



محاضرات الإجهاد البيئي

إعداد
الدكتور ميسر محمد عزيز

2016

مفردات المنهاج

- المقدمة
- التعريف بأنواع الشد
- الشد المائي
- تأثير الشد المائي على العمليات الفسيولوجية
- تأثير الشد المائي على:
 - المكونات الأيضية
 - مورفولوجيا وتشريح النبات
 - تقسيم النباتات حسب حاجتها للماء
 - تأقلم النباتات للشد المائي
 - التقسية
- الشد الحراري
- تقسيم النباتات وتأقلمها لدرجات الحرارة المختلفة
- شد الحرارة المنخفضة
- تأثير شد الحرارة المنخفضة على العمليات الفسيولوجية
- تأثير شد الحرارة المنخفضة على المكونات الأيضية
- شد التجمد
- التأثير على العمليات الفسيولوجية
- شد الحرارة المرتفعة
- التأثير على العمليات الفسيولوجية
- التأثير على المكونات الأيضية
- الشد الملحي
- مشكلة ملوحة التربة
- أسباب ملوحة التربة
- أنواع النباتات وتأقلمها للشد الملحي
- تأثير الشد الملحي على تشريح النبات
- تأثير الشد الملحي على العمليات الفسيولوجية
- العوامل الخارجية التي تؤثر على الاستجابة للشد الملحي
- شد الرقم الهيدروجيني
- الشد الضوئي
- أهمية الضوء
- تأثير الشد الضوئي على المحتويات الأيضية
- أنواع النباتات وتأقلمها للشد الضوئي
- تأثير الشد الضوئي على العمليات الفسيولوجية
- شد الملوثات
- أنواعها ومصادرها
- تأثير الملوثات على النباتات

يمكن تعريف الإجهاد بأنه: عدم إتزان فسلجي وهذا يحدث لتعرض النبات لأحد العوامل البيئية الطبيعية التي تؤثر في نمو النبات ويكون تغير هذه الظروف واختلافها مؤثراً على النبات مما يجعل النبات واقعاً تحت ما يسمى بالجهد أو بالضغط البيئي أو بالشد البيئي ويمكن تعريف الجهد البيئي: عدم استقرار الحالة المثلي للعمليات الحيوية للنبات والذي يؤدي إلى ظهور تغيرات أو استجابات النبات. أي أن النبات سيتأثر وبشكل كبير تحت الظروف البيئية الغير الملائمة للنمو وتعرف هذه الظروف بعوامل الإجهاد.

العوامل المؤدية إلى الإجهاد

تنقسم عوامل الإجهاد إلى جزئين لا ثالث لهما وهما:

- 1- عوامل أحيائية: (Biotic) مثل زيادة الكثافة النباتية في وحدة المساحة وكذلك النباتات المتطفلة والأحياء المجهرية والرعي.
- 2- عوامل غير أحيائية (Abiotic): مثل الإشعاع، الحرارة، الماء، الغازات، الخ.

قام العلماء بدراسات متعددة لمعرفة السلوك الذي يسلكه النبات الواقع تحت الإجهاد فوجدوا أنه يتخذ طريقين للمقاومة هما:

- 1- الهروب أو التجنب Avoidance : وهو تجنب النبات العامل المسبب للإجهاد كأن يقوم بعدة تحولات كيميائية داخل الخلايا لتحاكي العامل المجهد.
- 2- التحمل: قدرة بروتوبلازم الخلية النباتية على مقاومة العامل المجهد، وهنا نجد أن قدرة النبات على البقاء في البيئة المعرضة للإجهاد تعتمد على قدرته على القيام بإحدى العمليات التالية:

أ. الهرب من الإجهاد.

ب. تحمل الإجهاد.

ج. استعادة النشاط بعد زوال الإجهاد.

وتختلف النباتات فيما بينها من خلال التعامل مع الإجهاد البيئي إذ يعتمد ذلك على:

- 1- المقدرة الوراثية لكل نبات حيث يختلف تعامل أنواع مختلفة من النباتات تجاه العامل المؤثر عليها.
- 2- اختلاف استجابة النبات يختلف باختلاف الأوقات (ليل – نهار، اختلاف فصول السنة).
- 3- اختلاف المرحلة العمرية للنبات (بذرة – بادرة – نبات كامل).

سلوك النبات عند تعرضه للإجهاد

غالبية الكائنات الحية عند تعرضها للإجهاد ستدخل في عدة مراحل:

- 1- مرحلة التنبيه أو الإنذار (Alarm phase) : ويقصد بها بداية وقوع الضرر على النبات وفيها يفقد النبات الاتزان حيث تكون عمليات الهدم أكثر من عمليات البناء.

2- مرحلة المقاومة (Resistance phase): وهي المرحلة التي يكون عامل الإجهاد مستمر وفيها يقوم النبات إما بالتقسية (Hardening) إذا كان الإجهاد مؤقتاً أو بعملية التكيف (Adaptation) إذا كان العمل مستمراً.

3- مرحلة الإنهاك (Exhaustion phase) أو المرحلة النهائية (End phase): وفيها يصل النبات لهذه المرحلة لحالتين:

- أ- إما أن يكون غير قادر على القيام بالمرحلة الثانية (المقاومة).
- ب- أو أن يكون قد تعرض للإجهاد لفترات طويلة جداً أو أن عامل الإجهاد قد زاد من شدته، مما يؤدي إلى تعرض النبات للأمراض المختلفة نتيجة لضعف وسائل الدفاع ليؤدي إلى انهيار النبات و موته.

الشد المائي (الإجهاد المائي)

تعاني النباتات من الإجهاد المائي لسببين رئيسيين هما:

- 1- إما أن يكون كمية المياه الواصلة إلى الجذور محدودة.
- 2- أو عندما يزداد معدل النتح بشكل كبير يفوق كمية الماء الممتص.

إن سبب كمية المياه القليلة المتواجدة ضمن منطقة الجذور سببه العجز المائي ففي هذه الحالة تكون أسبابه مختلفة فقد تكون (جفاف أو ملوحة التربة العالية وغيرها) أو ربما تكون أسباب أخرى كالفيضانات وانخفاض درجة حرارة التربة.

في بعض الأحيان يكون الماء موجوداً في محلول التربة ولكن النباتات لا يمكن امتصاص ذلك ويعرف هذا الوضع بإسم "الجفاف الفسيولوجي".

يحدث الجفاف في أجزاء كثيرة من العالم وفي كل عام، في كثير خصوصاً تحت المناخ الجاف وشبه الجاف والمناطق التي تهطل فيها الأمطار ولكن يكون هذا الهطول غير متزن.

إن الشد المائي يعد من أهم محددات الإنتاج الزراعي لما له تأثير على العمليات الحيوية والفسيولوجية في النبات، وبالتالي نجد فإن النباتات قد تباينت في مقاومتها للشد المائي أو الجفاف فمنها ما يكون مقاوماً ومنها ما يكون متحاشياً أو هاربا من الجفاف.

تأثير الإجهاد المائي على النبات

يعتبر الجفاف الإجهاد اللاأحيائي وله جوانب كثيرة في الطبيعة، وهو يؤثر على النباتات في النظم المختلفة (نظام التنفس، والإمتصاص والنتح الخ)، فإذا إستمر الجفاف لمدة طويلة فإن العديد من النباتات تذبل وتموت حيث أن الإجهاد المائي في النباتات يقلل من دخول الماء إلى الخلية النباتية وبالتالي رفع تركيزات الأملاح في العصارة الخلوية ونتيجة لذلك سيتم تقليل إنقسام الخلايا مما يؤدي إلى تثبيط النمو وعدم التزهير وبالتالي يؤثر على عملية التكاثر.

يعمل الإجهاد المائي على تغييرات حيوية منها: تراكم حمض الأبسيسيك (ABA) والبرولين والذي يؤدي إلى الذبول، وفي هذه المرحلة سيكون إستهلاك أعلى لغاز الاوكسجين وتشكيل مركبات الأسكوربات والجلوتاثيون والتي تؤدي إلى زيادة التأثير السلبي على النمو وتركيب الخلايا النباتية.

لايؤثر الجفاف فقط على العلاقات المائية كخفض محتوى الماء فحسب، بل إنه يؤثر أيضا إغلاق الثغور والتقليل من التبادل الغازي، ويقلل النتح والتمثيل الضوئي.

وكذلك من الآثار السلبية للإجهاد على التغذية المعدنية (امتصاص ونقل المواد الغذائية) والأيض يؤدي إلى انخفاض في مساحة الورقة، كما تتغير مرونة جدار الخلية النباتية واختلال التوازن و كما تم تسجيل حالة عدم إتران في توزيع الأيونات داخل الخلايا. ومن نتائج تأثير الإجهاد الأخرى هي تخليق البروتين ومن mRNA جديد. كما يؤثر الإجهاد المائي أيضاً في إيقاف أو بطئ إنقسام الخلايا إذ يكون النبات النامي تحت الإجهاد منقزماً ومشوهاً حيث يؤثر الإجهاد في توسيع الخلايا أكثر من زيادة عددها. وتلخيصاً لما سبق ذكره؛ فإن النبات يتأثر بسبب الإجهاد المائي من عدة جوانب أهمها: نمو النبات، تغيير عملية التمثيل الضوئي، التنفس، إمتصاص العناصر والأيونات، بناء الكربوهيدرات، التمثيل الغذائي المغذيات والهرمونات.

تأثير الإجهاد المائي في البناء الضوئي

يعتبر البناء الضوئي حساساً لنقص الماء، إذ تتأثر وظائف الأعضاء التي تساهم بعملية البناء الضوئي (كالورقة ومحتوياتها)، وهذا الإنخفاض في معدل التمثيل الضوئي يعزى إلى سببين رئيسيين هما:

1- تقليل من إنتاج خلايا الثغور،

2- وضعف التمثيل الغذائي.

