانيكية والامراض : Injuries, Mechanical effects and Diseases :

ان الجروح تسبب زيادة سرعة التنفس بنسبة تتراوح مابين 20-80 % بحسب شدة التأثير . كما ان التأثيرات الميكانيكية وحدوث الذبول الشديد والاصابة بالامراض تسبب زيادة سرعة التنفس .

5- الضوء Light : يسبب الضوء زيادة في التنفس بسبب تأثيره غير المباشر في هذه العملية ، لكون الضوء يزيد من عملية التمثيل الكربوني مما يسبب زيادة في السكريات المصنعة بالتمثيل الكربوني والتي تستخدم كمادة للتفاعل في التنفس ، بالاضافة الى ان الضوء يساعد في تكوين حامض الكلايكول Glycolic acid في البلاستيدات الخضراء وان التأكسد السريع لهذا الحامض يؤدي الى تحرر CO_2 واستهلاك O_2 بعملية التنفس مما يؤدي الى ارتفاع معدلات هذه العملية .

6- المحتوى المائي للخلية Cell water content : في الخلايا ذات المحتوى المائي المنخفض وخاصة في البذور الجافة فان عملية التنفس تستمر ولكن بمعدلات منخفضة مما يؤدي الى استهلاك قليل للاوكسجين وبزيادة المحتوى المائي ترتفع معدل وسرعة عملية التنفس .

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة الرابعة

التمثيل الكربوني (البناء الضوئي) : Photosynthesis

ان مصدر الطاقة الرئيسي في الكون هو ضوء الشمس .

ضوء الشمس : عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات اطوال موجية متباينة وهذه الموجات تتألف من حزم من الفوتونات Photons تحمل طاقة تسمى الكوانتم Quantum وتختلف طاقة الموجات باختلاف التردد .

التردد : هو عدد الموجات المارة في نقطة معينة بفترة زمنية محددة ، وتتناسب الطاقة التي يحملها الفوتون طرديا مع التردد .

تستخدم الطاقة الشمسية لتكوين الكربوهيدرات في النبات من CO_2 والماء عن طريق تكوين سلاسل من الهيدروكربون عند تثبيت الطاقة الضوئية في روابط كيمياوية من ذرات الكربون وبذلك تتحول مرحلة الطاقة العالية للشمس High-grade energy الى مرحلة الطاقة المتوسطة Medium-grade energy في صورة جزيئات عضوية مخزونة في النبات يضيع جزء منها على شكل حرارة والقسم الاخر يتحول الى مرحلة الطاقة الواطئة Low-grade energy عندما يتغذى الانسان والحيوان على هذه النباتات .

تتكون الطاقة المخزونة في النباتات من اتحاد CO_2 مع الماء وذلك باستخدام الطاقة الضوئية من قبل الكلوروفيل بحيث عند تحليل المادة الجافة للحاصل النهائي للنبات نجد ان 90-95% منها تتكون من الكربون والماء اي ان المادة الجافة تمثل 5-10% فقط التي تتكون من النتروجين والفسفور والعناصر الاخرى التي يتم الحصول عليها من التربة والاسمدة . لذلك يمكن تعريف التمثيل الكربوني بالاتي :

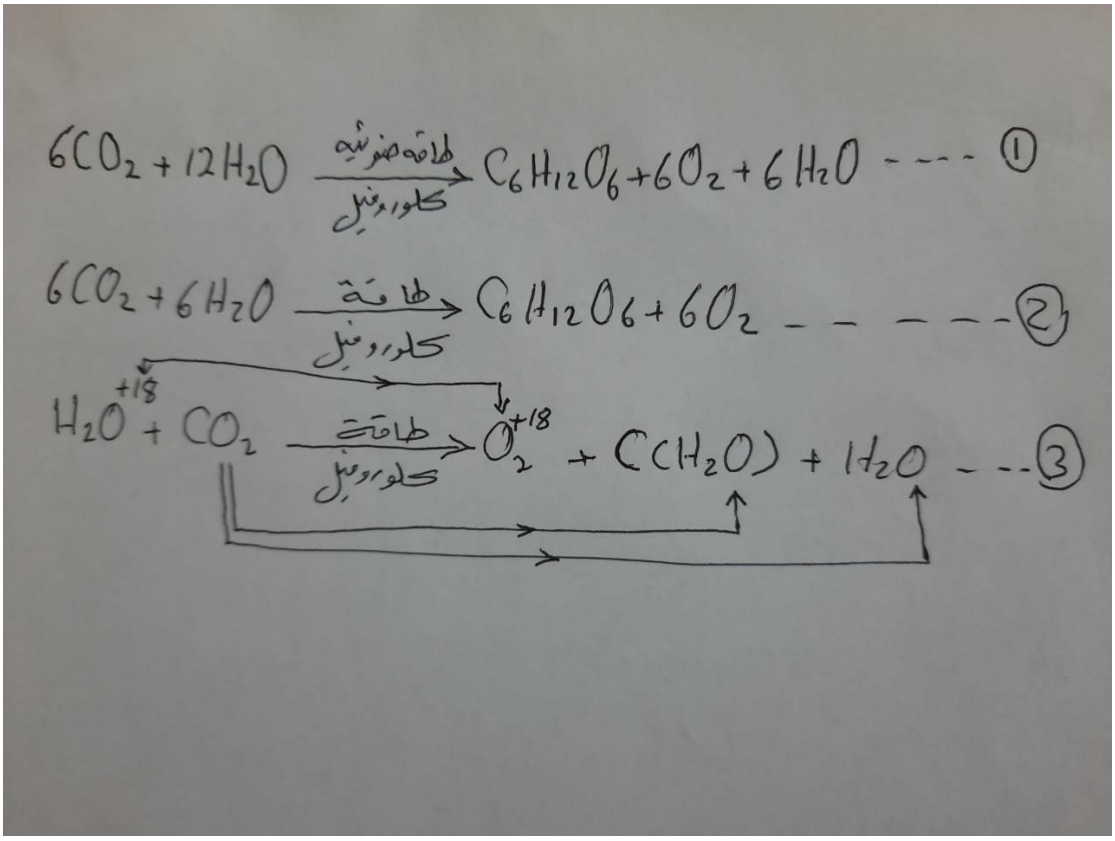
التمثيل الكربوني : عبارة عن عملية معقدة تحدث في الكائنات الحية الحاوية على الكلوروفيل ، يحدث فيه اختزال ضوئي للكربون الموجود في CO_2 من قبل الهيدروجين الذي مصدره الماء باستخدام طاقة مصدرها ضوء الشمس وكما في المعادلة (1)

س: ماهو مصدر الاوكسجين الناتج من عملية التمثيل الكربوني ؟

ان النباتات الخضراء ذاتية التغذية اي انها قادرة على تكوين غذائها بنفسها بتحويل CO_2 اللاعضوي الى مواد عضوية سكرية بواسطة الطاقة داخل البلاستيدات الخضراء . ان عملية التمثيل الكربوني عملية معقدة لخصت سابقا بالمعادلة (2)

من توازن المعادلة (2) فان مصدر الاوكسجين الناتج قد يكون من ثاني اوكسيد الكربون او الماء اوكلاهما معا . ولكن باستخدام النظائر المشعة امكن اثبات ان الاوكسجين الناتج مصدره الماء فقط ، فقد استخدم نظير الاوكسجين المشع (O^{18}) في جزيئة الماء بدلا من (O^{16}) اي باستخدام جزيئة ماء معلمة بالنظير المشع H_2O^{18} كما في المعادلة (3)

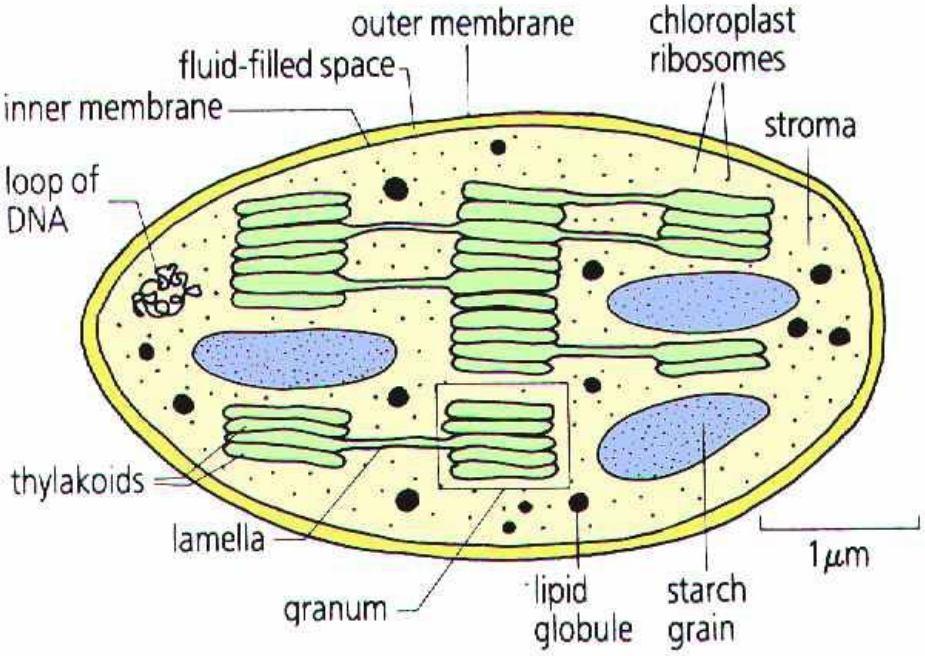
وعند فحص الاوكسجين المتحرر تبين بانه من النظير المشع وهذا يثبت بان مصدره الماء وليس ثاني اوكسيد الكربون ، اما اذا تم تعليم الاوكسجين في ثاني اوكسيد الكربون بالنظير المشع فان الاوكسجين المتحرر كان من النوع غير المشع (O^{16}) وبذلك وضعت معادلة جديدة بتوازن جديد كما في المعادلة (1)



جهاز التمثيل الكربوني (البلاستيدات الخضراء) :

تجري عملية البناء الضوئي في البلاستيدات الخضراء Chloroplast الموجودة في بروتوبلازم الخلايا النباتية الحية . تحاط البلاستيدة الخضراء بغشائين خارجي وداخلي تسمى Limiting Membrane يمتد الغشاء الداخلي الى الداخل ويؤدي الى تكوين نظام غشائي داخلي معقد ذو تركيب بروتيني لبيدي ترتبط كل من الكلوروفيل والصبغات الاخرى بالجزء البروتيني منها . يتكون النظام الداخلي الغشائي من صفائح غشائية او اقراص غشائية مرتبة بشكل مجاميع تحوي المجموعة الواحدة مابين 5–50 قرص مرتبة الواحدة فوق الاخرى مكونة مايسمى الكرانا او الكرانم Granum والكرانا عبارة عن منطقة مركزة بالكلوروفيل والتي يحدث فيها تفاعل الضوء . تمتد بعض الصفائح الغشائية مابين مجاميع الكرانا والتي تسمى بالصفائح مابين الكرانا Intergranal lamella او صفائح الستروما Stromal lamella . يملأ البلاستيدة الخضراء مادة ذات طبيعة بروتينية تسمى الستروما Stroma وهي المنطقة الاقل تركيزا وذات لون فاتح

ويحدث فيها اختزال ثاني اوكسيد الكربون في تفاعل الظلام لاحتوائها على الانزيمات الخاصة بالبناء الضوئي وتثبيتCO_2.



ان الاكياس الغشائية المكونة للكرانا عبارة عن أكياس مسطحة تسمى Thylakoids ومجموع هذه الاكياس تسمى الكرانا او الكرانم . تعتبر البلاستيدة الخضراء المركز الذي تتم فيه عملية التمثيل الكربوني وفيها تنتظم جزيئات الكلوروفيل والصبغات الاخرى وخاصة الكاروتين التي تشترك بصورة غير مباشرة بعملية تثبيت الطاقة الضوئية بعملية التمثيل الكربوني ، ففي النباتات الراقية تكون جسيمة البلاستيدة كروية الشكل وبقطر 4–6 مايكرون وتحتوي كل خلية نباتية خضراء على مايقرب من 50 بلاستيدة خضراء وان كل بلاستيدة خضراء هي مشتقة او تكونت من بلاستيدة اولية Proplastide والتي تكون موجودة بالاصل عند نشوء الخلية الجديدة .

الضوء المستخدم في عملية البناء الضوئي :

ان الضوء المستخدم في عملية البناء الضوئي هو الضوء المرئي الذي يشمل الموجات الضوئية التي تتراوح اطوالها الموجية بين 400–700 مليميكرون ، وان الحد الادنى للضوء

المرئي(400) مليميكرون يمثل المنطقة الزرقاء البنفسجية بينما الحد الاعلى (700) مليميكرون يمثل نهاية المنطقة الحمراء من الطيف .

س: لماذا لايتم استخدام الموجات الضوئية الاقل من 400 او الاكثر من 700 مليميكرون في البناء الضوئي .

ان الضوء ينتقل بشكل حزم على هيئة دقائق تسمى الكوانتم والطاقة الموجودة في الفوتون تتناسب طرديا مع التردد ، لذلك فانه كلما كانت قيمة التردد عالية كلما كانت الطاقة التي تحملها الموجة الضوئية عالية ايضا ، وكلما كان طول الموجة كبيرا كلما كانت قيمة التردد صغيرة وتحمل طاقة اقل في الكوانتم ، لذلك فان :

1- ان الفوتونات في الموجات الواطئة الاطوال الموجية (اقل من 400) مليميكرون تكون طاقتها عالية لذلك فانها تسبب تلف الكلوروفيل .

2- ان الفوتونات في الاطوال الموجية العالية (اكثر من 700) مليميكرون تكون طاقتها قليلة لذلك فانها تكون غير قادرة على اثارة الكلوروفيل وتزودها بطاقة غير كافية لاجراء عملية البناء الضوئي.

تفاعلات التمثيل الكربوني :

1- تفاعلات الضوء Light reactions : وهي تفاعلات تعتمد على وجود الضوء وتسمى بالتفاعلات الكيميائية الضوئية.

2- تفاعلات الظلام Dark reactions : وهي تفاعلات كيميائية انزيمية لاتعتمد على الضوء بل انها تحدث في الضوء والظلام دون ان تكون معتمدة على وجود الضوء .