فبعد مناقشة هذين السببين نجد أن السبب الثاني هو أكثر تعقيداً من السبب الأول حيث إلى حد الآن معرقلات التمثيل الغذائي غير واضحة، في حين أكدت دراسات أن إغلاق الثغور هو السبب في تثبيط المركبات البناء الضوئي التي تقوم بإنتاجها نباتات C4 تحت ظروف الإجهاد المائي كما أن هنالك دراسات أخرى بينت أن الأسباب ليست لها علاقة بفتح أو غلق الثغور.

إن كل من نباتات C3 و C4 يتأثر معدل التمثيل الضوئي في أوراقها تحت ظروف الإجهاد المائي، إلا أن الأدلة العلمية تثبت أن نباتات C4 أكثر تحملاً لظروف الإجهاد من نباتات C3، وهذا ما يفسر نمو كثير من نباتات C4 (كالذرة الصفراء مثلاً) في المناطق الحارة والجافة أو المناطق التي تتعرض للجفاف المتكرر على خلاف نباتات C3 (كالحنطة مثلاً).

إن نباتات C3 و C4 لها نفس الأساس في البناء الضوئي (مثل دورة كالفن – سلسلة النقل الالكتروني) إلا أن هنالك إختلافات كبيرة بينهما أدت إلى زيادة كفاءة نباتات C4 في مواجهة مستويات من الإجهاد المائي.

هنالك العديد من العوامل المشتركة التي من شأنها تقليل كفاءة التمثيل الضوئي في النباتات التي تكون تحت ضغط الإجهاد المائي بغض النظر عن كونها نباتات C3 أو C4 منها: التغيرات الكمية والنوعية في وفرة صبغات الأوراق التي لها دور كبير في عملية البناء الضوئي، إنخفاض إمتصاص CO₂ بسبب إغلاق خلايا الثغور وكذلك ضعف إستيعاب الأوراق للضوء.

تنخفض معدلات إستيعاب الأوراق للضوء نتيجة لإنخفاض في نواتج التمثيل الضوئيونشاط الأنزيمات وكذلك إنخفاض كفاءة التبادل الغازي وتثبيط نشاط البلاستيدات الخضراء عند الإجهاد المائي، ومن بين العوامل المشتركة الأخرى للإجهاد المائي هي تلف أجهزة البناء الضوئي من خلال زيادة طرح غاز ثاني أكسيد الكربون وعوامل أخرى تستحق الاهتمام.

إن إنخفاض بناء الكلوروفيل في الأوراق في النباتات المتعرضة للإجهاد المائي هو منع تركيب الكلوروفيل في أربعة مراحل متتالية وهي بإيجاز:

- 1- تشكيل حامض 5-AminoLevuinicAcid ويسمى أيضاً (ALA).
- 2- زيادة تركيز حامض (ALA) خلال عمليات أيضية.
- 3- تحويل المركب ProtoChlorophyllide إلى Chlorophyllide ضوئياً. (العملية الطبيعية هي تحويل Chlorophyllide إلى ProtoChlorophyllide، ويعد المركب الأخير هو المادة الأساسية الحية لبناء الكلوروفيل.
- 4- تركيب كل من الكلوروفيل A و B إلى جانب إدماجهما خلال تطوير معقدات الصبغة – بروتين الخاصة بجهاز البناء الضوئي.

في كثير من الحالات تكون الكاروتينات أقل حساسية للإجهاد المائي من الكلوروفيل وهذا ماتم إثباته علمياً ولكن من المحاصيل، من جانب آخر وعلى خلاف الكلوروفيل نجد أن صبغة الزانثوفيل تلعب دوراً وقائياً للنبات حيث تعطي في بعض الأحيان صفة مقاومة للإجهاد ولهذا نجد أن النباتات تتلون باللون الأصفر عند تعرضها للإجهاد المائي.

يعتبر أنزيم **RuBisCo¹** هو المفتاح لعملية التمثيل الغذائي للكاربون في الأوراق، إذ يلعب دوراً هاماً في تفكيك غاز CO_2 في دورة كالفن وأيضاً كأنزيم إنتزاع الأوكسجين في التنفس الضوئي والتي غالباً ما يُنظر إليها على أنها صفة سلبية، ويعد هذا الأنزيم من الأشياء المؤثرة فسيولوجياً في النباتات الواقعة تحت الإجهاد المائي وقد ظهر هذا الأثر وبشكل واضح في العديد من الدراسات إذ لوحظ إنخفاض هذا الأنزيم وبشكل سريع عند تعرض النباتات للإجهاد وهذا ما يُقلل من إستخدام النبات لغاز ثاني أوكسيد الكربون من البيئة المحيطة نتيجةً لغلغ الثغور ويحدث نتيجةً لذلك ما يسمى بالتنفس الضوئي، إذ فالتنفس الضوئي حالة يلجأ إليها النبات للتعويض عن نقص أنزيم **RuBisCo** وبالتالي سيأخذ النبات غاز الأوكسجين عوضاً عن إنخفاض الأوكسجين الناتج بسبب تضرر البلاستيدات الخضراء.

تأثير الإجهاد المائي على تركيب البروتين

تعمل ظروف الإجهاد المائي على إحداث تغييرات مختلفة في البروتينات سواءً كان هذا التغيير كميّاً أو نوعياً، وبشكل عام فإن البروتينات التي تُصنّع في النبات تقل وبشكل ملحوظ نتيجة للإجهاد المائي ويمكن ملاحظة هذا الإخفاض في نباتات C3 أكثر مما هو عليه في نباتات C4.

يعمل الإجهاد المائي على إحداث تغييرات في تركيب الجينات وبالتالي سيحدث ذلك تغييراً في تركيب جزيئات mRNA وبذلك سيعمل على تكوين بروتينات جديدة مختلفة عن تلك النباتات النامية تحت الظروف الطبيعية، كما ويؤثر الإجهاد المائي على تلك العوامل التي تدخل في ترتيب القواعد النتروجينية أثناء الترجمة (ترجمة الشفرات الوراثية) وبالتالي إحداث صفات غير مرغوبة في النبات.

(RuBisCO) وهو اسم مختصر لإنزيم يلعب دوراً في الخطوة الأولى الرئيسية في تثبيت الكربون، وهي عملية تعنى بتحويل ثاني أكسيد الكربون في هواء الغلاف الجوي من قبل النباتات إلى جزيئات عالية المحتوى من الطاقة مثل الغلوكوز. إن الاسم الكيميائي لهذا

الإنزيم هو *Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase*.

Salt Stress الأجهاد الملحي

تؤثر الأملاح بشكل عام على العديد من العمليات في النبات كالأنبات والنمو - والشكل الظاهري - وعلى عدد من العمليات الفسيولوجية والأيضية التي يقوم بها النبات . وهناك نوعين من الملوحة هما ملوحة التربة - وملوحة الماء. ويقصد بملوحة التربة - بأنها تلك الأراضي التي تتميز بارتفاع نسبة الأملاح الذائبة واهمها الكلوريدات والكبريتات والكربونات بدرجة ضارة لنمو النبات. ان احتواء التربة على الأملاح الذائبة بكميات عالية سوف تقلل من الجهد المائي للماء فيصبح سالبا. وان الجهد المائي هو الذي يحدد اتجاه حركة الماء بين :-

أ. خلية واخرى.

ب. التربة والجذور.

ج. الجذور والأوراق.

ويتحرك الماء نتيجة الفرق بين المنطقة ذات الجهد المرتفع والمنطقة ذات الجهد المنخفض (والقيمة السالبة للمحلول تعتمد على نوع الأملاح وكمية الأيونات الذائبة في الماء) فيدخل الماء الى الجذور عندما يكون الجهد المائي لمحلول التربة اعلى من الجهد المائي لمحلول الخلايا الداخلية للجذر. إن زيادة تركيز الأملاح يقلل من سرعة دخول الماء الى الجذور مما يسبب هبوط الجهد المائي للجذور فيتوقف امتصاص الماء والذي ينتج عنه تعرض النبات الى جهد مائي كبير يؤدي الى موت النبات ويسمى ذلك الجهد بالجهد الأزموزي

* Osmotic Stress ان ارتفاع الجهد الأزموزي الناتج عن زيادة نسبة الأملاح يؤدي الى :-

1- نقص عدد الثغور التي تنتج الماء.

2- نقص في مساحة الورقة.

3- انخفاض في نمو المجموع الجذري.

وللأملاح تأثير اخر بالإضافة الى الجهد الأزموزي وهو التأثير المباشر على فاعلية الخلايا من خلال ظهور بعض التغييرات الفسيولوجية والمورفولوجية.

فمن التغييرات الفسيولوجية:

1- وجود الأيونات في الساييتوبلازم يقلل من ترطيب البروتين والأنزيمات مما يؤدي الى خلل في عمل الأنزيمات.

2- نقص في تركيز الـ DNA و الـ RNA.

3- زيادة في سرعة التنفس والتي يتبعها زيادة في هدم المواد، مما يؤدي الى التقليل في نمو النبات وانخفاض في سرعة عملية التركيب الضوئي.

4- كما توجد هناك بعض اتأثيرات الخاصة لبعض الأيونات، فمثلا ايونات الصوديوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والكلور لها تأثير مباشر على الخلية النباتية.

* الأسموزية Osmosis : هي صافي حركة انتقال جزيئات الماء عبر غشاء نصف نافذ من منطقة ذات كثافة مائية مرتفعة (تركيز مخفف للذوائب) إلى منطقة ذات كثافة مائية منخفضة (تركيز أعلى للذوائب) دون الحاجة لاستهلاك طاقة . الغشاء النصف نافذ يسمح بنفوذ الماء) المذيب (ولا يسمح بنفوذ الذوائب (solute) مما يؤدي إلى تدرج في الضغط عبر الغشاء.

- 5- قصور في الجهاز الثغري للنبات (غلق الثغور).
 - 6- تغير في قابلية امتصاص النبات للعناصر الغذائية المختلفة (K , P , N).
 - 7- تثبيط نشاط استطالة الخلايا وانقسامها.
- ومن التغيرات المورفولوجية (المظهرية):-

- 1- تقزم النبات.
- 2- تلون اوراقه بلون اخضر داكن.
- 3- زيادة سمك الأوراق.
- 4- حروق على الأوراق للنباتات الخشبية التي تسمت بأيونات الصوديوم والكلوريد إذ أن الأجزاء الخضرية تكون أكثر تأثراً بالأملاح الضارة من الجذور.