تفاعل الضوء: ان الخطوة الاولى في التمثيل الكربوني هي امتصاص الضوء بواسطة جزيئة الكلوروفيل حيث تنتقل الطاقة الى موقع التفاعل الذي يحصل فيه تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية من خلال نظامين الاول هو النظام الضوئي الاول Photosynthesis 1 الذي يكون

القوة الاختزالية NADPH والثاني وهو النظام الضوئي الثاني Photosynthesis 2 الذي يجزأ الماء لتكوين الاوكسجين والهيدروجين مع انطلاق الطاقة على هيئة مركب الطاقة ATP يتم تفاعل الضوء هذا بعدة خطوات يمكن تلخيصها بالاتي :

أ- يحدث امتصاص للطاقة الضوئية من قبل الكلوروفيل والصبغات الاخرى فتنتقل الطاقة الى الكلوروفيل فتتحول جزيئات الكلوروفيل المستقرة Stable الى حالة غير مستقرة Unstable او نشطة Activated عن طريق اطلاق الكترون

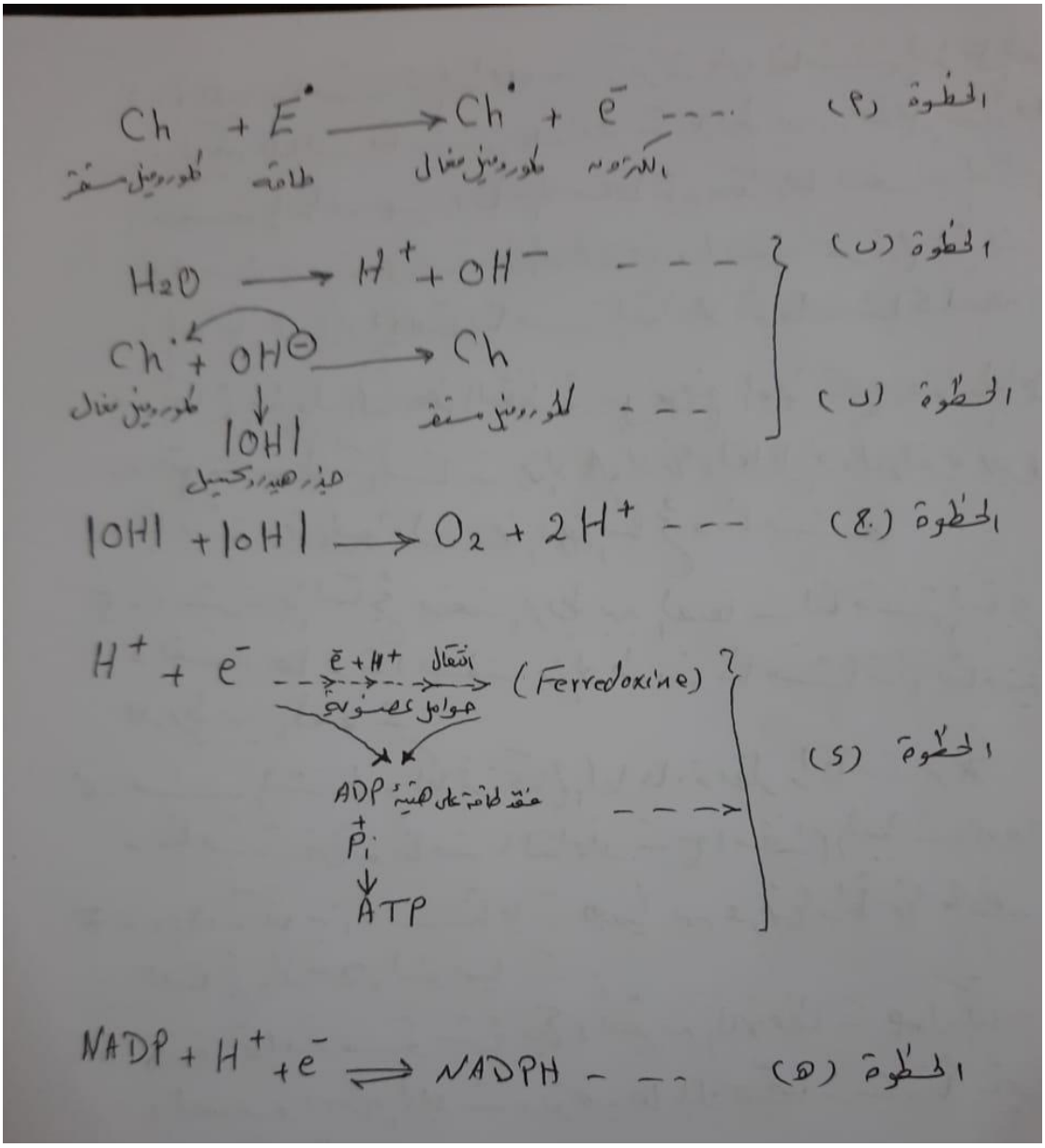
ب-يحدث تحلل لجزيئة الماء الى ايون هيدروجين موجب وايون هيدروكسيل سالب وان جزيئة الكلوروفيل الفعالة ضوئيا تزيح الكترونا من مجموعة الهيدروكسيل OH^- الناتجة من تحلل الماء وتكتسب هذه الالكترون من الماء للعودة الى حالة الاستقرار لاستلام طاقة ضوئية مرة اخرى وتثبيتها

ج-ان جذور الهيدروكسيل (OH^-) تمثل جذورا حرة للهيدروكسيل غير متأينة الا انها تعتبر من الاشكال الفعالة للاتحاد مع بعضها لذلك فانها لاتبقى حرة وفترة بقائها حرة تكون قصيرة . تتحد جذور الهيدروكسيل الحرة مع بعضها البعض مكونة الاوكسجين الذي يتحرر الى الخارج وذرات الهيدروجين التي تنقل الى المركب المختزل

د-ان ايون الهيدروجين H^+ والالكترون المتصل مع الكلوروفيل الفعال تنتقل خلال عدة حوامل عضوية تنتهي اخيرا بجزيئة الفيرودوكسين Ferredoxine ، وخلال انتقال الالكترون من خلال هذه الحوامل تفقد بعضا من الطاقة التي تحويها والتي تتحول الى طاقة كيميائية متمثلة بالمركب Adinene tryphosphate (ATP)

هـ-ينتقل الالكترون مع مادة الفيرودوكسين الى مركب ال Nicotinamide (NADP) adenine dinucleotide phosphate اضافة الى نقل ايون الهيدروجين :

والمعادلات التالية توضح تسلسل خطوات تفاعل الضوء



ان الاتجاه الحديث في تفسير حدوث تفاعلات الضوء هو ان الطاقة الضوئية تمتص ثم تركز في مجموعتين من الكلوروفيل واللتان تعتبران مركز للتفاعلات الضوئية داخل صفائح الكرانا في البلاستيدات الخضراء ، اذ يحدث في هاتين المجموعتين نوعين من التفاعلات التفاعل الاول Light reaction 1 تنطلق فيه الالكترونات من جزيئات الكلوروفيل في المجموعة الاولى نتيجة امتصاصها للاشعة الضوئية وتركيز الطاقة فيها ويتم نقل الالكترون المنطلق منها الى

Ferredoxine تاركة الكلوروفيل في المجموعة الاولى متأين ومشحون بشحنة موجبة ، اما المجموعة الثانية من الكلوروفيل التي تحدث فيها التفاعل الثاني Light reaction 2 فتقوم باطلاق الكترون ايضا نتيجة الطاقة الضوئية التي تمتصها وهذا الالكترون ينتقل بعدة حوامل الكترونية الى ان يتم استلامه من قبل الكلوروفيل في المجموعة الاولى المشحون بالشحنة الموجبة اما جزيئات الكلوروفيل في مركز التفاعل الثاني والتي تشحن بالشحنة الموجبة ايضا فيتم معادلتها من قبل الالكترون اناتج من تأين الماء . ان مركز التفاعل الاول ونتيجة نقل الالكترون الى Ferredoxine ينتج عنه انتاج المركب المختزل NADPH اما في مركز التفاعل الثاني فينتج مركب الطاقة ATP .

تفاعل الظلام : تقسم النباتات بحسب مسار تفاعل الظلام وتثبيت ثاني اوكسيد الكربون الى نوعين هما:

1- **نباتات ثلاثية الكربون C_3- Plants :** هي النباتات التي تتم فيها عملية البناء الضوئي بتثبيت CO_2 في تفاعل الظلام بحيث يكون الناتج الاول بعد دخول CO_2 في التفاعل مركب يحتوي على ثلاث ذرات كربون وهو (PGA) Phosphpglyceric acid وبمساعدة الانزيم (RuBPcar) المسمى RuBPcarboxylase ويجري تفاعل الظلام في هذه النباتات في خلايا النسيج المتوسط Mesophyl، ومن هذه النباتات الرز والحنطة .

2- **نباتات رباعية الكربون C_4-Plants :** وهي النباتات التي تتم فيها عملية البناء الضوئي بتثبيت CO_2 في تفاعل الظلام بحيث يكون الناتج الاول بعد دخول CO_2 في التفاعل مركب يحتوي على اربع ذرات من الكربون وهو مركب Oxaloacetate وبمساعدة الانزيم (PEPcar) PEPcarboxylase ويجري تفاعل الظلام في هذه النباتات اولا في خلايا النسيج المتوسط ثم ينتقل الى خلايا غلاف الحزمة Vascular cells.

مسار وطريقة اختزال CO_2 (تفاعل الظلام) :

1- في نباتات ثلاثية الكربون :

اكتشف كالفن Calvin عام 1954 دورة تثبيت CO_2 في النباتات الخضراء ، اذ يتم تثبيت CO_2 بمساعدة انزيم Ribulose bi-phosphate carboxylase (RuBPcar) بالخطوات التالية :

أ- تبدأ العملية بتحويل مركب Ribulose-5-Phosphate بمساعدة مركب الطاقة ATP الذي ينتج من الفسفرة الضوئية للماء الى مركب Ribulose-bi-Phosphate (RuBP) .

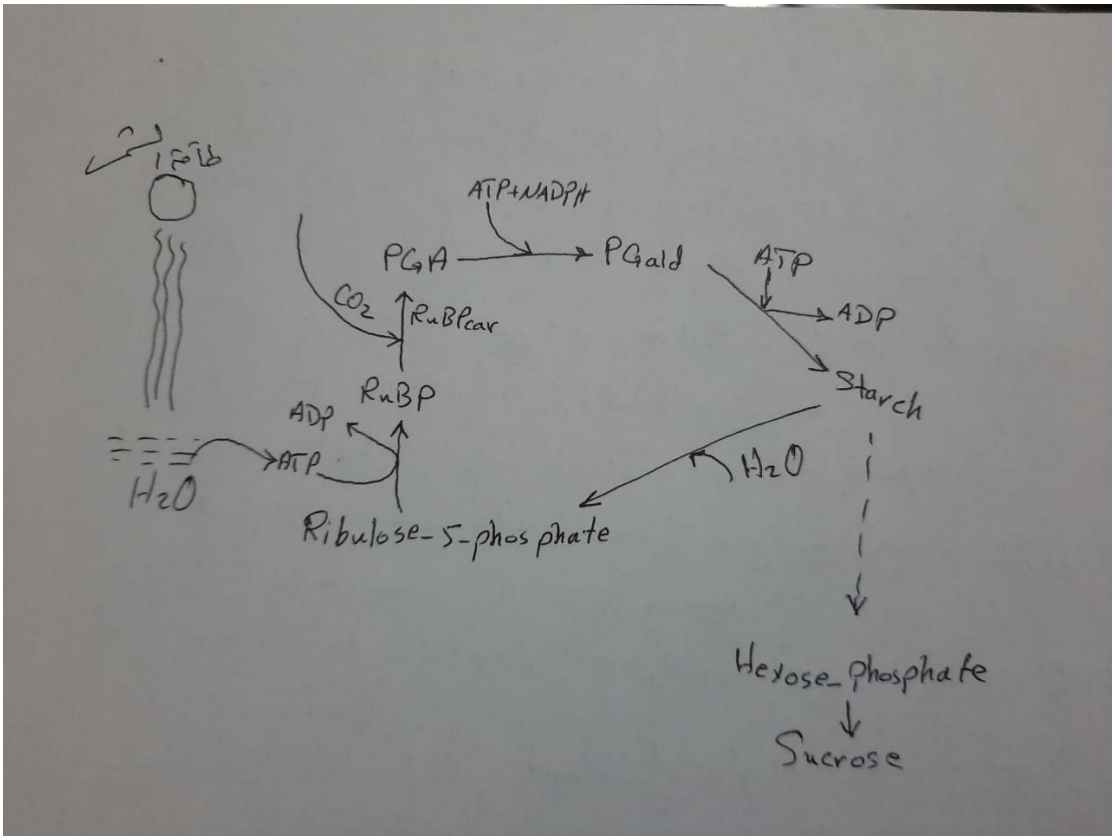
ب-دخول CO2 في التفاعل واتحاده مع مركب RuBP بمساعدة انزيم RuBPcar وانتاج مركب PGA Phosphoglyceric acid . ان مركب PGA يحتوي على ثلاث ذرات من الكربون وهو اول مركب نتج بعد دخول CO_2 في التفاعل وتثبيته لذلك تسمى هذه النباتات التي تثبت CO_2 بهذه الطريقة بنباتات ثلاثية الكربون.

ج- يمر مركب ال PGA بمرحلتين تفاعليتين يختزل خلالها مجموعة الكحول COOH- الى مجموعة الدهايد CHO- بوجود مركب الطاقة ATP وقوة اختزالية من المركب NADPH الذين يتكونان في تفاعل الضوء، وبذلك يتحول مركب PGA الى مركب (PGald) Phosphoglyceraldehyde .

د- يتكون من الـ PGald مركبات اخرى فاما يعود ويتحول مرة ثانية الى Ribulose-5-Phosphate لادامة واستمرارية تفاعل الظلام بهذا المسار او يتحول الى Hexose Phosphate ثم بمساعدة ATP يتحول الى سكريات .

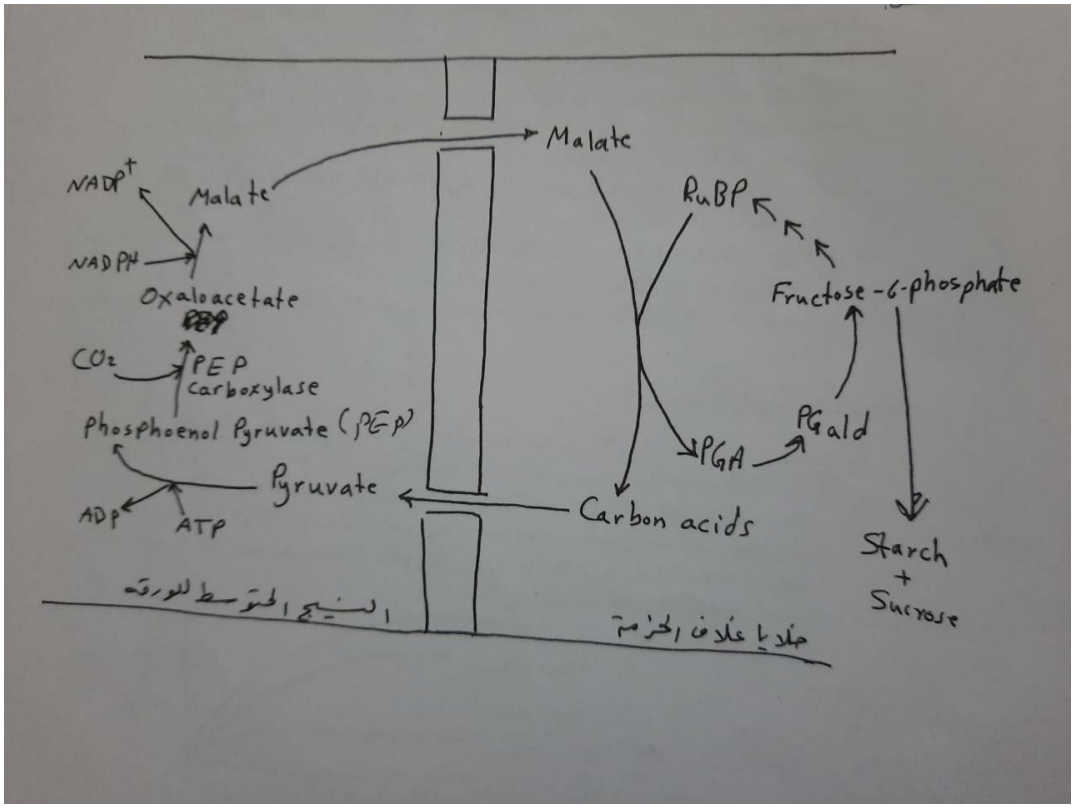
ان هذه الخطوات ومراحل تفاعل الظلام في نباتات ثلاثية الكربون تجري في خلايا النسيج المتوسط لهذه النباتات .