أسباب الملوحة

1. التربة الأم (المادة الأصل): إذ أن التحلل المستمر لحبيبات التربة بفعل عوامل التعرية يترك املاح كثيرة مثل الكلوريد والصوديوم والكلور وغيرها والتي مصدرها الصخور والتي قد تتجمع اذا كانت الأمطار قليلة وغير كافية.
2. قلة الأمطار: حيث أن في الأراضي قليلة الأمطار يتم إضافة مياه الري خلال عملية السقي الى التربة فيتبخر الماء وتتراكم الأملاح سنوياً في التربة وبذلك تصبح التربة ملحية وتقل صلاحيتها للزراعة.
3. حركة الماء الأرضي: نتيجة لصعود الماء إلى السطح بفعل الخاصية الشعرية وعند التبخر سوف تزداد الأيونات وتتركز عند السطح.
4. إضافة الأسمدة: إن الإضافة المستمرة وبكميات غير مناسبة للأسمدة الكيماوية التي تحمل بعض الأيونات الضارة (مثل الكبريتات أو الكلوريدات) سوف تؤدي الى زيادة تركيز ايونات هذه الأملاح في محلول التربة.
5. البحار والمحيطات: إن الأراضي التي كانت مغمورة بمياه البحار والمحيطات ثم جفت على مرور السنين فإن مكوناتها الكيماوية تترسب على صورة راسب أرضية أهمها كلوريد الصوديوم.
6. التلوث الجوي: إن الغلاف الجوي محمل بالأتربة الحاملة للأملاح ورذاذ البحر والغازات المختلفة المتصاعدة من المصانع أو الرماد المتصاعد من فوهات البراكين.
7. الري بمياه غير صالحة: إن الري بمياه الميازل أو مياه الآبار الأرتوازية شديدة الملوحة يؤدي بالتأكيد الى رفع ملوحة التربة، كما ان الإسراف في مياه الري يؤدي إلى ارتفاع مستوى الماء الأرضي ولذلك تكون الأراضي المنخفضة عرضة لانتقال المياه من الأراضي المرتفعة.

الأضرار الناتجة عن الملوحة

1. الجفاف الفسيولوجي: على الرغم من وجود المياه بكميات كبيرة إلا أن النباتات تعجز عن إمتصاصه بسبب الجهد الأزموزي الناشئ عن التركيز العالي للأملاح في محلول التربة

(أي بيئة الجذور) Osmatic Potential إن ارتفاع الضغط الأزموزي يؤدي إلى صعوبة إمتصاص الجذور للماء مما يؤدي إلى جفاف النبات.

2. الأثر السام لبعض الأيونات خاصة الكلور والصوديوم **Ion Toxicity**.
3. عدم إتران العناصر أو الأيونات **Ion Imbalance** داخل النبات نتيجة تأثر واضطراب عملية الأمتصاص وتوزيع وانتقال هذه الأيونات.
4. إرتفاع رقم حموضة التربة (pH) فعندما تصبح درجة ال PH = 10 فإن كاتيون الصوديوم سوف يسود في محلول التربة مع حصول إنخفاض في نسبة الأملاح الذائبة عند ذلك تسمى تربة ملحية صودية Saline alkaline مما يؤدي إلى تلف وتدهور الخواص الطبيعية للتربة مما يؤثر على المسامية في بروتوبلازم خلايا الجذر فتضعف قدرته على إمتصاص الأغذية النباتية.

إن الإجهاد الناشئ عن ملوحة التربة ومياه الري يسمى بالإجهاد الملحي Salt Stress وفيه تحدث اضرار ناتجة عن إجهاد الماء Water Stress، كما أن زيادة امتصاص النبات للأملاح تؤدي لزيادة تركيزها في انسجته عموماً وفي الساييتوبلازم والفجوات العصارية بصفة خاصة مما يؤدي إلى تثبيط النشاط الأيضي في النبات واهمها:

- 1- بناء وتمثيل البروتينات.
 - 2- فقد الخلايا للماء.
 - 3- غلق الثغور.
 - 4- التأثير السام للأيونات الخاصة بالأملاح الزائدة.
- وبشكل عام يمكن القول بأن تأثير الشد الملحي الحاصل بسبب زيادة تركيزات الملوحة على نمو النبات يمكن اجمالها بالنقاط التالية:

1. نقص معدل الأنبات ونسبته.
2. نقص في المجموع الخضري للنبات.
3. نقص في طول الجذور.
4. نقص في الوزن الأخضر والجاف للنبات.
5. نقص مساحة الأوراق ومحتواها من الكلوروفيل.
6. نقص المحتوى المائي للجذور والمجموع الخضري.
7. نقص محتوى الكربوهيدرات للمجموع الجذري والخضري.
8. زيادة البرولين[†].

العوامل التي تحدد مدى إستجابة النبات للملوحة

اولاً :- عوامل التربة وتشمل :-

[†] البرولين Proline : وهو حامض أميني يقوم بالحفاظ على حيوية الخلية النباتية تحت ظروف الإجهاد سواء كان إجهاداً مائياً أو ملحياً وذلك لكونه يمنع أو يقلل تكسير البروتين في الخلية فيقوم بالحفاظ على حيوية الخلايا.

المحاضرة الثانية

- 1) **خصوبة التربة:** إن حساسية النباتات للملوحة تختلف تبعاً لخصوبة التربة ففي الأراضي غير الخصبة تظهر أعراض الملوحة ونقص الإنتاج مضاعفاً.
- 2) **درجة حرارة التربة:** حيث تؤثر على دخول الأيونات وحركتها في الجذور، فكلما قلت درجة حرارة التربة تزداد لزوجة الماء وتزداد مقاومة الجذر لحركة الماء فيزداد تأثير الشد الناتج من وجود الأملاح.
- 3) **المحتوى الرطوبي:** عند استعمال السنادين في الزراعة فإن التربة تكون محدودة الكمية فيتغير ما فيها من محتوى الرطوبة بسرعة، إن شدة تأثير الأملاح تتناسب مع تركيزها في محلول التربة وليس مع كميتها، فعند تبخر الماء من التربة تقل كمية الماء فيزداد تركيز الأملاح رغم بقاء كمية الأملاح ثابتة في التربة؛ فتركيز الأملاح عندما تكون رطوبة التربة 50% تساوي نصف تركيزها عندما تصل الرطوبة إلى 25%.
- 4) **تهوية التربة:** إن سوء التهوية يزيد من تركيز أيونات الكربونات كما ويتجمع الكحول من التنفس اللاهوائي فتزداد مقاومة الجذر لحركة الماء ويقل نشاطه في امتصاص العناصر الغذائية الضرورية.

ثانياً :- عوامل تخص النبات وهذه تشمل:

- 1) **إختلاف الأصناف النباتية:** فهناك إختلافات كثيرة بين الأصناف من حيث مقاومتها للملوحة.
- 2) **مرحلة نمو النبات:** وهذه تختلف من نبات لآخر ففي مرحلة إنبات البذور قد تمنع الأملاح الموجودة في مهد البذرة الأنبات أو تأخر الإنبات لما تسببه من إرتفاع في الضغط الأزموزي بحيث لا تستطيع البذور الاستفادة من الماء الموجود. وقد وجد أن المدة اللازمة لإنبات البذور تتناسب طردياً مع الضغط الأزموزي أي مع قدرة البذور على امتصاص الماء. وفي مرحلة نمو البادرات قد يكون لأيونات بعض الأملاح التأثيرات التالية:-
أ- تأثير سام على الأجنة والبادرات، فنبات القطن يكون أكثر حساسية للملوحة خلال النمو الخضري.
ب- تأثير يؤدي إلى إسراع نضج بعض المحاصيل بصفات جودة أقل.
- 3) **الظروف البيئية:** إن للحرارة العالية والرطوبة النسبية تسبب زيادة في النتج فتزيد من الشد المائي الذي يتعرض له النبات وبالتالي فإن درجات الحرارة العالية ستزيد من سرعة دخول أيونات الأملاح إلى النبات فيزداد التأثير الضار لهذه الأيونات في الخلايا، كذلك فإن لمواد التلوث كالعنبر وأبخرة المواد العضوية تقلل من مقاومة النبات للملوحة، أما الضوء الشديد فيسبب زيادة في عملية النتج التي بدورها قد تعرض النبات للجفاف لذا نجد ان النباتات في الظل تكون مقاومة أكثر من المعرضة للضوء الشديد.
- 4) **المواد المضافة:** حيث يمكن عكس التأثير السلبي لبعض الأيونات وذلك بإضافة أيونات أخرى، فعلى سبيل المثال لتقليل التأثير السلبي لأيونات الصوديوم نضيف أيونات الكالسيوم لأنها تقلل نفاذية الأغشية الخلوية بينما أيونات الصوديوم تزيد من النفاذية، ويختلف التأثير العكسي لأيونات الكالسيوم من نبات لآخر كما يمكننا أن نجد بعض منظمات النمو تقلل من التأثير الضار لبعض الأملاح مثل الجبرلين - الكاينيتين، كما ان للتأثير النوعي للكاتيونات مثل الصوديوم الذائب فنجد ان زيادتها إلى نسبة 70% في التربة تؤدي الى موت النبات حيث أن زيادة إمتصاص الصوديوم تؤدي الى نقص واضح في البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم

- الإجهاد الحراري Temperature Stress -

درجة الحرارة ونمو المحاصيل

تعد درجة الحرارة من العوامل الأساسية والمحددة لمراحل نمو النبات المختلفة ابتداء من عملية الانبات. ويمكن اعتبار المدى الحراري بين (5 - 35) درجة مئوية ملائماً لانبات معظم بذور النباتات. وعلى المستوى الخلوي فإن العمليات الأيضية كالتنفس والبناء الضوئي والتفاعلات الانزيمية الأخرى تتأثر كثيراً بدرجات الحرارة فإنها تزداد أو تُسرَّع في تفاعلاتها ولغاية درجة مئوية معينة (عادة أقل من 40 درجة مئوية). إذ أن درجة الحرارة أكثر من 40 درجة مئوية تؤدي إلى إبطال مفعول الأنزيمات مما يسبب عدم اكتمال ذلك التفاعل المعني.

والمعروف أن درجة حرارة الجو تصل أحياناً إلى قيماً عالية أكثر من (40) درجة مئوية، ففي فصل الصيف على سبيل المثال تصل درجة الحرارة نهاراً إلى أكثر من (50) درجة مئوية في المناطق الصحراوية والجافة كما في العراق. لكن النباتات تحافظ على درجة الحرارة داخل أجسامها بحيث لا ترتفع عن الحد المؤثر وذلك من خلال عدد من الأمور من أهمها ما تقوم به من تبديد الحرارة في عملية النتح Transpiration التي يفقد جسم النبات حرارة كبيرة. كما أن ارتفاع الحرارة يسبب زيادة في عملية النتح في النبات فضلاً عن التبخر بشكل عام مما يؤدي إلى الجفاف الذي قد يهلك النباتات.

أن انخفاض درجات الحرارة هو الآخر له تأثيرات سلبية على نمو النباتات خاصة عند وصولها درجة الانجماد التي تؤدي إلى تحديد نمو النباتات وبطء العمليات الأيضية فضلاً عن تأثيرات أخرى كانسداد الأوعية الخشبية من خلال تجميد الماء فيها مما يسبب توقف انسياب الماء إلى أعالي النبات في تلك الأوعية وبذلك تموت تلك الأطراف من النبات.

ويتضح مما تقدم أن درجة الحرارة عامل مهم في نمو النبات وتطوره وبالتالي تأثيرها يصبح واضحاً على نوع الغطاء النباتي وانتشاره وغزارته.

الإجهاد الحراري Heat Stress:

درجة الحرارة عامل بيئي مهم إذ أن لها تأثير مباشر أو غير مباشر على جميع العمليات الفسيولوجية والأيضية في النبات، لذلك فقد تكون درجة الحرارة عامل بيئي مجهد للنبات وهناك نوعان من الإجهاد الحراري :-

1- إجهاد درجة الحرارة المرتفعة High temperature stress.

2- إجهاد درجة الحرارة المنخفضة (برودة، تجمد، صقيع) Low temperature stress.

أن درجة حرارة النبات غير ثابتة فهي تتغير مع تغير درجة حرارة المحيط حول النبات، والعامل المحدد لدرجة حرارة أجزاء النبات هو درجة حرارة المحيط الملامس لذلك الجزء منه، وتعتمد درجة حرارة النبات على الإلتزان بين كمية الحرارة الممتصة وكمية الحرارة المفقودة، فإذا زادت الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة ينتج عن ذلك تسخين النبات والعكس إذا نقصت الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة يؤدي إلى تبريد النبات، ولمعظم النباتات الراقية درجة الحرارة التي تعد خطرة ومضرة تقع بين (45 - 55) م° وتختلف درجة الحرارة الضارة أحياناً بين الخلايا في النبات الواحد نفسه.

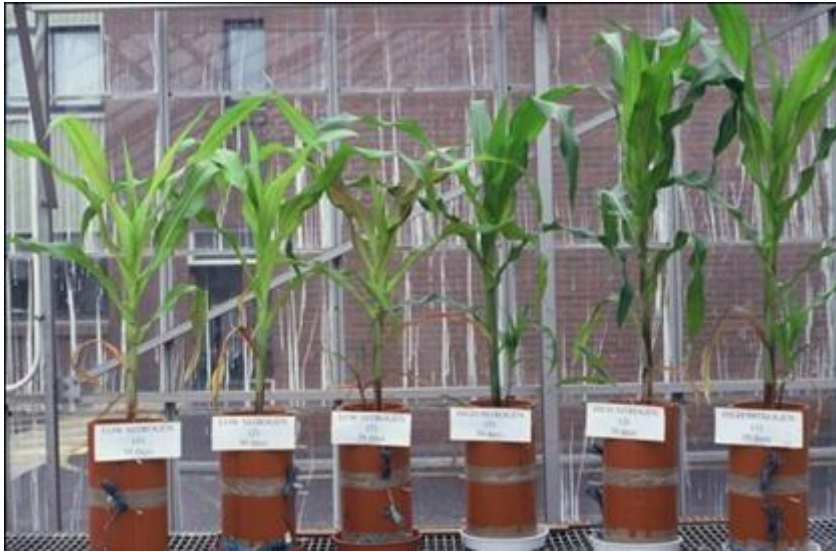
إجهاد الحرارة المرتفعة High temperature stress:

إن ارتفاع درجة الحرارة بشكل عام يؤدي بالنتيجة إلى ارتفاع درجة حرارة النبات ويكون كعامل مجهد لنمو النبات وخاصة في حال انخفاض معدل النتح الذي له دور في تبريد انسجة النبات وان اضرار النبات الناتجة بسبب ارتفاع الحرارة تعتمد على الفترة الزمنية لتعرض النبات لذلك الارتفاع ومن اهم تأثيرات الحرارة المرتفعة على النبات هي :-

- 1- إنخفاض معدل البناء الضوئي وارتفاع معدل التنفس وبذلك يتعرض النبات للجوع عن طريق استهلاك الكربوهيدرات.
- 2- نقص كمية البروتين النشط نتيجة لتكسيره أو لفقد شكله الطبيعي.
- 3- تراكم بعض المواد السامة نتيجة زيادة نفاذية الأغشية.
- 4- زيادة سيولة الدهون خاصة دهون الأغشية الخلوية.
- 5- تغير في طبيعة الأحماض النووية.
- 6- ارتفاع معدل النتح مما يعرض النبات إلى إجهاد جفاف.
- 7- تثبيط النمو وصغر حجم النبات وسقوط الأوراق مبكراً والفشل في تكوين الأزهار.
- 8- تجمع للبروتوبلازم نتيجة لتأثير الحرارة المدمر لمكونات الخلية حيث أن للحرارة تأثير مدمر على الأغشية والسيتوبلازم.

اما اهم الأعراض التي تظهر على النبات نتيجة الحرارة المرتفعة فهي :-

- 1- تلون الأوراق باللون البني وقد تسود بزيادة الإجهاد.
 - 2- ذبول وجفاف عام يصاحبه اصفرار في بداية الإجهاد.
 - 3- ظهور لسع موضعي في الأوراق (قتل موضعي).
 - 4- سقوط الأوراق.
 - 5- صغر حجم النبات والفشل في تكوين الأزهار.
- إن أضرار الحرارة المرتفعة تعتمد على الفترة الزمنية للتعرض.





إجهاد درجة الحرارة المنخفضة Low temperature stress:

يمكن تقسيم إجهاد الحرارة المنخفضة الى نوعين :-

- 1- ينشأ الضرر او الأجهاد من تعرض النبات إلى درجات حرارة منخفضة أعلى من درجة حرارة التجمد يسمى (إجهاد البرودة Chilling Stress).
- 2- ينشأ الضرر او الأجهاد من تعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة تصل إلى درجة التجمد (إجهاد التجمد Freezing Stress).

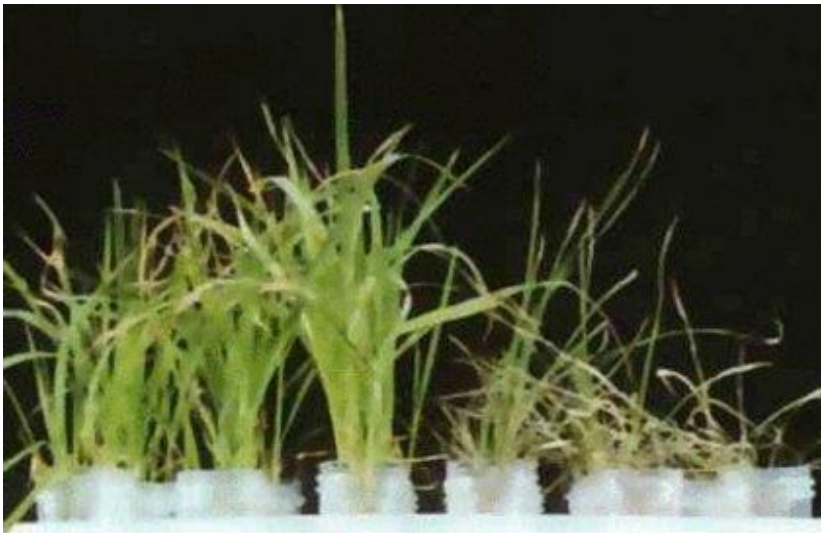
ومن اعراض اجهاد انخفاض الحرارة على النبات هي :-

- 1- تحدث استجابة بطيئة خلال (5 - 6) أيام بعد ذلك تظهر أعراض الذبول على النبات.
- 2- ظهور بقع على أوراق النبات وظهور أعراض نقص العناصر.
- 3- تقزم النبات وتوقف نموه.

قد يعزى تأثير درجات الحرارة المثلى على الإنبات في ارتفاع عمليات التنفس ونشاط الإنزيمات ومنها الـ Catalase¹ ، إلا أن التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة قد يثبط الإنبات لتأثيره على نشاط إنزيمات التنفس بشكل خاص وعلى الإنزيمات بشكل عام ، كما يعزى الضرر الناتج من انخفاض درجات الحرارة إلى تكوين بلورات من الثلج داخل الخلايا أو بينها (في المسافات البينية) مما يؤثر على التركيب الوظيفي للأغشية الخلوية وعلى البروتوبلازم (لزوجته) وبالتالي يؤثر على عمليات النقل.

¹ هو إنزيم منتشر في الكائنات الحية. تتضمن وظائفه تحفيز تحلل بيروكسيد الهيدروجين H₂O₂ إلى ماء وأكسجين، وتوجد علاقة طردية بين بناء صبغات اليخضور ونشاط إنزيم Catalase، وذلك يعني إنه عندما ينشط الإنزيم فإن معدلات إنتاج صبغات اليخضور ترتفع. وعندما ينخفض نشاط الإنزيم تنخفض معدلات إنتاج اليخضور. ووجد أن الأوراق الخضراء الشاحبة يكون نشاط Catalase بها مرتفعاً.