ان هذه الخطوات يمكن تمثيلها بالمخطط الاتي :



2- في نباتات رباعية الكربون :

اعتبرت دورة كالفن هي المسار الوحيد لتثبيت CO_2 في النباتات الراقية ، الا انه اكتشف فيما بعد وجود مسار اخر لتثبيت CO_2 بمساعدة انزيم (PEPcar) Phosphoenol byruvate carboxylase كما في الشكل:



تتلخص خطوات هذا المسار بالاتي :

أ- ان ال ATP المنتج بعملية الفسفرة الضوئية للماء يستخدم في تحويل البايروفيت Pyruvate الى مركب PEP (Phosphoenol byruvate) .

ب-تتم عملية كربكسلة Carboxylation لمركب PEP المكون من ثلاث جزيئات من الكربون بدخول CO_2 في التفاعل وبمساعدة انزيم PEP-carboxylase وتتكون ثلاث حوامض رباعية الكربون هي Oxaloacetate و Malate و Asparate لذلك سميت النباتات التي يتم تثبيت CO_2 فيها بالنباتات رباعية الكربون . وتتم هذه الخطوات في النسيج المتوسط.

ت-تنتقل هذه الحوامض من خلايا النسيج المتوسط الى خلايا غلاف الحزمة .

ث-تتحول هذه الحوامض في غلاف الحزمة الى احماض ثلاثية الكربون ثم الى مركب ال Pyruvate وهناك ينطلق CO_2 ليضاف الى RuBP لانتاج PGA وتستكمل دورة كالفن لانتاج السكريات

التي تنتقل الى الانسجة الوعائية الناقلة ، اما البايروفيت فيعود الى خلايا النسيج المتوسط مرة اخرى ليعيد تثبيت CO_2 . ومن هذه النباتات الذرة الصفراء والذرة البيضاء .

جوانب المقارنة بين نباتات ثلاثية الكربون ورباعية الكربون :

1- تحتوي نباتات رباعية الكربون على بلاستيدات خضراء في خلايا غلاف الحزمة الوعائية بينما لاتحتوي هذه الخلايا على بلاستيدات خضراء في نباتات ثلاثية الكربون .

2- تختلف البلاستيدات الخضراء في خلايا النسيج المتوسط لنباتات رباعية الكربون من الناحية الكيميوحيوية عن نباتات ثلاثية الكربون .

3- تثبيت CO_2 في نباتات رباعية الكربون يتم بمساعدة انزيم PEPcar الذي يكون احماض رباعية الكربون في خلايا النسيج المتوسط ثم تنتقل هذه الاحماض الى خلايا غلاف الحزمة لاكمال الدورة ، اما في نباتات ثلاثية الكربون فان تثبيت CO_2 يتم بمساعدة انزيم RuBPcar لتكوين مركب ثلاثي الكربون في خلايا النسيج المتوسط فقط .

4- البلاستيدات الخضراء الموجودة في خلايا غلاف الحزمة الوعائية في نباتات C4 تكون اكبر وفيها Grana اقل تطورا من البلاستيدات في خلايا النسيج المتوسط .

5- يعد انزيم PEPcar ذو قوة جذب اقوى لثاني اوكسيد الكربون من انزيم RuBPcar لذلك فان انزيم PEPcar يعمل بكفاءة اعلى في التراكيز المنخفضة من CO_2 .

6- تستخدم نباتات C_4 طاقة اكثر من الطاقة التي تستخدمها نباتات C_3 في تثبيت جزيئة واحدة من CO_2 .

العوامل المؤثرة في البناء الضوئي :

1- **الضوء** : ويقصد به تأثير كل من شدة الاضاءة ونوعية الضوء وطول الفترة الضوئية . تختلف النباتات بالقيام بعملية التمثيل الكربوني فتزداد هذه العملية بازدياد شدة الاضاءة ولكن الانواع

النباتية تختلف باستجابتها لشدة الاضاءة فنباتات الظل يتوقف استجابتها لشدة الاضاءة بسرعة اكبر من نباتات الشمس بينما نباتات الشمس تستجيب لشدة اضاءة اعلى ، فمثلا نباتات الذرة الصفراء وزهرة الشمس تستجيب لشدة اضاءة اعلى من نباتات اخرى مثل التبغ وذلك لاختلافها في مقدار اعتراضها للاشعة الشمسية واستجابتها لشدة الاضاءة . ان الضوء المرئي هو الاكثر فعالية من حيث التأثير بالتمثيل الكاربوني الا ان نوعية الضوء تعتبر الاقل اهمية بالمقارنة مع شدة الضوء وطول الفترة الضوئية . ان شدة الاضاءة لها علاقة بطول النهار فكلما زاد طول النهار زادت كمية الاشعة التي يتلقاها النبات ، كما ان شدة الاضاءة وطول الفترة الضوئية متعلقان بزاوية سقوط الاشعة الشمسية .

2- **تركيز CO_2** : يتأثر التمثيل الكربوني بجاهزية ثاني اوكسيد الكاربون وتفاعله مع شدة الاضاءة فيتجه منحنى التشبع الضوئي الى الاعلى كلما زادت جاهزئة ثاني اوكسيد الكربون ، وتختلف الانواع في معدل التمثيل الكربوني تحت اضاءة مشبعة تبعا للتغاير في تركيز ثاني اوكسيد الكربونان زيادة تركيز CO_2 يزيد معدل التمثيل الكاربوني وان استجابة نباتات الشمس تكون اكبر للزيادة في CO_2 من نباتات الظل . وان الانواع المختلفة تختلف ايضا في الاستجابة تبعا للاختلاف في المقاومة الحاصلة ضد دخول CO_2 مثل مقاومة الانتشار ومقاومة الثغور ومقاومة النسيج المتوسط وغيرها .

3- **درجة الحرارة** : ان تفاعل الضوء اي اثارة الكلوروفيل وانشطار الماء وتكوين ATP هي عمليات مستقلة عن الحرارة ولاتتأثر بها في مدى البيئة الطبيعية التي ينمو النبات بها . اما تفاعل الظلام فانه يعتمد على درجة الحرارة بسبب استجابة الانزيمات لدرجة الحرارة في تفاعل الظلام اذ ان ارتفاع الحرارة فوق الحدود الطبيعية يمكن ان يؤثر في فعالية الانزيمات او يغير تركيبها مما يسبب

توقف فعاليتها واعاقة تفاعل الظلام. ان صافي البناء الضوئي هو عبارة عن الفرق بين البناء الضوئي والتنفس ، وان صافي البناء الضوئي ينخفض بارتفاع الحرارة بسبب ارتفاع التنفس .

4- **الماء** : ان عجز تجهيز الماء يؤدي الى الذبول وانخفاض امتلاء الخلايا وانخفاض كفاءة التمثيل الكربوني لان الماء ضروري لدوره في تجهيز الهيدروجين وتوفير الطاقة الناتجة من فسفرة الماء .

5- **عمر الورقة وحالة العناصر الغذائية** : ان انخفاض تجهيز العناصر الغذائية يؤدي الى سرعة شيخوخة الاوراق وانخفاض التمثيل الكربوني بسبب انخفاض محتوى الورقة من الكلوروفيل والعناصر الغذائية خاصة النتروجين الذي يزيد التمثيل الكربوني والبوتاسيوم الذي يزيد فتح الثغور لدخول CO_2 .ان التجهيز الكافي للعناصر الغذائية للاوراق القديمة والحديثة يديم اخضرار الاوراق ويحافظ على مستويات عالية من التمثيل الكربوني اما اذا كان تجهيز العناصر المغذية محدودا فالافضلية تكون للاوراق الحديثة في توزيع العناصر الغذائية مما يسبب خفض التمثيل الكربوني الكلي في النبات بسبب تعطيل دور الاوراق القديمة اي السفلية في هذه العملية بسبب عدم كفاية العناصر المغذية .

6- **محتوى النبات من الكلوروفيل** : يكون محتوى النبات من الكلوروفيل عاملا محددا للتمثيل الكربوني خاصة في ظروف الاضاءة المنخفضة بسبب تأثر تفاعل الضوء بالمحتوى الكلوروفيلي الذي يقوم بتثبيت الطاقة الضوئية في هذا التفاعل .

ماهو التمثيل الكربوني الظاهري Aperient Photosynthesis ؟ هو عبارة عن ثاني اوكسيد الكربون المثبت وهو يمثل الفرق بين ثاني اوكسيد الكربون المستخدم في التمثيل الضوئي وثاني اوكسيد الكربون المتحرر من التنفس.

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة الخامسة

النمو والنشوء Growth and Development

النمو Growth :

هناك عدة تعاريف للنمو لكل منها محاسنه وعيوبه ، واهم هذه التعاريف هي :

1- النمو هو عبارة عن الزيادة في الوزن الجاف الذي يعبر عن زيادة الوزن الجاف للعضو او الكائن الحي .

2- النمو هو عبارة عن زيادة عدد الخلايا عن طريق الانقسام Cell Division

3- النمو هو عبارة عن مضاعفة المادة الحية (مضاعفة البروتوبلازم)

4- النمو هو الزيادة الدائمة في الحجم

مراحل نمو وتميز جسم النبات :

1- **النمو Growth** : وهو عبارة عن الزيادة في حجم النبات ويشمل :

أ- **الانقسام الخلوي Cell Division** : وهو عبارة عن الانقسام الخيطي المستمر للخلايا وزيادة اعداد الخلايا . وان مستوى واتجاه الانقسام لهذه الخلايا له علاقة مهمة في تحديد الشكل الخارجي للعضو النباتي

ب- **اتساع الخلايا Cell Elongation** : وهو عبارة عن زيادة حجم الخلايا والتي لها علاقة بالمحتوى المائي للخلايا وتأثير منظمات النمو

2- **التميز او التخصص Cell Differentiation** : وهو عبارة عن تحول الخلايا المنقسمة او المتسعة الى خلايا متخصصة باداء وظيفة معينة ضمن جزء نباتي مثل الخشب واللحاء والخلايا الحارسة في الثغور وغيرها.

3- **تراكم المادة الجافة Dry Matter Accumulation** : وهو عبارة عن زيادة المادة الجافة في الانسجة والاعضاء المختلفة والناتجة عن تراكم نواتج البناء الضوئي وتوزيعها في جسم النبات او خزنها في الاجزاء الخازنة من النبات .

طرق قياس النمو : يقاس النمو بالطرق الاتية :

1- **قياس الطول** : وذلك بقياس طول النبات او الفروع او الجذور في فترات زمنية متعاقبة .

2- **قياس الوزن** : يتم بقياس اما الوزن الطري وهو غير دقيق او بقياس الوزن الجاف للنبات او الجزء النباتي في فترات زمنية متعاقبة .

3- **قياس مساحة الاوراق** : وذلك بحساب مساحة الاوراق باستخدام معادلات خاصة بكل محصول وتؤخذ كدليل للنمو .

4- **قياس النتروجين الكلي والبروتين الكلي** : وذلك بقياس محتوى النبات او الجزء النباتي من النتروجين او البروتين باستخدام اجهزة قياس او اجهزة تحليل خاصة بهذه المواد او المحتويات .

العوامل الضرورية والمؤثرة في النمو :

1- **درجة الحرارة Temperature** : ان التباين في درجات الحرارة يحدد المجالات المناخية التي يحتمل ان يعيش ويبقى المحصول ضمنها وتشمل درجات الحرارة الاساسية المؤثرة في النمو وتشمل

أ- **الحد الاعلى (درجة الحرارة العظمى)** : وهو اقصى حد من درجات الحرارة يمكن ان ينمو فيه النبات ، ويتوقف النمو اذا تجاوزت درجة الحرارة هذا الحد .

ب- **الحد الادنى (درجة الحرارة الصغرى):** وهو اقل حد من درجات الحرارة يمكن ان ينمو فيه النبات ويتوقف النمو اذا انخفضت درجات الحرة عن هذا الحد .

ت- **الحد الامثل (درجة الحرارة المثلى) :** وهو درجة الحرارة التي يحدث فيها اقصى نمو للنبات .

2- **الضوء Light** : تؤدي زيادة شدة الاضاءة وطول فترة الاضاءة الى زيادة البناء الضوئي والذي يوفر غذاء اكثر للنمو . لذلك فان المواد العذائية المتمثلة تتوفر بمعدلات عالية ، تستخدم للنمو والمواد الزائدة تخزن في اعضاء النبات .

3- **الكاربوهيدرات والاوكسجين Carbohydrates and Oxygen** : ان الكاربوهيدرات والاوكسجين مهمان معا للنمو لانهما يمثلان الطاقة الرئيسية اللازمة للنمو

4- **النتروجين والمعادن Nitrogen and Minerals** : يعمل النتروجين والمعادن كوحدات بنائية في عدد من مكونات النمو

5- **الماء Water** : يعمل الماء على توفير وسط التفاعلات للعمليات الحيوية في النبات ويلعب دورا رئيسيا في امتلاء الخلايا الضروري لتوسعها

6- **منظمات النمو Growth Regulators** : يتحفز نمو الاجزاء المختلفة للنبات بواسطة تراكيز قليلة من منظمات النمو

مميزات الخلايا المرستيمية :

1- صغيرة الحجم .

2- ذات سايتوبلازم كثيف .

3- متناظرة الشكل .

4- جدرانها الخلوية رقيقة .

5- ذات نواة كبيرة وقليلة الفجوات .

6- ذات قدرة عالية على الانقسام واضافة خلايا جديدة ذات قدرة على الاتساع والتخصص في حين تبقى الخلايا المرستيمية على حالها من حيث الشكل والقدرة السريعة على الانقسام .

هناك عدة انواع من الانسجة المرستيمية اهمها :

1- **الانسجة المرستيمية القمية : Apical meristems** : وهي انسجة ذات قابلية على الانقسام تقع في اطراف السيقان والجذور والاغصان والتي تسبب النمو الطولي للنبات

2- **الانسجة المرستيمية الجانبية Lateral meristems** : وهي انسجة ذات قابلية على الانقسام وتوسيع عرض او قطر العضو النباتي وتكون هذه الانسجة محاذية وموازية لمحور العضو النباتي وتؤدي الى النمو الجانبي .