Unstressed

Cold stressed



Unstressed

Cold stressed

إجهاد البرودة Chilling Stress

يحدث إجهاد البرودة لمعظم النباتات عند تعرضها لدرجة حرارة أقل من (10 إلى 15 م°) وقد تصل إلى صفر مئوية، قد يسبب إجهاد التجمد موت أنسجة النبات بسبب تكون بلورات ثلجية في أنسجة النبات، ومن الممكن أن تبرد بعض النباتات إلى درجة حرارة أقل من الصفر ولا يحدث لها ضرر إذا لم تتكون البلورات الثلجية فيها، والبلورات الثلجية قد تتكون في المسافات البينية للخلايا أو داخلها.

ولأجهاد البرودة عدة تأثيرات على النبات منها :-

- 1- توقف حركة الساييتوبلازم.
- 2- زيادة نفاذية الأغشية وتسرب المواد الذائبة من الخلايا.
- 3- زيادة معدل التنفس وانخفاض معدل البناء الضوئي (الجوع).
- 4- تضرر أغشية البلاستيدات الخضراء وتكسير الكلوروفيل (نقص معدل البناء الضوئي).
- 5- تراكم المواد السامة.
- 6- الجفاف وذلك لأنخفاض معدل امتصاص الجذور للماء.
- 7- زيادة معدل هدم البروتين عن معدل بناءه وتراكم NH_3 السام.
- 8- تثبيط عمليات النقل للتغير في طبيعة الدهون المكونة للأغشية.

إجهاد التجمد Stress Freezing

ينشأ إجهاد التجمد من تعرض النبات الى درجة حرارة منخفضة تصل لدرجة التجمد وقد يسبب التجمد موت أنسجة النبات والسبب الرئيسي للموت هو تكون البلورات الثلجية في أنسجة النبات وقد تتكون البلورات الثلجية خارج الخلايا او في داخل الخلايا ويعزى الموت والضرر عند تكون الثلج في داخل الخلايا الى :-

- 1- الأختلال في التركيب الطبيعي لمكونات الخلية النباتية.
- 2- تجفيف الخلايا.
- 3- زيادة تركيز المواد السامة في الخلية نتيجة التجفيف.
- 4- حدوث ضرر للبروتوبلازم نتيجة انتقال الماء من خارج الخلية الى المسافات البينية (وجود بلورات الثلج).
- 5- ضرر ميكانيكي تحدثه البلورات في الخارج على الخلية.



تعتبر التربة نظاماً متعدد الأطوار والتي تحتوي على المواد الغذائية في درجة عالية في درجة ذوبان متفاوتة وكما هو معلوم أن التربة هي المصدر لإغلب العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات وهذه العناصر تكون بصورة ذائبة في محلول التربة ويعتمد جاهزية هذه العناصر على نسجة التربة وتواجد المياه فيها وكذلك على درجة حموضة التربة. إن الرقم الهيدروجيني الأفضل هو (6 – 7.5) ومع ذلك فإن قليلاً من الترب التي تمتلك مثل هذا الرقم الهيدروجيني حيث يمكن للترب أن يزيد رقمها الهيدروجيني أو ينقص حسب العوامل البيئية والأنشطة البشرية فينتج عن ذلك الترب القلوية (القاعدية) والحامضية، فالترب القلوية (القاعدية) يكون فيها توفر في عناصر الفسفور والحديد والموليبديوم إذ تكون فيها الكاتيونات متوفرة، أما الترب الحامضية حيث تعاني النباتات من نسب عالية من الألمنيوم تصل إلى حد السمية كما ان الفسفور يكون نادراً فيها.

تشكل الأراضي الحامضية ما يقارب 4000 مليون هكتار في العالم في حين تشكل الترب القاعدية ما يقارب 25% من سطح الأرض، وهذه الترب – سواءاً كان حامضية أو قاعدية – تعد مشكلة رئيسية في إنتاج المحاصيل في العالم حيث تعاني من قلة الإنتاجية.

تشير العديد من الدراسات إلى إنتاج الحبوب في العالم يجب أن تزداد في السنوات القادمة للحفاظ على الاحتياجات الغذائية للسكان البشري المتزايد حيث من المتوقع أن يصل تعداد سكان العالم بحلول عام 2050 إلى أكثر من 10 مليارات نسمة (حالياً يبلغ تعداد سكان العالم ما يقارب 7 مليارات نسمة). ومن هنا نجد أن حامضية أو قاعدية التربة هي أحد الخيارات الصعبة القليلة التي تواجه التوسع الزراعي خلال العقود الماضية حيث تم إجراء دراسات عديدة لفهم استراتيجيات التكيف الفسيولوجي والحيوي التي يستخدمها النبات للنمو في الترب الحامضية أو القاعدية.

حموضة التربة Soil pH

من الضروري التعرف على كيمياء التربة لإدارة المحاصيل المناسبة للحصول على الإنتاجية المثلى، فحموضة التربة هي العامل المؤثر في العديد من خصائص التربة حيث تعد الحموضة (pH) مقياساً لعدد البروتونات في محلول التربة حيث يكون التركيز الفعلي لأيونات (H^+) في محلول التربة قليلاً جداً، فعلى سبيل المثال الرقم الهيدروجيني لتربة معينة تبلغ (4.0) فتركيز أيونات الهيدروجين الفعلي هو (0.0001 مول/لتر)، لأن مقياس الرقم الهيدروجيني يعتمد على استخدام اللوغاريتم فكل تغيير عدد صحيح للحموضة (مثلاً 5 إلى 4) يمثل ذلك زيادة عشرة أضعاف في تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) لذلك عندما تزيد كمية أيونات الهيدروجين فإن قيمة (pH) تنخفض، وأيضاً تكون التربة ذات الرقم الهيدروجيني (7) ذات تركيز لإيونات الهيدوجين أقل من 100 مرة مقارنة مع حموضة التربة التي رقمها الهيدروجيني (5). والجدول التالي يبين أنواع الترب حسب قيمة الرقم الهيدروجيني لها:

نوع التربة	قيمة الرقم الهيدروجيني (pH)
فائقة الحموضة Ultra-Acid	أقل من 3.5
حامضية إلى أبعد الحدود Extremely Acid	4.4 – 3.5
حامضية بشكل عالي جداً Very strongly Acid	5.0 – 4.5
حامضية بشكل عالي Strongly Acid	5.5 – 5.1
متوسطة الحموضة Moderately Acid	6.0 – 5.6
قليلة الحموضة Slightly Acid	6.5 – 6.1
طبيعية Neutral	7.3 – 6.6
قاعدية خفيفة Slightly Alkaline	7.8 – 7.4
متوسطة القاعدية Moderately Alkaline	8.4 – 7.9
عالية القاعدية Strongly Alkaline	9.0 – 8.5
عالية القاعدية جداً Very strongly Alkaline	أكثر من 9.0

الترب الحامضية Acids Soils

عملية تكوين التربة هي عملية طبيعية بدأت عندما كونت الطحالب والأشنيات مستعمرات على السطوح الصخرية، وإن عملية إزالة الكاتيونات والاحتفاظ الأنيونات من جزيئات التربة والمرتبطة بالعوامل البيئية أو البشرية ينتج في النهاية ارتفاع في حموضة التربة.

في الترب المتعادلة الحموضة؛ فإن إمكانية زيادة الحموضة فيها قد يحصل من خلال نشاط الإنسان (كإضافة الأسمدة بشكل مفرط) وكذلك من خلال زيادة المواد العضوية وبشكل عالي حيث تحرير البروتونات من خلال التفاعل مع غاز ثاني أكسيد الكربون وزيادة الحموضة تدريجياً.

تختلف درجة الحموضة بشكل كبير وذلك بسبب العوامل البيئية أثناء تكوين التربة والمناخ والمادة الأم والنباتات المزروعة. فالتربة التي تكون قيمة pH فيها بين 4.5 – 5.6 تكون فقيرة بالعناصر التالية: (الفسفور P، الكالسيوم Ca، المغنسيوم Mg، والمولبيديوم Mo) كما وتعاني من سمية بعض العناصر (كالألومنيوم Al) حيث تؤثر زيادة عنصر الألمنيوم في كل من:

- 1- نمو الجذور.
- 2- إمتصاص العناصر الغذائية.
- 3- إنقسام الخلايا.
- 4- التنفس.
- 5- تمثيل النتروجين وعملية فسفرة الكلوكوز.

لذلك فمن الضروري تحديد نوعية الحموضة في التربة لتدارك المشاكل ومعالجتها في الوقت المناسب دون حدوث أضرار للمحاصيل التي ستزرع فيها.

إن الترب التي تكون فيها الحموضة عالية جداً نجد أنها قد أثرت في الخصائص الحيوية والفيزيائية والكيميائية فيلاحظ أن تركيز عنصر الكالسيوم منخفضاً والذي يعد الأساس في الحفاظ على بناء التربة والتنوع البيولوجي فيها، في بعض الأحيان نجد أن قيمة pH مرتفعاً عندما تكون المادة العضوية مركزة وبشكل كبير وبالتالي نلاحظ أن أيونات الهيدروجين متواجدة بشكل ينافس الأيونات الأخرى ونلاحظ أن النباتات تعاني من نقص العناصر على الرغم من وجود المواد العضوية الغنية فيها.