3- **الكامبيوم الوعائي Vascular cambium** : وهي انسجة مرستيمية تمتد بين الخشب واللحاء وينشأ منهما

4- **المرستيم البيني Intercalary meristems** : وهو نسيج مرستيمي فعال يقع بعيدا عن القمة ويوجد في نباتات الحشائش في قاعدة السلاميات ويساعد في استطالة النباتات العشبية والمحاصيل النجيلية ، كما يساعد في اعادة النباتات الى حالتها الطبيعية بعد تعرضها الى الاضطجاع .

النمو المحدود : وهو نمو النبات او الجزء النباتي لحد معين ثم يتوقف نمو هذا الجزء بعد فترة معينة او بعد الوصول الى عمر او حجم معين وبعد ذلك تحدث الشيخوخة او التدهور، كما في نمو الاوراق والازهار . كما ان بعض النباتات او المحاصيل تعتبر ذات نمو محدود في حالة نموها خضريا مستمرا لغاية اكتمال النمو الخضري ووصول النبات الى اقصى حد من نمو الجذور والسيقان والاوراق ثم يبدأ النمو الثمري او الزهري اي ينتقل من النمو الخضري الى النمو التكاثري مثل محاصيل الحنطة والشعير .

النمو غير المحدود : وهو استمرار نمو الاجزاء بدون توقف بسبب وجود الانسجة المرستيمية التي تعوض الانسجة المتدهورة كما في السيقان والجذور ، كما ان بعض النباتات والمحاصيل تعتبر ذات نمو غير محدود عندما تبدأ بالنمو التكاثري اي تكون الازهار والثمار مع استمرار النمو الخضري اي استمرار استطالة الساق وتكون الاوراق مثل السمسم وفول الصويا .

منحنيات النمو :

1- المنحنى الحيوي (منحنى النمو لسكمويد) Sigmoid Growth Curve :

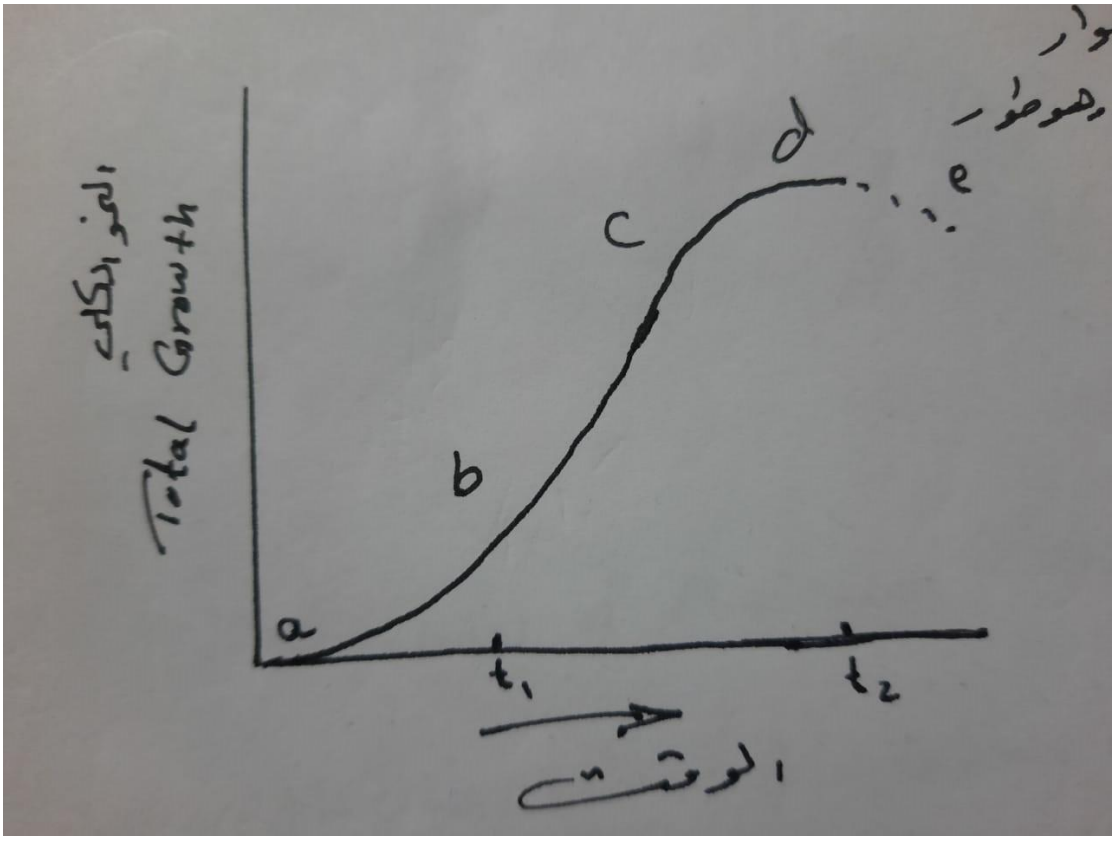
يعطي مخطط منحنى النمو لانقسام الخلايا في البكتريا وحيدة الخلية منحنا نموذجيا بشكل حرف S يسمى Typical S- sigmoid curve ونتيجة لهذا الانقسام تتضاعف الخلية الى خليتين ثم الى اربع خلايا ثم الى ثمان خلايا وهكذا بوتيرة هندسية متصاعدة . يكون النمو الابتدائي بطيئا لقلة عدد الخلايا المنقسمة وباستمرار الانقسام تصل الى مرحلة النمو السريع التي تسمى بفترة النمو العظمى Period grand growth وبمرور الوقت فان المنافسة على المكان والمغذيات والعوامل الاخرى قد تحدد الانقسام اونمو الخلايا لذلك فان المنحنى سيبقى بمستوى ثابت .

ان تكوين شكل S كمنحنى للنمو (منحنى نمو سكمويد) هو نموذج لنمو الخلايا المفردة في النبات وانسجته واعضاءه المختلفة وللمجتمعات النباتية ايضا .

ان هذا المنحنى يتكون من خمسة اطوار مميزة هي:

1- الطور A : وهو طور خامل تحدث فيه التحضيرات للنمو السريع
2- الطور B : في هذا الطور يكون زيادة معدل النمو زيادة لوغاريتمية وعندما ترسم مقابل الزمن تعطي زيادة بشكل خط مستقيم خلال هذه الفترة لذلك يعرف هذا الطور بانه طور النمو اللوغاريتمي او طور النمو العظيم .
3- الطور C : وهو الطور الذي تتناقص فيه سرعة النمو بصورة تدريجية .
4- الطور D : هو الطور الذي يصل فيه النبات الى طور النضج والتي يتوقف عندها النمو
5- الطور E : هو الطور الذي يصل فيه النبات الى طور الشيخوخة ويقترب من نهاية حياته .

ان الاعتماد الاساس في محاولات تطوير نمو النبات هو على الطور الثاني B اي الطور اللوغاريتمي الذي يمثل طور الربح المركب والتراكمي حيث تكون الزيادة في النمو لوقت محدد مضافة الى النمو السابق وبمجمل هذا النمو الجديد بدء نمو جديد يكون معتمدا على ماوصل اليه النبات من نمو ، لذلك عند حدوث نقص في المغذيات او حدوث اجهاد خلال الفترة من t1 الى t2 خلال فترة النمو اللوغاريتمي قد تغير من شكل منحنى النمو ويكون هناك محددات للنمو الطبيعي بشكل مؤثر خلال هذه الفترة والفترات اللاحقة ، لذلك فان الزيادة في توفير عوامل النمو للنباتات خلال الطور الثاني قد تحسن من أداء النبات وانتاجه ولكن هذا التحسين لايستمر بخط مستقيم او مالانهاية بسبب محددات العوامل الوراثية ومحددات العمليات الحيوية والعوامل الخارجية وخاصة الظروف المناخية .



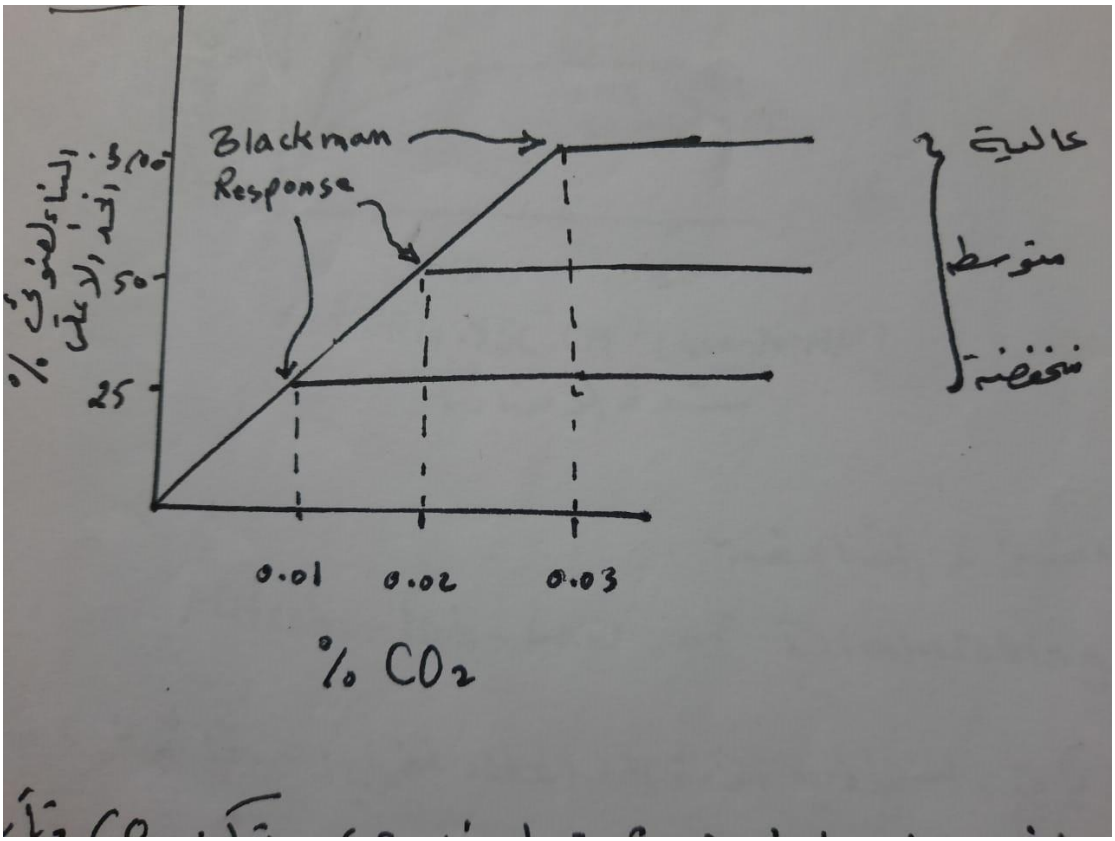
2- قانون ليبك للحد الادنى Liebig- law of minimum :

وضع العالم الالماني ليبك القانون التالي * نقص او غياب عامل ضروري او مغذي لنمو النبات مع وجود العوامل الاخرى يترك الارض جرداء من المحاصيل التي تحتاج وجود ذلك العامل او العنصر المغذي * . لقد سمي هذا القانون بقانون البرميل الخشبي لكون البرميل الخشبي يتكون من عدة أضلاع خشبية فان البرميل لايمكن ان يحتفظ باي شيء اعلى من الضلع الاقصر ، كذلك فان النمو لايمكن ان يكون اكثر مما يسمح به العامل المحدد المتواجد في البيئة التي ينمو فيها النبات او غير المتواجد أصلا في تلك البيئة ، اي اذا توافرت جميع عوامل الانتاج بشكل مثالي ماعدا عامل واحد فيه نقص او غير متواجد فان الحاصل سوف يتناقص الى الحدود التي يسمح بها توافر العامل الاقل توفرا .

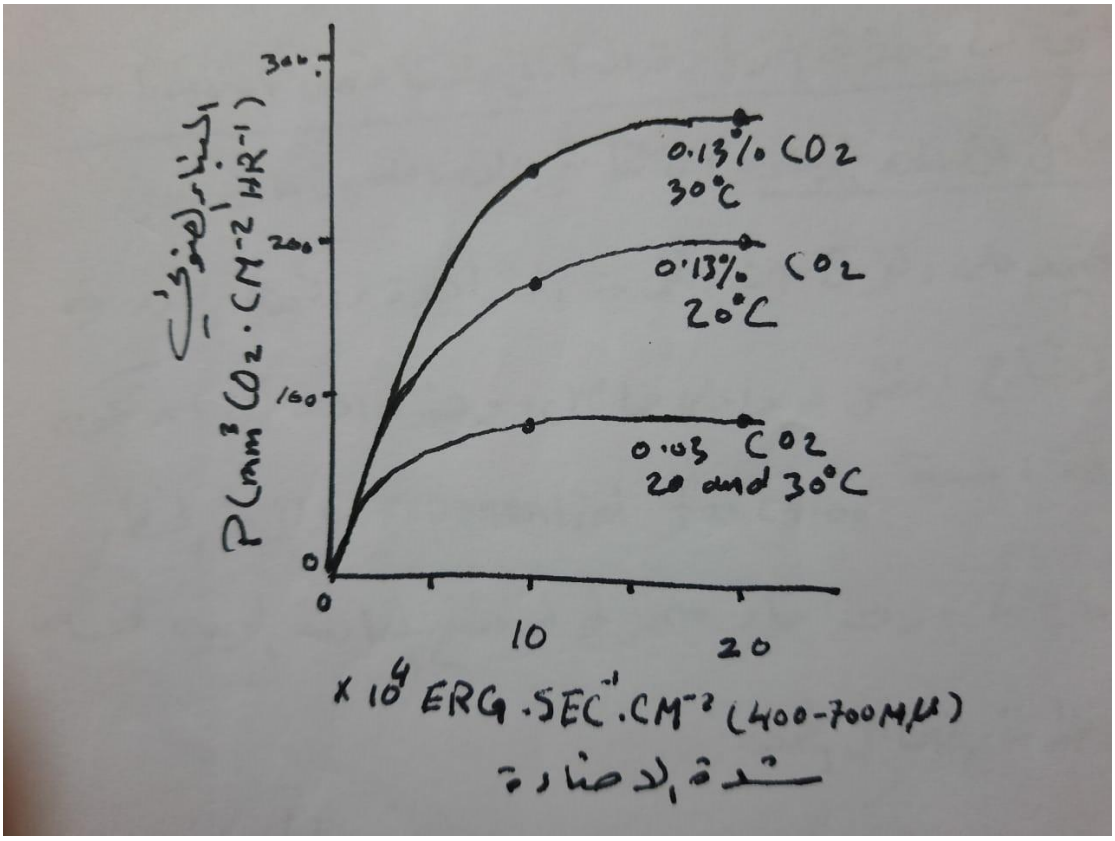
ان هذا القانون مفيد في التركيز دائما على ايجاد التوازن بين عوامل النمو وتحديد العامل الناقص او الاقل توفرا وزيادته لضمان زيادة النمو وزيادة الانتاج .