الترب الجيرية (الكلسية) Calcareous soils

تعتبر الترب الجيرية غنية بكاربونات الكالسيوم ونجد مثل هذه الترب في المناطق شبه الجافة من الكرة الرضية والتي تعد أحد أنواع الترب العراقية وهي نتيجة لمادة الأصل التي تحوي على كاربونات الكالسيوم والأفق الكلسي وعادة تكون هذه الترب غنية بالكالسيوم والمغنسيوم، كما هو معلوم أن الحجر الكلسي له القابلية على الذوبان في الماء ولذلك فإن لسقوط المطار وبشكل متكرر وللطبوغرافية وكذلك لقوام التربة الأثر كبير في زيادة تركيز كاربونات الكالسيوم في محلول التربة، تمتاز هذه الترب كون الغطاء النباتي فيها يحتوي على الشجيرات الصغيرة والحشائش الحولية، وهناك بعض الدراسات تقول إمكانية اعتبار الترب الكلسية ملحية إذا كانت هناك زيادة في نسبة الجير لما له نفس سلوك الملوحة في التربة.

ومن الملاحظ على التربة الجيرية (الكلسية) أنها تعاني من قلة في المواد العضوية وكذلك شحة في نسبة النتروجين والفسفور (ويرجع السبب في ذلك إلى تكوين مركبات فوسفات الكالسيوم والتي تسمى - الأباتيت -) وكذلك تعاني هذه الترب من فقر في العناصر الصغرى كالزنك والحديد، فالترب الجيرية غالباً ما تحتوي على مركبات كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ونترات الصوديوم $NaNO_3$ وهذه المركبات تكون قليل الذوبان في الماء نسبياً وهذه المركبات تؤدي إلى تشبع مواقع التبادل في حبيبات التربة بالكالسيوم والصوديوم فعند قياس حموضة التربة نجد أن الحموضة تبلغ (7 - 8.3) وربما تصل إلى أكثر من ذلك إذا كانت التربة محتوية على مركبات $NaNO_3$ بشكل كبير.

إستجابة النبات لإجهاد الحموضة

تشمل استجابة النبات لإجهاد الحموضة جوانب عديدة منها تغييرات شكلية أو خلوية أو تغييرات في المسارات الأيضية وتنظيم نسخ الجينات أيضاً، تتعرض النباتات التي تنمو في التربة الحامضية والجيرية باستمرار إما ندرة العناصر أو سمية المعادن. فيجب أن تكون هذه النباتات قادرة على زيادة ذوبان العناصر الغذائية وضبط انتقائية امتصاص الأيونات. وبشكل عام، فإن الجذور لها القابلية على زيادة ذوبان العناصر الغذائية وامتصاص مركبات النواتج الأيضية مثل السكريات والأحماض العضوية، والمركبات الثانوية والانزيمات التي من شأنها أن تغير كيمياء منطقة الجذور (المنطقة القريبة من التربة المحيطة بالجذر). وإفراز المواد عن طريق الجذور تختلف وفقاً لنوع وظروف التربة والحالة التغذوية للنبات. من ناحية أخرى، فعالية النقل النشط يلعب دوراً في إنتقائية امتصاص العناصر المعدنية.

إستجابة النباتات للمعادن الثقيلة:

في الترب الحامضية، نجد أن هناك تراكيز عالية من العناصر الثقيلة¹ حيث يتم نقلها إلى الجذور وتتسبب في آثار سمية نباتية والتي تحد من نمو الجذور والتقليل من محتوى الكلوروفيل والتركيب الضوئي، وكذلك التثبيط من الأنشطة الإنزيمية و الأضرار التي تلحق بالبلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا، وبالتالي، فإن العديد من الأنواع النباتية قد تطورت وراثياً وفسولوجياً للبقاء على قيد الحياة في التربة ذات السمية بالمعادن الطبيعية أو في تلك الترب التي تعاني من تلوث بالمعادن الثقيلة. ومن الطبيعي أن تجد أنواعاً من نباتات العائلة النجيلية، العائلة البقولية والصليبية إنتشرت على نطاق واسع في جميع أنحاء النظم البيئية والتي تعاني من المعادن الثقيلة الملوثة في جميع أنحاء العالم.

النباتات التي تأقلمت مع بيئة العناصر الثقيلة تتخذ طريقين أساسيين لمقاومة سمية المعادن: إما أن تتجنب المعادن الثقيلة من خلال الامتصاص القليل لها و كذلك عند النقل (ما بين الجذر والمجموع الخضري) حيث تقل كميتها (كمية العناصر المعدنية الثقيلة) أثناء هذه العملية، أو أن يقوم بامتصاص كميات كبيرة من العناصر وتركيزها في أجزاء نباتية معينة ومن ثم التخلص منها أو الاحتفاظ بها.

ربما يعزى سبب عدم دخول العناصر الثقيلة بمستويات عالية وقاتلة للنبات من خلال إفراز الجذور لمواد مخلبية أو من خلال تفعيل نقل الغشاء الخلوي بإرجاع المعادن إلى التربة مرة أخرى.

تحمل الألومنيوم عن طريق الاستبعاد Aluminum tolerance by exclusion

يعتبر كاتيون الألمنيوم (Al^{+3}) ساماً لكثير من النباتات عند تواجده بكميات قليلة تقدر بالمايكرومولر، إلا أن النباتات قد تأقلمت وتكيفت للنمو في مثل هكذا بيئة (البيئة الحامضية) ومن ضمن هذه الأساليب التي يتخذها النبات هي زيادة القلوية في المناطق المحيطة بالجذور (منطقة الرايزوسفير (Rhizosphere) وكذلك زيادة طرح الألمنيوم عبر الغشاء الخلوي البلازمي.

هنالك أنواع نباتية لها القدرة على إفراز أحماض عضوية عبر جذورها لتتعامل مع الألمنيوم وهذا الأحماض مثل (السيترات - الأوكزالات - المالكيت - ... الخ) وظيفه هذه الأحماض تكون مركبات قوية مع الألمنيوم لحماية جذور النباتات من تأثير الألمنيوم السام عليها، من الأمثلة على هذه النباتات (نبات Snap bean - نبات Cassia tora - والذرة).

تم التوصل إلى آليتين في إفراز الأحماض العضوية في جذور النباتات، الأولى: الإستجابة السريعة للإفراز حالما يشعر النبات بوجود الألمنيوم وذلك بتنشيط خاصية الغشاء البلازمي لضخ الأحماض العضوية ويعتقد أن البروتينات اللازمة لبناء الأحماض العضوية موجودة فعلاً وهذا ما يفسر سرعة الإستجابة، الآلية الثانية: تأخر إفراز الأحماض العضوية بعد عدة ساعات من تعرض جذور النباتات للألمنيوم ويعتقد أن هذا التأخير يعود إلى تحفيز النبات على بناء البروتين وإمكانية مشاركة هذه البروتينات المصنعة في تكوين الأحماض العضوية أو في نقل أيونات هذه الأحماض العضوية.

¹ العناصر الثقيلة: عبارة عن عناصر غذائية معدنية صغرى مثل: الحديد، المنغنيز، النحاس، الزنك والمعادن الأخرى مثل الألمنيوم، الكاديوم والرصاص والنيكل.

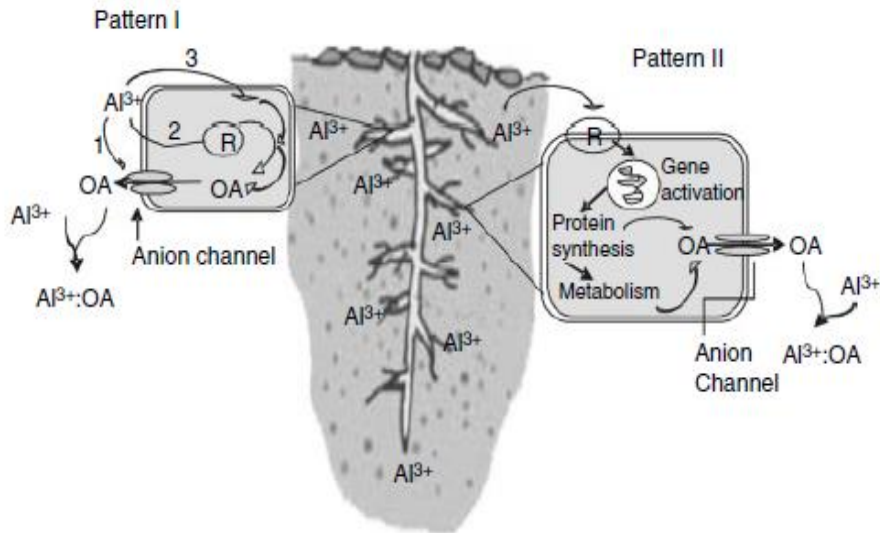


صورة لنبات Cassia tora

صورة لنبات Snap bean



صورة لبذور Cassia Tora

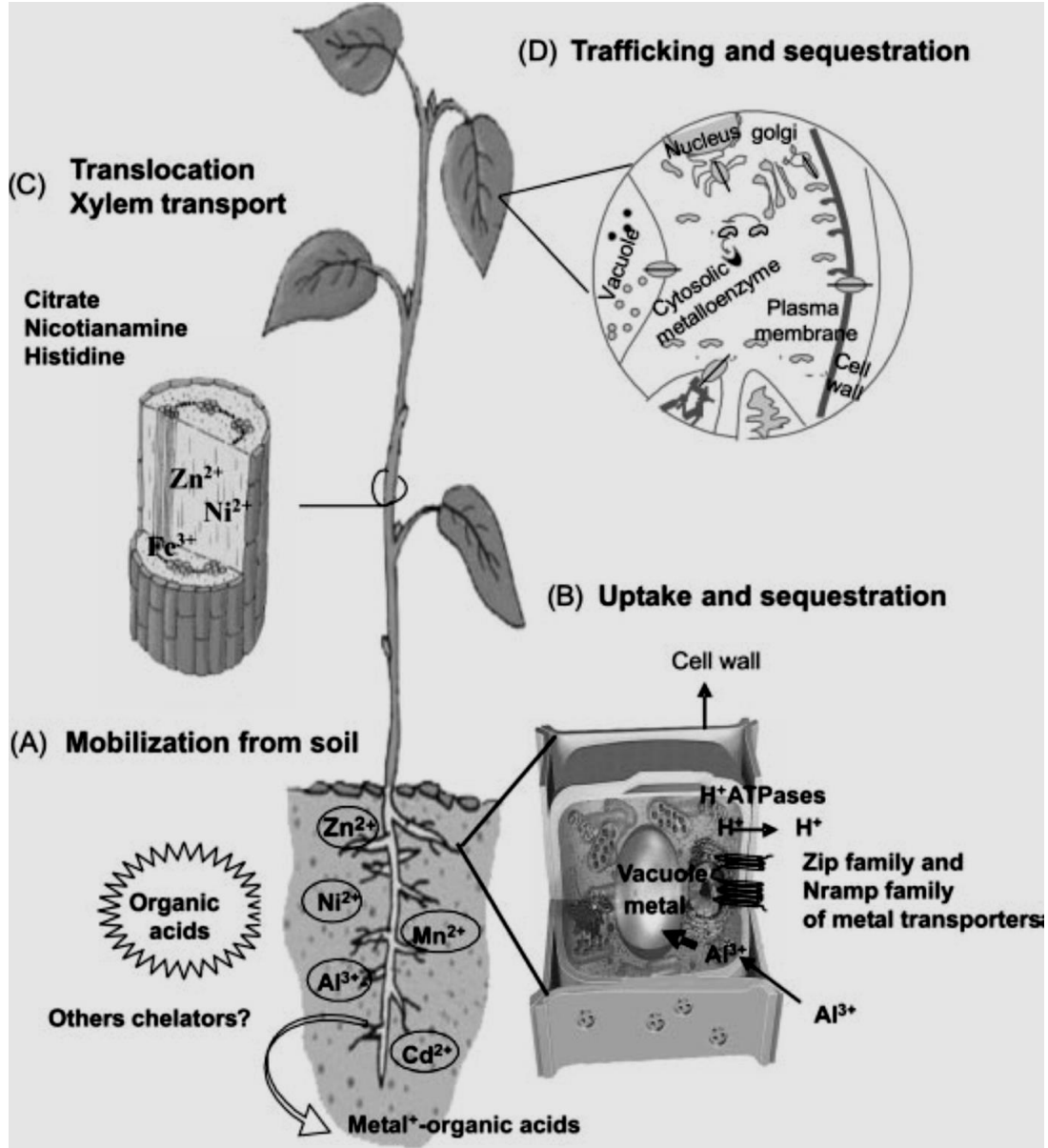


مخطط يوضح طريقتي التعامل مع العناصر الثقيلة السامة

المحاضرة الرابعة – إجهاد الحموضة

على الرغم من وجود العديد من الأحماض العضوية في خلايا الجذور إلا أن هناك عدد قليل جدا من الأحماض العضوية لمعالجة سمية بعض العناصر الثقيلة كالألمنيوم، وهذا يعود لوجود أنظمة نقل تختلف من نبات إلى آخر حسب الأنيونات الخاصة للأحماض العضوية الموجودة كما في الحنطة والذرة الصفراء.

بعض النباتات لها القدرة العالية على تراكم التراكيز العالية من المعادن الثقيلة في داخل انسجتها كالزنك والنيكل والكاديوميوم من دون تلف أي خلايا نباتية وهذه النباتات تعود للعائلة الصليبية *Brassicaceae*



مخطط يوضح الآليات التي يتخذها النبات لمواجهة العناصر الثقيلة

الضوء ودوره في حياة النبات

يعد الضوء (Light) عامل بيئي مهم لحياة النبات ويؤثر على جميع مراحل تكشف النبات ، لكنه قد يكون عامل بيئي مجهد للنبات، وتعتبر البلاستيدات الخضراء من أهم الأجزاء النباتية لإن وظيفتها الأساسية هي البناء الضوئي وهي خلايا قليلة التواجد في النبات ومعقدة قياساً بالأجزاء النباتية الأخرى. إن عملية البناء الضوئي تعد الجزء الأساس في الحفاظ على الحياة على وجه الكرة الأرضية إذ أنها تقوم بتوفير الكربوهيدرات وهي الأساس في السلسلة الغذائية للكائنات الحية.

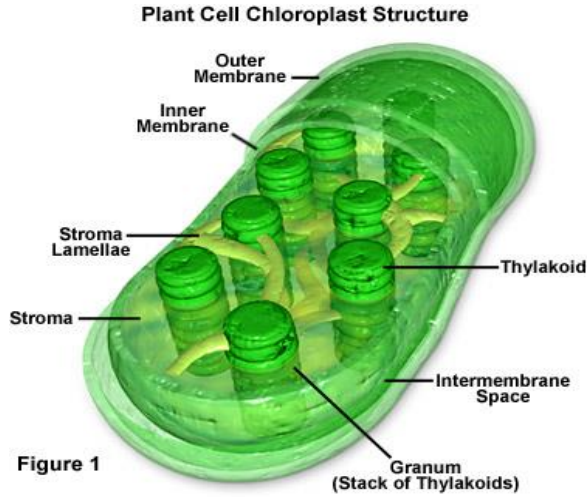
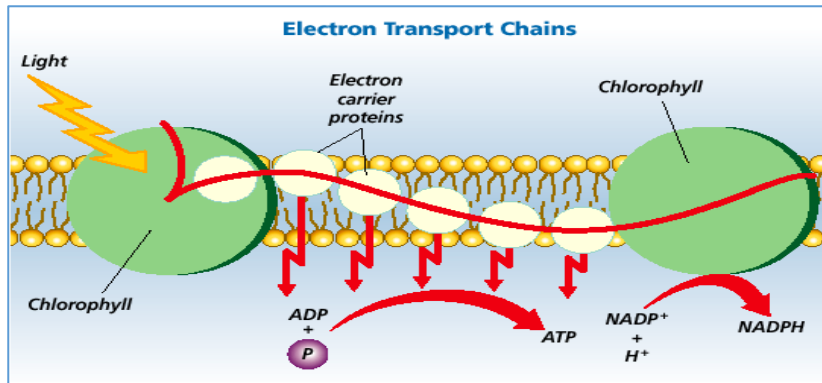


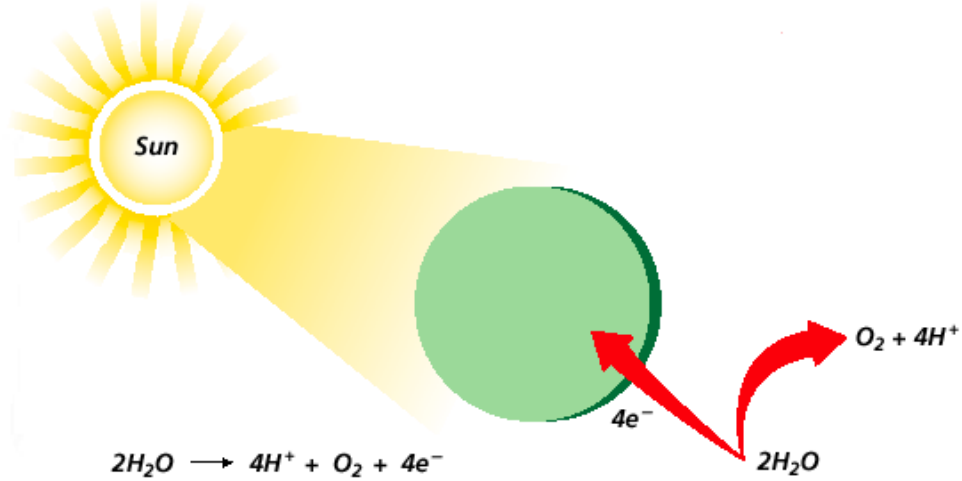
Figure 1

يوضح الرسم شكل البلاستيدة الخضراء في النبات

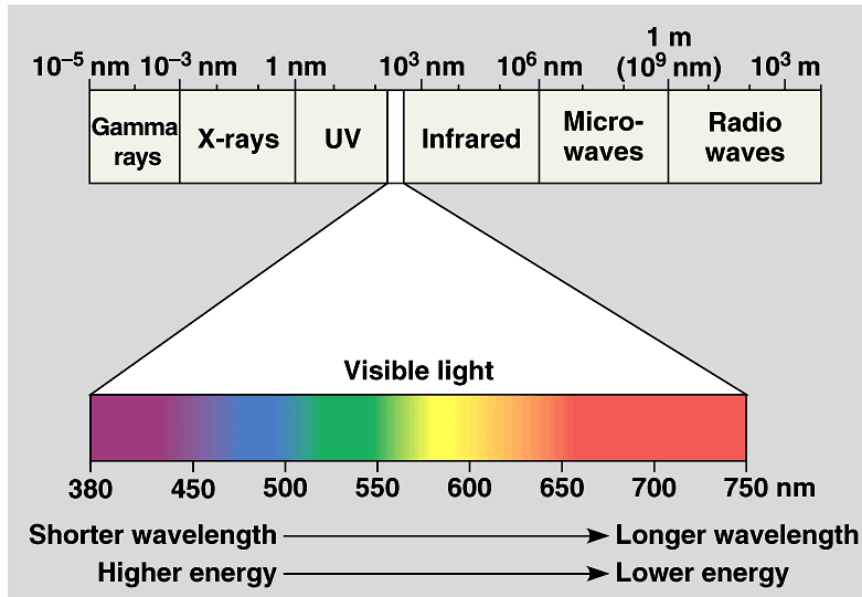
فكما هو معلوم أن البلاستيدات الخضراء تقوم باستخدام مواد متوفرة في كوكب الأرض كالماء وضوء الشمس والأشياء الأخرى لتوفير الطاقة (ATP) وتقليل صرف هذه الطاقة المستخدمة عن طريق استخدام مركب (NADPH^1) وهذان المركبان لهما الدور الرئيسي في تفاعلات الظلام للتمثيل الضوئي وهو تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ويساهمان أيضاً في تركيب العديد من المركبات كالأحماض الدهنية والأمينية والنوية كل ذلك يأتي من الدور الذي تلعبه البلاستيدة الخضراء.