3- المثالية والعوامل المحددة لبلاكمان Blackman – Optimum and Limiting Factors

اقترح Blackman القانون * عندما تكون اي عملية معتمدة في سرعتها على عدد من العوامل المختلفة فان سرعة العملية تكون محددة بسرعة أبطأ عامل او بمقدار توفر أقل عامل *



ففي الشكل أعلاه يوضح تداخل عاملي الضوء (شدة الاضاءة) وتركيز CO2 وتأثير هذا التداخل بالتمثيل الكربوني ، فحسب مفهوم Blackman فان الاستجابة تستمر حتى تنقطع فجأة عندما يصبح احد العاملين محددا وان هذا الانقطاع يطلق عليه Blackman response استجابة بلاكمان . ان الاستجابة الحقيقية لاتكون بشكل خط مستقيم ثم يحدث قطع فجائي كما في الشكل أعلاه ، ولكن الاستجابة الحقيقية خطية منحنية Curvilinear ولاينقطع بزوايا حادة كما في الشكل التالي :



فالعلاقة بين شدة الاضاءة ودرجة الحرارة وتركيز CO2 وتأثيرها في التمثيل الكربوني في احدى الدراسات سلكت السلوك الموضح بالشكل أعلاه الذي يوضح بان الاستجابة كانت متباينة بحسب توفر العوامل الثلاثة وان العلاقة خطية منحنية ولم يحدث بها قطع مفاجيء.

قانون مجرلج للعوائد المتناقصة Mitscherlich – law of diminishing returns :

ان اضافة المغذيات السمادية تؤدي الى اعطاء منحنى استجابة نموذجية اذ تحدث اكبر استجابة عند اضافة السماد للترب ذات المستويات الخصوبية الواطئة في حين تكون الاستجابة اقل في الترب الاكثر خصوبة او ذات الخصوبة العالية ، ان هذه الملاحظة اصبحت معروفة بما يسمى قانون العوائد المتناقصة والذي وضع من قبل Mitscherlich بالصيغة التالية * ان الزيادة في الحاصل الناتجة من وحدات الزيادة في العامل المتناقص تكون متناسبة مع انخفاض وحدات العامل المتناقص عن الحد الاعلى * اي عند تجهيز النبات بكميات مناسبة من جميع العناصر باستثناء عنصر محدد واحد فان نمو النبات يتناسب مع كمية العنصر المحدد الذي جهز للتربة وان النمو يزداد كلما اضيفت كميات اخرى من العنصر المحدد ولكن الزيادة لاتكون متناسبة مع الكميات المضافة من عامل النمو كما هي الحال عند الاضافة الاولى . ان تأثير الاضافة من عامل معين على الزيادة في النمو تعتمد على الفرق بين الكمية المتواجدة والكمية الضرورية اللازم اضافتها من العامل المحدد لانتاج افضل نمو واعلى حاصل وهذا ادى الى ان يعبر عن العلاقة بانها علاقة

اسية Exponential function بدلا من علاقة الخط المستقيم الذي وضعه Liebig وهذا قاد Mitscherlich لوضع المعادلة الاتية لحساب الزيادة في الحاصل بزيادة وحدات العامل المحدد :

$$\text{Log } (100 - y) = \log 100 - c\ (x)$$

حيث ان :

y = الحاصل الذي يتحقق من اضافة كمية من العامل X

X = العامل المحدد

C = ثابت (0.301)

فاذا كان x = صفر فان الزيادة المتحققة بالحاصل تكون صفر

$$\text{Log } (100 - y) = \log 100 - 0.301\ (0)$$

$$\text{Log } (100 - y) = 2 - 0$$

$$100 - y = 100 - 0$$

$$y = 100 - 100 = 0$$

اي اذا لم تضاف اي وحدات من العامل المحدد X فان الزيادة المتحققة بالحاصل الناتجة عن الاضافة تساوي صفر

اذا كان X = 1

$$\text{Log } (100 - y) = \log 100 - 0.301\ (1)$$

$$\text{Log } (100 - y) = 2 - 0.301$$

$$\text{Log } (100 - y) = 1.699$$

$$100 - y = 50$$

$$Y = 100 - 50 = 50$$

اي اذا اضيفت وحدة واحدة من العامل X فان قيمة الزيادة في الحاصل سوف تكون 50% من اعلى حاصل (100 %)

اذا كان X = 2

$$\text{Log } (100 - y) = \log 100 - 0.301\ (2)$$

$$\text{Log } (100 - y) = 2 - 0.602$$

$$\text{Log } (100 - y) = 1.398$$

$$100 - y = 25$$

$$Y = 100 - 50 = 75$$

اي اذا اضيفت وحدة واحدة من العامل X فان قيمة الزيادة في الحاصل سوف تكون 75% من اعلى حاصل (100 %) والتي تمثل الزيادة 50% المتحققة من اضافة الوحدة الاولى و25% المتحققة من اضافة الوحدة الثانية . اما اذا اضيفت ثلاث وحدات فان الزيادة المتحققة من الوحدة الثالثة تساوي 12.5 وتضاف لها 75% والتي تمثل الزيادة المتحققة من الوحدتين الاولى والثانية وبذلك تكون الزيادة الكلية المتحققة من اضافة ثلاث وحدات من العامل المحدد 87.5%

هل ان منحنيات النمو في النباتات الراقية تنطبق مع النموذج الرياضي دائما ؟

ان منحنيات النمو في النباتات الراقية لاتنطبق تماما مع النموذج الرياضي او النموذج القياسي المقترح من قبل الباحث دائما وذلك للاسباب التالية :

1- لايمكن تحديد الحالة الثابتة لتجهيز الغذاء لانها تنضب تدريجيا وغالبا ماتستنفذ بحيث تصبح هذه الحالة من الامور المحددة للنمو وتسبب تغيير في منحنى النمو القياسي ولاتتناسب مع الاسلوب الرياضي . ففي النباتات النامية تكون الاوراق هي المصنع للغذاء والتي تزود باقي الاجزاء النباتية به كالجذور والسيقان والازهار والثمار ، وتكون هذه الاوراق ذات نسبة مرتفعة لباقي اجزاء النبات في المراحل الاولى من النمو ، وعند زيادة حجم الاجزاء النباتية الاخرى وتطورها تزداد حاجتها للغذاء وتنخفض نسبة الاوراق الى الاجزاء النباتية الاخرى وبذلك تنخفض مقدرة الاوراق على تجهيز الغذاء للنبات بأكمله تدريجيا وتصبح عملية تجهيز الغذاء لاتتفق مع معدل النمو الرئيسي ، وتحت هذه الظروف ينخفض معدل النمو النسبي اكثر فأكثر مما في المنحنيات القياسية ويحدث الانخفاض بوقت ابكر عند وجود عامل محدد بشكل اكبر او وجود اكثر من عامل محدد او وجود عامل شد داخلي او خارجي ويمكن ان يصل معدل النمو الى الصفر عند موت الاوراق .
2- عدم استمرار جميع الخلايا بالانقسام اذ ان بعضها واحيانا اغلبها تتميز وتتحول الى خلايا متخصصة وتتوقف عن المشاركة في النمو رغم نمو النبات ككل وكلما زاد حجم النبات وتقدم عمره يزداد عدد هذه الخلايا التي لاتشارك بالنمو .
3- التباين في مساهمة الخلايا في اعداد الانقسامات وفي التوسع اثناء النمو
4- ان الحد الاقصى لعدد الخلايا وتوسعها وبالتالي حجم النمو قد يتحدد وراثيا ، اي ان اعضاء النبات تتحفز للنمو لحجم معين او عدد معين ثم تتوقف نتيجة السيطرة الوراثية على الرغم من توفر جميع عوامل النمو
5- تأثير العوامل الخارجية والداخلية في النمو بطرق متعددة ليست على علاقة بتجهيز الغذاء فمثلا البادرات النامية في الظلام تكون اطول من التي تنمو في الضوء مع توفر عوامل النمو في الحالتين . لماذا ؟

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة السادسة

الشد Stresses

الشد Stress هو الفعل Action الذي يسبب الاجهاد Strain او ردة الفعل Anti-Reaction، وفي عالم الاحياء يعني الشد اي عامل بيئي غير ملائم للنمو له المقدرة على احداث الاجهاد الضار Injurious strain .

الاجهاد Strain : عبارة عن المظاهر الناجمة عن حدوث الشد. ان الاجهاد الحيوي لايعني بالضرورة تغير الخصائص المظهرية والمواصفات الشكلية للكائن الحي ، فقد يظهر الكائن الحي اجهادا فيزيائيا مثل توقف الانسياب السايتوبلازمي او اجهادا كيميائيا في ايض الكائن الحي .

ان الاجهاد البايولوجي يختلف عن الاجهاد الميكانيكي بنقطتين اساسيتين :

- الاجهاد الميكانيكي يقاس بوحدات القوة، بينما الاجهاد البايولوجي فيقاس بوحدات الطاقة يرتبط مفهوم الشد في عالم الاحياء مع امكانية حدوث ضرر بمعنى امكانية حدوث اجهاد غيرعكسي Irreversible strain .

وعليه يمكن تعريف الشد البايولوجي بانه اي عامل بيئي له المقدرة على احداث اجهاد ضار في الكائنات الحية بمعنى الاجهاد غير العكسي.

- ان الكائنات الحية قادرة على التأقلم للظروف غير الطبيعية بمعنى انها تستطيع تغيير درجة التأثر او انها تتغير بحيث تقلل او تمنع الاجهاد ، ويمكن ان يحدث ذلك بزيادة المقاومة غير العكسية ، مما يعني بان هناك نوعين من الاجهاد:

الاجهاد البيولوجي العكسي : وهو امكانية رجوع التغيرات في وظائف الكائن الحي الى الحالة الطبيعية عند زوال الشد والظروف المؤثرة وعودة الظروف الملائمة للكائن الحي

الاجهاد البيولوجي غير العكسي : وهي الحالة من الاجهاد التي لاترجع فيها وظائف الكائن الحي الى الحالة الطبيعية .

مما تقدم يمكن ان نصل الى الاسس التالية فيما يخص الشد والاجهاد:

- الشد يعني الفعل والاجهاد يعني رد الفعل.
- الشد البيولوجي قد يسبب اجهادا غير عكسيا او اجهادا تضرريا .

- الاجهاد لايعني بالضرورة التغير في الابعاد والخصائص الشكلية
- تمتلك كافة الكائنات الحية مقاومتها الذاتية للتغيرات الفيزيائية والكيميائية .

الجفاف Drought :

هو النقص الحاصل في الماء المتيسر والجاهز في التربة (وجود شد مائي) والذي بدوره يؤدي الى نقص الماء في النبات بدرجة تؤثر في النمو الطبيعي للنبات .

العوامل التي تؤدي الى زيادة تأثير الشد المائي (الجفاف) في النبات تشمل :

- انخفاض الرطوبة النسبية في الجو ، فكلما انخفضت الرطوبة النسبية الجوية في ظروف نقص الماء في التربة فأن التأثيرات السلبية الناجمة من نقص الماء تزداد ، ويزداد التأثير السلبي في العمليات الحيوية والنمو للنبات بزيادة مستوى الشد.
- ارتفاع درجة الحرارة ، لكون ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى ارتفاع معدل النتح وفقد الماء من النبات فتزداد التأثيرات السلبية لنقص ماء التربة في نمو النبات.
- الرياح ، اذ ان زيادة سرعة الرياح في ظروف نقص ماء التربة يزيد التأثيرات السلبية في النبات ، بسبب دور الرياح في ازاحة بخار الماء الخارج من ثغور النبات مما يسهم في وجود فرق عالي بالضغط البخاري بين انسجة النبات والجو المحيط به مما يديم ويعجل من عملية النتح وفقد الماء من النبات .

تصنيف النباتات بحسب احتياجاتها المائية :

- Hydrophyte Plants: وهي النباتات التي تنمو في البيئات التي يتوفر فيها الماء وعادة تتميز بتحمل منخفض للشد المائي وتتأثر بشدة به .
- Mesophytes Plants : وهي النباتات التي تنمو في البيئات ذات الكميات المعتدلة من المياه وهي يمكن ان تتكيف بشكل أفضل من المجموعة الاولى لظروف الشد المائي
- Xerophytes Plants : وهي النباتات التي تنمو في البيئات القليلة المياه ، وهذه النباتات تكون الافضل في تحملها لظروف الشد المائي .

انواع التكيف لظروف الشد المائي (الجفاف) :

- الهروب من الجفاف Escaping : وهو عبارة عن لجوء النبات الى اكمال دورة حياته بفترة قصيرة واعطاء الاجزاء الثمرية بمدة قصيرة تحت ظروف الشد المائي ونقص الماء في التربة وذلك لعدم مقدرة هذه النباتات على تحمل ظروف نقص الماء والاستمرار بأداء فعالياته الحيوية بشكل طبيعي مما يدفعه الى تغيير التوازن الهرموني والتعجيل بالتحول من النمو الخضري الى الزهري والثمري لاكمال دورة حياته بمدة أقصر.

- تجنب الجفاف Drought Avoidance : وهو عبارة عن مقدرة النبات على التعايش مع ظروف الشد المائي وتجنب تأثيراته الضارة عن طريق الاحتفاظ بمحتوى مائي عالي داخل انسجة النبات واستخدامه عند حدوث نقص الماء ومما يساعد النبات على هذه الالية كبر حجم المجموع الجذري وتعمقه في التربة والاحتفاظ بالماء وتقليل معدل النتح.
- تحمل الجفاف Drought Tolerance : وهو عبارة عن مقدرة النبات على التعايش مع ظروف نقص الماء بالرغم من وجود محتوى مائي منخفض في انسجة النبات والاحتفاظ بمستوى مقبول من العمليات الحيوية تحت ظروف الشد المائي والاحتفاظ بضغط اوزموزي عالي داخل الخلايا للمساعدة على امتصاص الماء من التربة .

الشد المائي Water stress :

هو احد انواع الشدود البيئية غير الحيوية Abiotic ، ويقصد بالشد المائي هو الشد الناجم عن قلة او زيادة الماء في محيط النبات بشكل يؤثر سلبيا على النمو الطبيعي للنبات وعلى الفعاليات الحيوية والانتاجية .الا ان التركيز في هذا المجال يتجه نحو نقص الماء لاسيما في النباتات الزهرية **لذلك تستخدم عدة مصطلحات للتعبير عن هذا النوع من الشد تشمل** :

- الشد الجفافي Drought stress : وهو نوع من الشد المائي والذي يسببه عجز الماء (نقص الماء) في محيط النبات دون زيادته .
- الشد التجفيفي Desiccation stress : وهو نوع من الشد الناتج عن الفقدان السريع للماء من النبات نتيجة التبخر او النتح .

يؤدي الشد المائي بصورة مباشرة الى تغيرات في البيئة الطبيعية للنباتات بصورة عامة وبالتالي أحداث تغيرات فسلجية في النبات ، وعند جفاف التربة فان الجهد المائي لماء التربة يشهد نقصانا (يصبح اكثر سالبية) تعتمد درجته على مستوى الشد في التربة وبالتالي يصبح من الصعوبة استخلاص الماء من قبل جذور النباتات بعملية الامتصاص وبالتالي فأن جهد الماء في النبات يشهد اختزالا يعتمد في شدته على مستوى الشد المائي في التربة ، وهذا الاختزال يعتمد بدوره على تأثير الشد المائي في مكونات الجهد المائي لخلايا النبات لكونه محصلة الجهد الاوزموزي والضغطي في الخلية وان هبوط قيمة الجهد المائي تعني تغير في مكوناته (الاوزموزي والضغطي) اما احدهما او كلاهما ، ويعتمد ذلك على نوع النبات والظروف المؤثرة في النبات وظروف عجز الماء في التربة . وعموما فان الشد المائي يسبب هبوط في الجهد الاوزموزي واختزالا في الجهد الضغطي ونتيجة لذلك فان الجهد المائي للخلية النباتية سوف يعاني هبوطا يعتمد على مستوى الشد المائي في التربة ومدى تأثيره في الحالة المائية لخلايا النبات . ان اختزال الجهد المائي يعني تراكم مواد ذائبة عضوية وغير عضوية مثل البروتينات الذائبة والاحماض الامينية والاحماض العضوية

والسكريات الاحادية وغيرها . كما ان اختزال الجهد الضغطي او الجهد الانتفاخي قد يحدث نتيجة تغيرات في خصائص الجدران الميكانيكية مثل مقدرة الجدار الخلوي على الاتساع وهذا بدوره يؤدي الى خفض عملية الاستطالة الخلوية . ان ظروف عجز الماء في التربة وما يرافقه من هبوط في الجهد المائي للانسجة النباتية يؤدي الى حدوث اضرار فسلجية كبيرة للنبات والتي تسبب خفض النمو والانتاج .

مستويات الشد المائي في النبات :

- الشد الطفيف Mild stress : ينخفض الجهد المائي في هذا المستوى من الشد وحدات قليلة من وحدات الجهد المائي مقدرة بالبار او حدوث نقص بنسبة 8-10% نزع للماء تحت التشبع وفي هذه الحالة تفقد الخلايا القليل من انتفاخها .
- الشد المعتدل Moderate stress : في هذا المستوى من الشد المائي ينخفض الجهد المائي للخلية النباتية بأقل من 15 بار او نقص مقداره 10-20% نزع للماء تحت التشبع ، وفي هذه الحالة يحدث انخفاض وفقدان في انتفاخ الخلايا وتظهر علامات ذبول على الاوراق .
- الشد الشديد او القاسي Severe stress : ينخفض الجهد المائي للخلايا في هذا المستوى من الشد بأكثر من 15 بار ويؤدي الى نقص كبير في ماء التشبع ، وفي هذه الحالة تفقد الخلايا انتفاخها بصورة تامة .

ان الشد المائي يسبب غلق جزئي او كلي للثغور بحسب درجة الشد وبالتالي فان ذلك يؤدي الى خفض او قطع تجهيز ثاني اوكسيد الكربون اللازم لعملية التمثيل الكربوني . وان زيادة الشد المائي من الطفيف الى المعتدل يسبب :

- تأثيرات سلبية في البناء الحيوي للبروتينات .
- تأثيرات سلبية في بناء الكلوروفيل لشدة حساسيتها للشد المائي .
- هبوط في نشاط بعض الانزيمات خاصة Nitrate reductase
- اضطراب في ايض هورمونات النمو وتمثل ثاني اوكسيد الكربون .

وعند انتقال الشد المائي من المعتدل الى القاسي تحدث التأثيرات السابقة الذكر بالاضافة الى ما تقدم

- زيادة معدلات التنفس.
- تراكم السكريات
- تراكم البرولين Prolin والكلايسين بيتان Glycin petane

التغيرات العامة الناجمة من الشد المائي :

التغيرات التشريحية : وتشمل :

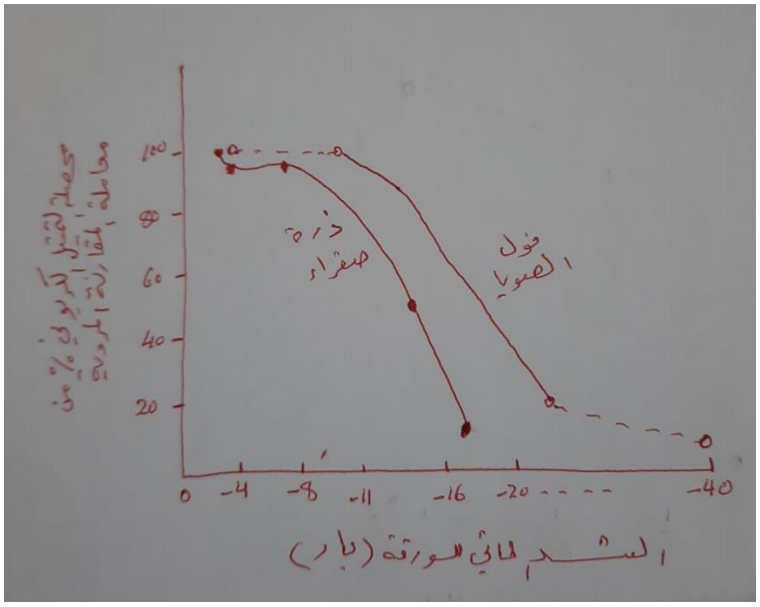
- ❖ تكوين خلايا صغيرة الحجم في النبات
- ❖ زيادة طول العروق
- ❖ انخفاض عدد الثغور في وحدة المساحة الورقية
- ❖ زيادة سمك الجدران الخلوية
- ❖ زيادة ترسب المواد الشمعية على الجدران الخلوية المجاورة للمسافات البينية
- ❖ تطور اكبر للانسجة الميكانيكية الداعمة .

ان هذه التغيرات التشريحية تؤدي الى تأثر الاعضاء النباتية بدرجات مختلفة وبالشكل التالي:

- يحصل انخفاض في نسبة المجموع الخضري الى المجموع الجذري
- انخفاض نسبة الاوراق نسبة الى اعضاء النبات الاخرى

تأثر الاوراق يكون اكبر من السيقان والسيقان اكثر تأثرا من الجذور

ان تأثر المحاصيل بالشد المائي يختلف من محصول الى محصول اخر فقد وجد ان محصول فول الصويا لم يتأثر بشكل كبير الا بعد ان وصل مستوى الشد المائي الى (-11) بار بينما تأثرت الذرة الصفراء عند وصول مستوى الشد المائي الى (- 3.5) بار وهذا الاختلاف في الاستجابة للشد المائي كان سببه الاختلاف في مدى استجابة الثغور لمستوى الشد المائي عن طريق غلق الثغور كما في الشكل



التغيرات الايضية : تحصل هذه التغيرات نتيجة الشد المائي والتي تشمل :

- زيادة تركيز البروتوبلازم
- زيادة سرعة التنفس في بداية الشد المائي ثم ينخفض التنفس الى مستوى أقل من التنفس في النسيج الممتليء
- انخفاض انتاج الطاقة في النبات بسبب انخفاض مستوى التنفس
- ارتفاع مستوى الفعاليات التحليلية مثل هدم المواد الحيوية ولاسيما النشأ والبروتين والاحماض النووية
- انخفاض معدلات التمثيل الكربوني الذي يزداد انخفاضا بزيادة مستوى الشد المائي
- انخفاض محتوى النبات من الكلوروفيل والسكريات
- ارتفاع نسبة انتاج الاثيلين وحامض الابسيسك Abscisic acid

التكيف لتحمل الجفاف المتكرر :

ان اجتياز النبات لظروف الجفاف المتكرر يجعل النبات أكثر تحملا للجفاف بفعل التغيرات التي تحدث في النباتات وتشمل هذه التغيرات مايلي :

- زيادة لزوجة البروتوبلازم
- المحافظة على معدلات عالية من التمثيل الكربوني
- حدوث تكيفات مورفولوجية تساعد في تحمل الجفاف
- انخفاض معدلات التنفس والاكتفاء بمعدلات منخفضة من الطاقة مع الحفاظ على مستويات مقبولة من الفعاليات الحيوية بأستخدام هذه الطاقة المتوفرة
- زيادة نسبة الجذور في النبات

كيف تتحمل النباتات العصارية الشد المائي :

ان النباتات العصارية مثل الصبير Succulent Plant تتحمل ظروف الشد المائي بفعل عدة أساليب من خلال العديد من التغيرات المورفولوجية والعمليات الحيوية والتي تشمل :

- خزن كميات كبيرة الماء في انسجتها
- استلام كمية كافية من CO_2 ليلا واجراء تفاعلات الظلام ليلا بمستويات عالية
- وجود طبقة كيوتكل سميكة تغطي بشرة الاوراق لغرض تقليل فقد الماء
- فتح الثغور ليلا لتبادل الغازات وخاصة دخول CO_2 اللازم للتمثيل الكربوني وغلق الثغور نهارا لتقليل معدلات النتح والمحافظة على المحتوى المائي في النبات
- تعمق الجذور للحصول على الماء من أعماق التربة والاستمراربأمتصاصه

- صغر حجم ومساحة الاوراق وخفض اعداد الثغور لخفض معدلات النتح
- غور الثغور في سطح الاوراق لتقليل تعرض الثغور الى الرياح والضوء لتقليل النتح
- وجود بعض الشعيرات على اسطح الاوراق لتظليل الورقة وعدم رفع درجة حرارتها

كيف تتحمل النباتات غير العصارية الشد المائي :

ان النباتات المعمرة من غير النباتات العصارية تتحمل الشد المائي من خلال :

- امتلاكها بروتوبلازم عالي الاوزموزية وذو جهد مائي اكثرسالبية من جهد ماء التربة لغرض الاستمرار في امتصاص الماء تحت ظروف الشد المائي
- المحافظة على هيئة وفعالية البروتوبلازم عند حدوث نقص الماء المتيسر للنبات
- المحافظة على مستوى متدني من عمليات هدم المواد الحيوية للنبات وخاصة البروتينات والاحماض النووية والنشأ
- المحافظة على مستويات عالية من العمليات الحيوية بوجود محتوى مائي منخفض في النبات ومستوى منخفض من الطاقة .

جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المحاصيل الحقلية

فسلجة متقدم: المحاضرة السابعة

مساحة الاوراق وشكل النبات :

ان العلاقة البسيطة الواضحة بين الحاصل ومساحة التمثيل الكربوني التي تمثلها مساحة الاوراق تحتاج الى السيطرة على هذه المساحة بغية تحقيق الاستفادة القصوى منها للوصول **الى افضل تمثيل كربوني واعلى تجميع للمادة الجافة وافضل منحنى نمو مثالي لنباتات المحصول**. ان استخدام الكثافة النباتية العالية لتحقيق هذا الغرض لم يكن مناسبا في جميع الاحوال بسبب دخول عوامل اخرى متداخلة في التأثير، وان زيادة العوامل المؤثرة تسبب صعوبة الوصول للهدف، ففي حالة الكثافات النباتية العالية هناك عدة عوامل تتعلق بالاوراق ومساحتها وعملها تؤثر في تحقيق اعلى حاصل وتشمل :

- مساحة الورقة Leaf area
- زاوية الورقة Leaf angle
- الوضع العمودي للورقة Vertical position
- انعكاس الضوء في الاوراق Light reflected from leaves
- الضوء النافذ خلال الاوراق Light transmitted through leaves
- منحنى استجابة الضوء اي العلاقة الفسلجية بين الاضاءة والتمثيل الكربوني The light response curve (the physiological relationship between illumination and photosynthesis
- ارتفاع الشمس عن الافق Elevation of the sun above the horizon
- شدة الاضاءة الشمسية Solar intensity
- صفاء السماء وسطوع الشمس Skylight brightness

ان هذه العوامل تؤثر في مدى مساهمة الجزء الخضري الذي يكون النبات في الحاصل النهائي بالمقارنة مع فعالية التمثيل الكربوني الذي يحدث بعد بداية الطور التكاثري ومساهمته في الحاصل النهائي، حيث ان اعتراض الضوء يكون قليلا في بداية حياة النبات خلال مرحلة البادرة وان حجم

الجزء النباتي الخضري قبل بداية الطور التكاثري يتأثر بعوامل عديدة اضافة الى اعتراض الاشعة الشمسية والتمثيل الكربوني وتجميع المادة الجافة مثل عمق الزراعة وحجم الحبوب وكمية البذار المزروعة والتغيرات البيئية ، لذلك لابد من وجود توازن في مراحل نمو النبات الخضرية والتكاثرية بشكل يضمن تحقيق افضل استلام للاشعة الضوئية واعلى مقدرة على القيام بالتمثيل الكربوني .

هل ان زيادة كمية البذار او الكثافة النباتية دائما ذو تأثير ايجابي في النمو والحاصل ؟

ان كمية البذار الموصى بها في محاصيل كالحنطة والشعير او الكثافات النباتية في محاصيل اخرى كالذرة الصفراء والبيضاء وفول الصويا تمثل كمية البذار او الحد الاقصى من الكثافة النباتية المجهدة والتي يمكن للمحصول ان يتحملها تحت اغلب الظروف. ان الزيادة في بعض العوامل المؤثرة في النمو الخضري والحاصل من خلال زيادة كمية البذار وذلك بزيادة كمية البذور المزروعة بالخط الواحد او من خلال تقليل المسافة بين السطور مع المحافظة على كمية البذار في السطر الواحد او زيادة الكثافة النباتية من خلال تقليل المسافات بين خطوط الزراعة او بين النباتات في الخط الواحد او كلاهما، بهدف زيادة المساحة السطحية المستلمة لاشعة الشمس ورفع كفاءة الاستفادة منها في مرحلة البادرة قد يؤدي الى الوصول الى نقطة في مراحل متقدمة من نمو النبات يصبح عندها صافي التمثيل الكربوني منخفضا نتيجة تضليل الاوراق على بعضها بالاضافة الى تداخل التضليل مع عوامل اخرى لذلك لابد من مراعاة التوازن بين عمليات خدمة البادرات وخدمة النباتات البالغة في المراحل المتقدمة من النمو ، اي ان زيادة كمية البذار او الكثافة النباتية قد يكون مفيدا لحد معين وان زيادتها عن هذا الحد بشكل كبير قد يؤدي الى خفض الحاصل كما ونوعا.

كيفية التعامل مع النباتات كبيرة الحجم ؟

ان نباتات بعض الاصناف تتميز بكبر حجمها وطولها وذات اوراق كثيرة وواسعة لذلك تزرع في سطور متباعدة بسبب حاجتها للاضاءة وان زيادة الكثافة النباتية عن الموصى بها بتقليل المسافة بين السطور او بين النباتات كما في الذرة وفول الصويا سوف يؤدي الى نتيجة عكسية بسبب التضليل الكبير مما يسبب خفض مستويات التمثيل الكربوني وتجميع المادة الجافة مما ينعكس سلبا على الحاصل، لذلك لابد من الحفاظ على الكثافة النباتية الموصى بها واتخاذ تدابير اخرى لرفع حاصل هذه النباتات من خلال مكافحة الادغال والسيطرة عليها وتحسين مستويات التسميد والتغذية وادارة التربة والمحصول، او ايجاد واستنباط اصناف جديدة تتحمل كثافات نباتية اعلى لاسيما الاصناف ذات الاوراق المنتصبة التي لاتسبب التضليل بالكثافات العالية وذات حجم النبات

الصغير مع تميزها بمستوى تمثيل كربوني مرتفع مع مراعاة الاهتمام بتسميدها وتوفير الرطوبة وتجاوز العوامل المحددة للتوازن بين مراحل النمو الخضري والزهري والثمري .

مساحة الاوراق

تمثل الاجزء الرئيسي في النبات المعترض للاشعة الضوئية والتي تجري فيها اهم عملية حيوية في النبات وهي التمثيل الكربوني وصنع الغذاء، وتقاس المساحة الورقية في المحاصيل بطرق ومعادلات حسابية مختلفة حسب المحصول. وعند قياس المساحة الورقية لابد من الاخذ بنظر الاعتبار بان هناك اجزاء اخرى من النبات تقوم بالتمثيل الكربوني وتسهم في صنع الغذاء وتراكم المادة الجافة مثل السيقان وغمد الورقة والسفا والقنابع واغلفة الثمار والبذور وبعض هذه الاجزاء تقع في الجزء العلوي للنبات ولاتتعرض للتضليل وان بعض هذه الاجزاء تقوم بالتمثيل الكربوني بنسبة قد تصل الى 50% من مقدرة الاوراق على التمثيل الكربوني، الا ان صعوبة قياس المساحات الخضراء في النبات من غير الاوراق جعلت من قياس المساحة الورقية طريقة مقبولة للتعبير عن سطح النبات الذي يعترض الضوء ويقوم بالتمثيل الكربوني.

ان المساحة الورقية المثلى هي المساحة الورقية التي عندها يتم انتاج اعلى مقدار من المادة الجافة ويمكن توقع اكبر انتاج للمادة الجافة عندما تصاحب المساحة الورقية المثلى ظروف ملائمة لعملية التمثيل الكربوني مثل اليوم الطويل وتوفر الرطوبة في التربة مع الترب الخصبة ، وان هذه المساحة الورقية المثلى تعطي مؤشرا لحصول اعلى معدل لصافي التمثيل الكربوني كما تعطي مؤشرا على ان المساحة الورقية المحسوبة قادرة على استلام وتوظيف اكبر قدر ممكن من الاشعة الساقطة بما يسمى دليل مساحة الاوراق الحرج Critical leaf area index والتي تعبر عن النقطة التي يتم فيها اعتراض 95% من الطاقة الضوئية الساقطة على مساحة محددة من الارض وقت الظهيرة، والمساحة الورقية المثلى تفيد في قياس طول فترة بقاء المساحة الورقية Leaf area duration (LAD) والتي تعبر عن طول المدة الزمنية التي تكون فيها المساحة الورقية فعالة.

دليل المساحة الورقية Leaf Area Index

وهو عبارة عن مساحة الاوراق نسبة الى مساحة الارض التي يشغلها النبات ويعبر عن كلا المساحتين بنفس الوحدات ويحسب بالمعادلة :

دليل المساحة الورقية = (المساحة الورقية للنبات)/(النبات يشغلها التي الارض مساحة).

وهذا المؤشر اكثر فائدة من المساحة الورقية . فاذا كانت المساحة الورقية الكلية للمحصول مقسومة على مساحة 1 هكتار تساوي 1 فان ذلك يعني ان دليل المساحة الورقية يساوي 1 وهذا يعني ان المساحة الورقية الكلية للنباتات المزروعة في هكتار واحد تغطي مساحة 1 هكتار من الارض اما اذا كان دليل المساحة الورقية يساوي 4 فان ذلك يعني ان المساحة الورقية الكلية للاوراق تغطي

مساحة 4 هكتار من الارض، ويعبر عن دليل المساحة الورقية للمحاصيل محدودة النمو في بداية مرحلة التطور التكاثري اما في المحاصيل غير محدودة النمو فيستخدم الحد الاعلى من دليل المساحة الورقية في المقارنة . ان انتاج المادة الجافة يكون اقل عند دليل مساحة ورقية اقل من الامثل وذلك لعدم اعتراض الضوء كليا لذلك يكون صافي التمثيل الكربوني اقل من الحد الاعلى ، اما عند دليل مساحة ورقية فوق الحد الامثل فان انتاج المادة الجافة يكون اقل ايضا وذلك نتيجة للتضليل المتبادل بين اوراق النبات واوراق النباتات المتجاورة وانخفاض صافي التمثيل الكربوني . لقد دلت الدراسات انه يمكن تحقيق زيادة في الحاصل بزيادة دليل المساحة الورقية لغاية 4 في الذرة الصفراء مع عدم تحقيق اي زيادة في الحاصل بعد دليل مساحة اوراق اكثر من 4.7 .

ان دليل المساحة الورقية يتأثر بفعل الاختلاف بين مواسم الزراعة وتباين الظروف البيئية سواء الظروف المناخية او ظروف التربة في سنوات الزراعة المتعاقبة والتي بدورها تؤثر في شكل الورقة من ناحية الطول والعرض وزاوية الورقة واستجابة الورقة المرنة للرياح والضوء علاوة على الاختلاف في عدد الاوراق في مواسم الزراعة المتعاقبة .

عوامل التحكم في مساحة الاوراق المثلى :

للحصول على مساحة ورقية مرغوبة او مثلى يجب التحكم بالعوامل التالية :

كمية البذار و الكثافة النباتية : يمكن السيطرة والتحكم بمساحة الاوراق بواسطة استخدام كميات بذار او كثافة نباتية مناسبة وموصى بها ، ويكون التحكم بالانواع ذات الحبوب الصغيرة وذات الاشطاء الكثيرة مثل الحبوبيات الصغيرة كالحنطة والشعير محدود مقارنة بالذرة الصفراء التي تعطي ساق واحد فقط لذلك فان استخدام كمية البذار او الكثافة النباتية الموصى بها يمكن ان يعطي المساحة الورقية ودليل المساحة المناسبين .

طريقة الزراعة : تؤثر المسافة بين السطور وكمية البذار في السطر الواحد بالنسبة للمحاصيل ذات الحبوب الصغيرة كالحنطة والشعير والمسافة بين السطور والنباتات بالنسبة للمحاصيل التي تزرع بشكل نباتات مفردة مثل الذرة وفول الصويا في المساحة الورقية للنبات والمساحة الورقية في وحدة المساحة وبالتالي يختلف دليل المساحة الورقية تبعا لذلك لابد من اختيار المسافة المناسبة بين السطور وكمية البذار في السطر الواحد وكذلك المسافة بين السطور والنباتات للحصول على افضل مساحة ورقية ودليلها مع اقل قدر من التظليل بين اوراق النبات الواحد من جهة واوراق النباتات المتجاورة من جهة اخرى.

الاختلاف في المظهر الخارجي : ان التباين في المظهر الخارجي بين المحاصيل وكذلك التباين المظهري بين نباتات الاصناف لنفس المحصول يؤثر بشكل جوهري في مساحة الاوراق وبالتالي في فعالية التمثيل الكربوني ، اذ تختلف هجن الذرة الصفراء في عدد الاوراق والمساحة الورقية

وطول السلاميات التي تحدد المسافة بين الاوراق المتعاقبة في النبات وهذا الاختلاف يؤثر في المساحة الورقية لهذه الهجن كذلك يؤثر طول موسم نمو هذه الهجن في عدد الاوراق المنتجة وفي ارتفاع النبات وبالتالي يؤثر في النمو والتمثيل الكربوني والحاصل . ان المقارنة بين الاصناف او الهجن القصيرة والطويلة ترجح تفضي الاصناف الطويلة في حالة تساوي المساحة الورقية لان في هذه الحالة تعطي الاصناف القصيرة حاصل اقل من الطويلة بسبب قلة الضوء المعترض من قبل اوراق النباتات القصيرة والذي يعود الى قصر السلاميات والتظليل الكبير بين اوراق النبات الواحد كما ان الاصناف القصيرة تكون اقل مرونة للاستجابة للرياح وهذا يؤدي الى قلة نفاذ الضوء الى الاوراق السفلية ، لذلك فان معرفة مواصفات الاصناف او الهجن من حيث الشكل وعدد الاوراق وطول السلاميات تعطي معرفة لامكانية تحديد مدى استجابتها لاعطاء مساحة ورقية مثلى واعتراض افضل للضوء وبالتالي مستوى مناسب للتمثيل الكربوني .

موعد الزراعة : ان موعد الزراعة المبكر او المتأخر يؤثر في حجم النبات وعدد الاشطاء وطول فترة النمو الخضري فالتبكير بالزراعة قد يطيل فترة النمو الخضري وتزيد الاشطاء وهذه الصفة ليست مرغوبة في كل الاحوال لانها تزيد من التظليل او تزيد الاضطجاع وخاصة في المحاصيل الحبوبية ، اما التأخير في الزراعة فقد تؤدي الى صغر حجم النباتات وصغر مجموعها الخضري وبذلك تكون غير قادرة على الاعتراض الامثل للضوء مع انخفاض التمثيل الكربوني اضافة الى اختزال فترة النمو الخضري وانخفاض مدة التمثيل الكربوني الفعال وانخفاض تراكم المادة الجافة وبالتالي الحاصل .

عملية الخف : تجري هذه العملية لتقليل عدد النباتات في الجورة الواحدة والابقاء على نبات واحد لتلافي التنافس بين النباتات او التظليل بين الاوراق

الحش والرعي : ان التحكم بموعد الحش او الرعي يتيح المجال للحصول على اقصى مساحة ورقية قريبة من المساحة المثلى وغطاء نباتي عالي للحاصل الاخضر مع اعطاء اقصى عدد من الحشات واعلى حاصل للعلف الاخضر اضافة الى المساعدة في ابقاء المراعي خضراء وديمومتها لاطول مدة ممكنة .

خصوبة التربة : يمكن الحصول على مساحة ورقية مثلى باستخدام مستويات التسميد المناسبة لكل محصول واضافتها بالموعد المناسب لضمان الاستفادة القصوى منها من قبل النبات الا ان الاستخدام المفرط للاسمدة يكون له نتائج عكسية .

الشكل الهندسي للنبات : ان هيئة النبات تتعلق بالنمط الذي تظهر فيه الاوراق ومدى نموها والاختلاف في صفة تكوين الاشطاء وارتفاع النبات . ان تربية واستنباط الاصناف الجديدة تأخذ بنظر الاعتبار بدرجة كبيرة هيئة النبات والشكل الهندسي له وطبيعة نموه فمثلا السلاميات القصيرة

يمكن الاستفادة منها للتغلب على ظاهرة الاضطجاع كما ان الاوراق العريضة والطويلة والمرنة تكون اكثر كفاءة عند الزراعة في سطور متباعدة ، كما ان طاقة الصنف ذو الاوراق صغيرة الحجم والاوراق القائمة تكون اكثر وضوحا عند الزراعة بشكل متقارب او بكثافة نباتية اكثر . ان النباتات الصغيرة ذات الاوراق المرتبة والتي تسمح بأعتراض كمية اكبر من الضوء قد تزيد عملية التمثيل الكربوني اما النباتات ذات الاوراق القائمة فقد تحتاج الى حيز اقل مقارنة بالنباتات ذات الاوراق الافقية . ان اعتراض الضوء يكون افضل في الاوراق القائمة وان اعلى تمثيل كربوني يحدث عند تشبع ضوئي قدره 2000-3000 شمعة بالقدم وان شدة الضوء تتناقص كلما انتشر الضوء على مساحة ورقية اكبر فعند سقوط شعاع عمودي من ضوء الشمس شدته 10000 شمعة بالقدم على اوراق افقية واخرى تميل بزاوية 80 درجة ، نجد ان المساحة المضاءة تزداد تدريجيا مع ميل الورقة ولكن شدة الاضاءة تتناقص ضمن نفس المساحة لكونها تتوزع على مساحة اكبر مما في الورقة الافقية وعند ميل الورقة 80 درجة فان شدة الاضاءة تكون في الحالة المثلى لكفاءة استخدام الضوء لكونها ستتوزع وتنتشر بمساحة اكبر . تزداد عملية التمثيل الكربوني للاوراق في المجتمع النباتي عادة بمقدار الضعف في حالة الاوراق القائمة وتكون نقطة التعويض 300 شمعة بالقدم وهي شدة الاضاءة التي يتساوى فيها التمثيل الكربوني مع التنفس لذلك تكون قيمة صافي التمثيل الكربوني بشدة اضاءة اقل من هذا المستوى قيمة سالبة فالاوراق القائمة ستسمح بنفوذ الضوء الى الغطاء الخضري للمحصول وبذلك ستستلم الاوراق السفلية كمية كافية من الضوء للتمثيل الكربوني ، اذ ان ضوء الشمس اما ان يمتص او يعكس او ينفذ فتعمل الاوراق المنتشرة بصورة افقية على عكس الضوء مرة اخرى الى الجو في حين ان الاوراق التي تكون بوضع عمودي تعكس الضوء بشكل اكبر الى الغطاء الخضري فتستفيد منه الاوراق السفلية او النباتات المجاورة وان نفوذ الضوء الى قاعدة النباتات قد يحفز انتاج الاشطاء وتكوين جدران خلايا سميكة مما يجعل السلاميات السفلية اكثر مقاومة للاضطجاع .

انتاج الطاقة واستخدامها في الخلية النباتية :

ان أهم العمليات الحيوية التي تجري في الخلية النباتية والتي تحتاج الى الطاقة تتضمن :

1- بناء السكريات المتعددة التي تستخدم لبناء الجدران الخلوية في الخلايا المنقسمة الجديدة لكون الجدران الجديدة تحتاج الى :

أ- مركبات عضوية مؤلفة من سكريات متعددة مثل السلسلوز والبكتين والهميسيليلوز .

ب- بروتينات تنتج لبناء البروتوبلازم

ج-طاقة عالية لاتمام الانقسام

2- بناء البروتين الضروري لبناء البروتوبلازم والدخول في التركيب الاساسي للخلية النباتية

3- بناء الاحماض النووية الضرورية لبناء المادة الوراثية في النواة ودورها وخاصة الحامض النووي RNA في بناء البروتين

ان أهم مركب للطاقة هو مركب Adenosine Triphosphate (ATP) الذي ينتج من عملية التمثيل الكربوني عن طريق الفسفرة الضوئية كما ينتج هذا المركب من عملية التنفس في المايتوكوندريا ، ويشكل التنفس المصدر الرئيسي والأول لهذا المركب لذلك تعتبر المايتوكوندريا مركز انتاج الطاقة لكون جميع الخلايا تتنفس ، في حين ان الخلايا الحاوية على البلاستيدات الخضراء فقط هي التي تنتج مركبات الطاقة بالتمثيل الكربوني والتي تستهلك في تثبيت ثاني اوكسيد الكربون لانتاج السكريات والكربوهيدرات اي ان الغذاء المنتج في عملية التمثيل الكربوني يعد مخزن للطاقة المثبتة بهذه العملية وتنقل هذه الطاقة مع الغذاء المصنع الى باقي اجزاء النبات ويستخدم هذا الغذاء وخاصة الكربوهيدرات في عملية التنفس مما ينتج عنها اطلاق هذه الطاقة.والطاقة التي تتحرر من عملية التنفس تستخدم من قبل العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات كالامتصاص والنقل وتمثيل الغذاء وبناء المركبات الاساسية لبناء جسم النبات وخاصة البروتينات والاحماض النووية والهرمونات والاحماض الامينية .

ان التنفس يمر بثلاث مراحل ففي المرحلة الاولى هي مرحلة التحلل السكري Glycolysis حيث تتحول كل جزيئة من الكلوكوز $C_6H_{12}O_6$ الى جزيئتين من حامض البيروفك Pyrovic acid ($C_3H_4O_3$) وخلال هذه التفاعلات تتحد كل جزيئة من ADP Adinosine Diphosphate مع مجموعة من الفوسفات غير العضوي Inorganic phosphate group (H_2PO_3) والذي يرمز له بالرمز Pi لتكوين جزيئة من مركب الطاقة ATP Adenosine Triphosphate

$$A - P \sim P\ (ADP) + Pi \rightarrow A - P \sim P \sim P\ (ATP)$$

ان الاشارة (-) تشير الى الاصرة التي تعطي مستوى منخفض من الطاقة أثناء عملية التحلل المائي Hydrolysis والعلامة (~) تمثل الاصرة ذات الطاقة العالية التي تنتج

ثلاثة أضعاف الاصرة (-) الضعيفة بمستوى الطاقة . تحصل في المرحلة الثانية من عملية التنفس عملية تحلل اضافي بواسطة دورة حامض الكربوكسيل الثلاثي Tricarboxylic acid دورة كربس Kribs cycle تعقبها المرحلة الثالثة من مراحل التنفس التي تحدث فيها عملية الأكسدة الفسفورية لكل زوج من جزيئات حامض البيروفك الموجودة في الخلية وتحولها الى طاقة وماء . ان كل جزيئة من جزيئات الكلوكوز والتي تدخل في عملية التنفس تمتص 6 جزيئات من الأوكسجين بواسطة حامض البيروفك الذي تنتجه وبذلك تكون معادلة التنفس كالاتي :

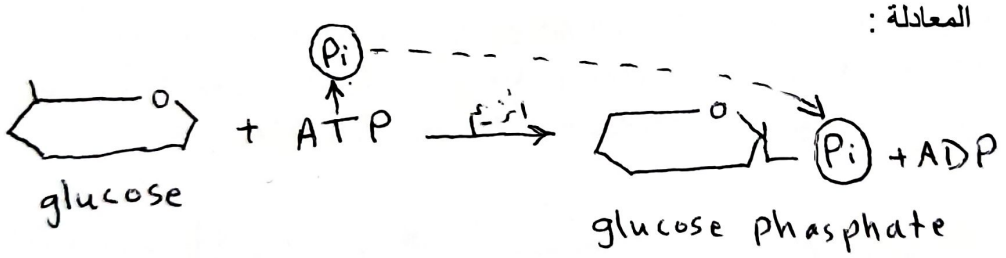
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38ADP + 38Pi \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

استخدام الطاقة في نمو الخلايا النباتية :

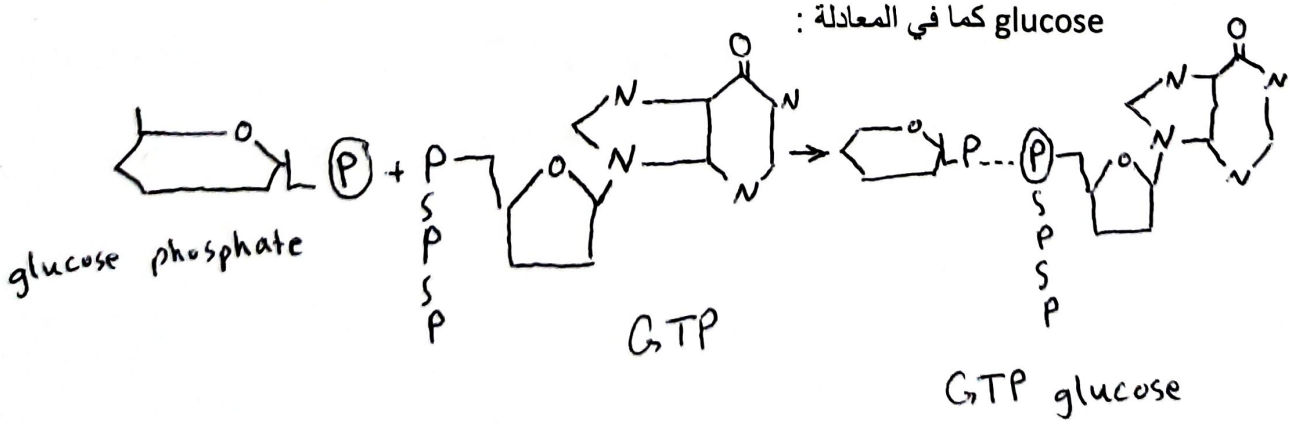
1- استخدام الطاقة في بناء السكريات المتعددة Polysacharide Synthesis :

تحتوي جدران الخلايا النباتية على عدة انواع من السكريات المتعددة وان السكريات الاحادية Monosacharide (Monomers) مثل الكلوكوز هي التي تدخل في بناء هذه السكريات المتعددة مثل السليلوزوذلك بمساعدة مركب الطاقة ATP . ان مركب Guanosine diphosphate glucose (GDP glucose) الذي هو عبارة عن مركب مؤلف من الكلوكوز المرتبط بالفسفور العضوي يمثل الوسط الأساس للبناء الحيوي للسليلوز عبر الخطوات الاتية :

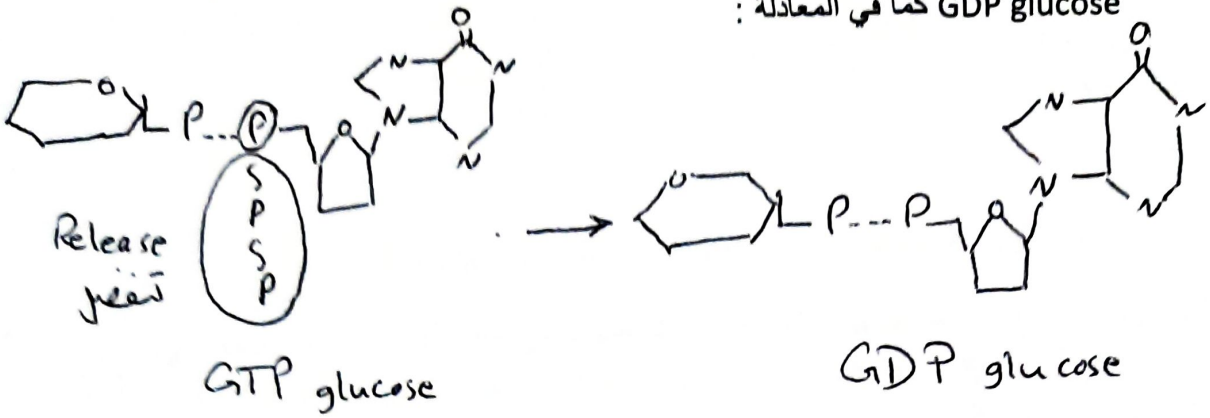
الخطوة الاولى (a) : تتم الخطوة الاولى لبناء مركب GDO glucose بتحول جزيئة الكلوكوز في الغذاء المنتج او المخزون في الخلية الى فوسفات الكلوكوز Glucose phosphate (ADP) عن طريق سحب جزيئة فسفور عضوي (Pi) واحدة من مركب ATP الناتجة من التنفس وربطها مع جزيئة الكلوكوز وحسب المعادلة :



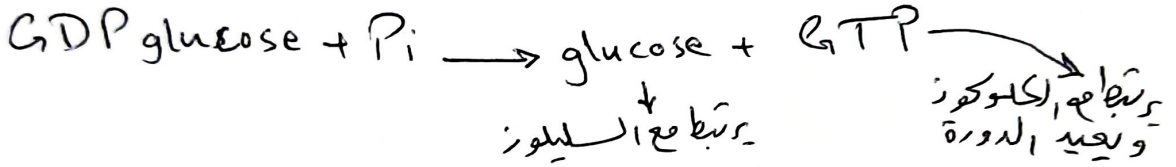
الخطوة الثانية (b) : يتفاعل مركب Glucose phosphate الناتج من الخطوة الاولى مع مركب Guanosine Triphosphate (GTP) لتكوين مركب GTP glucose كما في المعادلة :



الخطوة الثالثة (c) : يتم فصل جزيئتي فوسفات من GTP glucose لتكوين مركب GDP glucose كما في المعادلة :



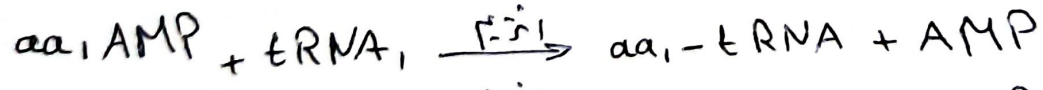
الخطوة الرابعة (d) : يقوم مركب GDP glucose بنقل الكلوكوز الى سلسلة السليلوز الموجودة ويتحرر مركب GDP glucose ليعود ويتحول الى GTP باكتساب Pi من ATP ليعود ويرتبط مع الكلوكوز مرة اخرى لتعاد glucose العملية مرة اخرى وكما في المعادلة :



2- بناء البروتين : Protein Synthesis

يقوم مركب الطاقة ATP بالارتباط مع الحامض الاميني (Amino acid (aa وينتج عن ذلك مركب AMP (Adenosine monophosphate) وهو مركب طاقة يحوي فوسفات عضوي واحد ويرتبط هذا المركب مع الحامض الاميني مع تحرر جزيئتين من الفسفور العضوي مصدرها مركب ATP كما في المعادلة :

ان جزيئة الحامض الاميني الفعال بسبب ارتباطها مع مركب الطاقة AMP تنتقل الى الحامض النووي الناقل tRNA كما في المعادلات :



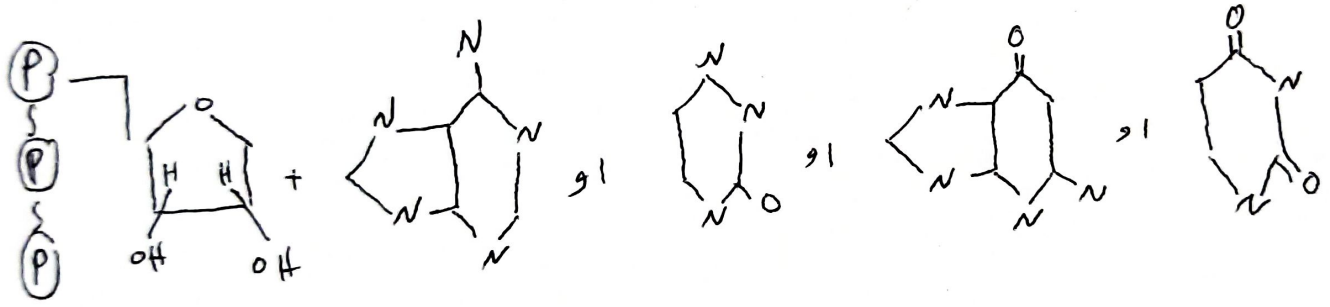
$aa_1\text{-}tRNA_1 + aa_2\text{-}tRNA_2 \longrightarrow aa_1\text{-}aa_2 + tRNA_1 + tRNA_2$

ترتبط الاحماض الامينية الاخرى لتكوين البروتين

تتحرر لتقوم بالارتباط مع احماض امينية اخرى لتستمر عملية بناء البروتين.

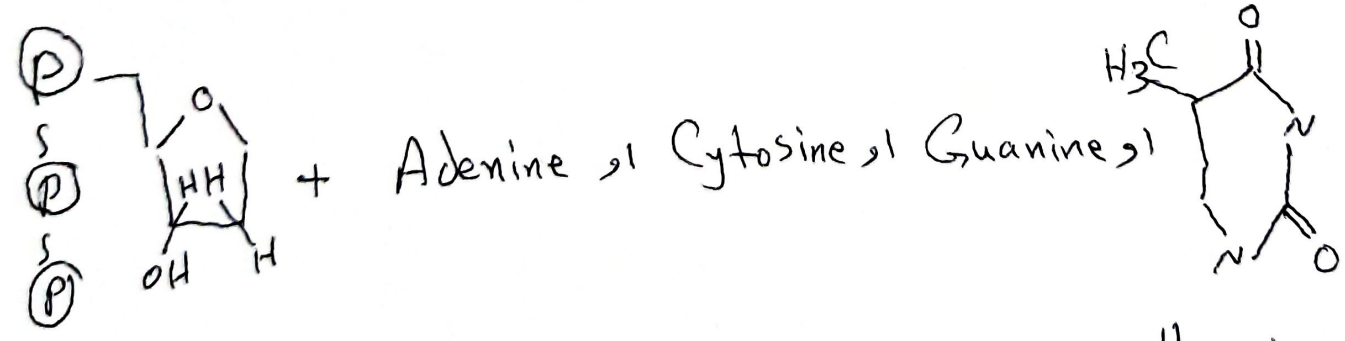
3- البناء الحيوي للأحماض النووية Nucleic acid biosynthesis :

تقوم جزيئة ATP بربط جزيئات الفوسفات اللاعضوي مع سكر الرايبوز Ribose في الحامض النووي RNA وسكر الدي اوكسي رايبوز Deoxy Ribose في الحامض النووي DNA ثم ترتبط هذه المركبات الحاملة للطاقة مع احدى القواعد النتروجينية وهي Adenine لتكوين مركب Adenine tryphosphate او Quanine لتكوين Quanine tryphosphate او Cytosine لتكوين مركب Cytosine tryphosphate في كل من الحامضين RNA و DNA اضافة الى Uricil لتكوين مركب Uricil triphosphate في الحامض النووي RNA و Thiamine لتكوين مركب Thiamine triphpsphate في الحامض النووي DNA كما في الاتي :



ATP Ribose Adenine Cytosine Guanine Uracil

في حالة الحامض النووي RNA



ATP deoxyribose Adenine او Cytosine او Guanine او thymine

في حالة الحامض النووي DNA

جامعة تكريت
كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية

محاضرات فسلجة النبات المتقدم

المصادر المستخدمة

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A., 2015. Plant physiology and Development.

Frary, A., 2015. Plant physiology and development.

مدرس المادة
أ.م.د. فراس احمد درج

Email: firasahmed@tu.edu.iq