¹ NADPH (فوسفات ثنائي نيوكليوتيد الأدينين وأميد النيكوتين): هو عامل مساعد في تفاعلات التمثيل الغذائي، مثل الدهون وتوليف الحمض النووي والتي تتطلب NADPH كعامل مختزل. NADPH هو صورة مختزلة من NADP^+ . يتم استخدامه كعامل مختزل في دورة كالفن لهضم ثاني أكسيد الكربون حيث يساعد في تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى جلوكوز. كما يستخدم في اختزال النترات إلى أمونيا في دورة النيتروجين.



كما هو معلوم أن الإشعاع الشمسي هو المصدر الأساسي لعملية البناء الضوئي ولكن في بعض الأحيان يقوم الإشعاع الشمسي بعملية تثبيط عملية البناء الضوئي بعملية تسمى (photoinhibition) وهذه العملية تعمل على تقليل إنتاجية النبات للغذاء المصنوع ويقوم بمعالجة هذا الخلل النظام الضوئي الثاني²، ولكن لا تعتبر عملية (photoinhibition) مؤذية إلا إذا تجاوزت الحد الذي لا يستطيع النظام الضوئي الثاني (PS II) التعويض لهذا التثبيط. إن عملية إصلاح جزئيات جهاز البناء الضوئي التالفة يجب أن تنظم وبدقة لذلك فإن هناك مجموعة من البروتينات (المساعدة) مثل (Kinases – phosphatases – proteases الخ).



² بشكل عام عملية البناء الضوئي تحدث فيها نوعين من التفاعلات هما تفاعلات الضوء وتفاعلات الظلام، تحدث تفاعلات الضوء في منطقة الكرانا (Grana) حيث يقوم الكلوروفيل بامتصاص الطاقة الضوئية ولكن الطاقة الضوئية تحتوي على أطوال موجية مختلفة لذلك سنتقسم هذه الأطوال الموجية إلى قسمين يقوم بامتصاصها نوعين من النظم الضوئية (النظام الضوئي الأول والذي يعرف باختصاراً PS I والنظام الضوئي الثاني والذي يعرف باختصاراً PS II)

أهمية الضوء في حياة النبات:

يمكن تلخيص أهمية الضوء بالأمور التالية:

- 1- **التمثيل الضوئي Photosynthesis** : تسمى العملية التي يتم بها تحويل ثاني أكسيد الكربون الجوي إلى مادة عضوية داخل جسم النبات بمساعدة الطاقة الضوئية بعملية التمثيل الضوئي والتي تتم في النباتات الراقية في خلايا الأوراق التي تحتوي على مادة الكلوروفيل الذي يعمل كعامل إمتصاص للضوء فيخزن الطاقة الضوئية التي تستخدم في العمليات التي تحتاج إلى طاقة مثل عملية تحويل ثاني أكسيد الكربون CO₂ إلى سكر وهو الناتج النهائي لعملية التمثيل الضوئي وفضلاً عن كون هذه العملية الأساسية للإزهار فإنها المصدر الرئيسي لتكوين الصبغات الملونة في الأزهار وكلما كانت الكربوهيدرات متوفرة كانت الألوان زاهية ولهذا فإن ألوان الأزهار تبهت في الصيف لإرتفاع معدل التنفس للنباتات حيث يستهلك فيه كمية كبيرة من الكربوهيدرات.
- 2- **إتجاه القمة النامية Phototropism**: الأزهار تتجه أطرافها دائماً لأعلى وخاصة في النورات السنبلية ولهذا وجد عند وضع نبات الجلاديولاس أفقياً مدة طويلة بعد القطف فإن أطرافها لا تلبث أن تتجه إلى أعلى لذا يفضل ربطها في حزم في وضع قائم.
- 3- **التأقت الضوئي Photoperiodism** : هو أثر طول النهار على إزهار النباتات وله علاقة بتكوين صبغة الأنثوسيانين الحمراء في أوراق الأشجار في الخريف وله أثر أيضاً في تساقط أوراق بعض الأشجار وكذلك يساعد قصر النهار على إختزان الغذاء في بعض النباتات الورقية مثل الداليا وأصبح إستخدام أثر التأقت الضوئي هو تكوين الأزهار إذ أصبح أداة في يد المزارعين للتحكم في موسم الأزهار لإنتاج أزهار في مواعيد غير وقتها على مدار السنة وذلك بالتحكم في طول النهار بالإضاءة الصناعية لإطالة طول النهار إلى حد معين من تعرض النباتات للضوء أو تغطية النباتات جزءاً من النهار بقماش أسود يحجب الضوء إذا أراد تقصير طول النهار.

وبشكل عام فإن الإجهاد الضوئي يمكن أن يكون:

- 1- نقص الإضاءة Light deficit stress (إجهاد الظل) أي تعرض النبات لشدة ضوئية منخفضة
- 2- زيادة الإضاءة Excess light stress أي تعرض النبات لشدة ضوئية مرتفعة.

أولاً:- إجهاد نقص الإضاءة:

هو الضرر الذي يصيب النبات عند تعرضه لشدة ضوئية أقل مما اعتاد عليه النبات (النباتات الإستوائية). يؤثر الضوء بشكل مباشر على البناء الضوئي حيث تقل عملية البناء الضوئي عند شدة إضاءة مساوية أو أقل من النقطة الحرجة للضوء³ ، وعندها يكون معدل التنفس أعلى من معدل البناء الضوئي مما يعرض النبات للمجاعة نتيجة زيادة عمليات الأكسدة عن البناء ، خصوصاً عند تعرض النبات لشدة إضاءة منخفضة عن الحد الحرج لفترة زمنية طويلة. وتختلف النقطة الحرجة من

³ النقطة الحرجة للضوء: وهي الفترة التي يزهر النبات عند التعرض إليها.

نبات لآخر باختلاف النوع النباتي ، ولكنها أقل من 2 % من ضوء الشمس بشكل عام، وقد يؤثر نقص أو انخفاض الشدة الضوئية في شكل النبات من حيث :

أ- مساحة الأوراق.

ب- لون الأوراق.

ج- وطول السلاميات،

وهذه الخواص تعود جزئياً إلى قلة الأشعة البنفسجية والزرقاء في الظل.

ثانياً : إجهاد زيادة الإضاءة:

هو الضرر الذي يصيب النبات عند تعرضه لشدة ضوئية أكبر مما اعتاد عليه النبات (نباتات المناطق الباردة) ، وينشأ من زيادة كمية الضوء الساقط على الأوراق عن كمية الضوء المستخدمة في عملية البناء الضوئي سواء نشأ ذلك عن زيادة كمية الضوء أو نشأ عن انخفاض معدل البناء عند تعرضه لإجهاد آخر مثل الجفاف أو البرد مع ثبات كمية الضوء الساقط ، ويؤدي التعرض لشدة ضوئية عالية لفترة زمنية طويلة إلى :

- 1- تحطيم ضوئي لأصبغ البناء الضوئي (أكسدة ضوئية) Photo Oxidation بعد عملية تثبيط للبناء الضوئي.
- 2- رفع درجة حرارة النبات ويتبعه زيادة معدل النتح (ضرر ثانوي).
- 3- زيادة الطاقة الحركية لجزيئات الأصباغ والعضيات المكونة للخلية مما يؤدي إلى خلل في العمليات الأيضية نظراً لارتفاع درجة حرارة النبات.
- 4- تثبيط النشاط الإنزيمي لإنزيمات البناء والتنفس بارتفاع درجات الحرارة.
- 5- تحول الدهون (في الأغشية) إلى دهون غير مشبعة نتيجة أكسدتها مما يزيد من سيولتها وبالتالي التأثير على خاصية النفاذية للأغشية
- 6- تؤثر زيادة الشدة الضوئية على نمو النبات بشكل عام بسبب تأثيرها على نشاط الأوكسينات (هرمون النمو) حيث وجد أن لزيادة الشدة الضوئية عن الحد الذي يتحملة النبات تأثير ضار على الأوكسينات حيث تعمل على تكسير وتحطيم الأوكسين وتحويله إلى مركبات أيضية غير نشطة بواسطة الأكسدة الضوئية خصوصاً في وجود صبغة الرايبوفلافين.

إجهاد التلوث

يمكن تعريف التلوث (Pollution) بأنه أي تغير في الصفات الكيميائية أو الفيزيائية أو الحيوية للبيئة، ويحدث بفعل إنتقال الملوثات من مصادرها المختلفة بكميات مختلفة مسببة ضرراً صحياً وإقتصادياً للإنسان وللكائنات الحية الأخرى بما فيها الحياة النباتية.

كما هو معلوم أن النباتات هي المصدر الأساس لتغذية الإنسان وبعض الكائنات الحية الأخرى لما تتمتع به من قدرة على صنع الغذاء وتخزينه في الأجزاء النباتية المختلفة، ولهذا فقد كان الاهتمام عليها منصباً منذ القدم، حيث تمت تهيئة الظروف المناسبة التي تساعدها على أداء وظائفها وخدمتها بالري والتسميد وعمليات الخدمة الأخرى، لكن النباتات تعرضت للتلوث عبر مختلف المصادر، وأحدث ذلك أضراراً متباينة في النبات بشكل كامل، أو في أجزاء منه في المناطق التي تتعرض للتلوث. وقد تظهر الأضرار بشكل مباشر أو غير مباشر.

درجات التلوث البيئي

حدد العلماء ثلاث درجات للتلوث البيئي ، هي :

- أ- التلوث المقبول: حيث لا تكاد تخلو منطقة من مناطق الكرة الأرضية من هذه الدرجة من التلوث نظراً لسهولة نقل التلوث بأنواعه المختلفة من مكان إلى آخر سواء كان ذلك بواسطة العوامل المناخية أو البشرية والتلوث المقبول هو درجة من درجات التلوث التي لا يتأثر بها توازن النظام الإيكولوجي ولا يكون مصحوباً بأي أضرار أو مشاكل بيئية رئيسية.
- ب- التلوث الأخطر: هو في الدرجة الثانية و تعاني منه كثير من الدول الصناعية ويعود بالدرجة الأولى إلى النشاط الصناعي وزيادة النشاط التعديني والاعتماد بشكل رئيسي على الفحم والبتروك كمصدر للطاقة وهذه المرحلة تعتبر مرحلة متقدمة من مراحل التلوث حيث أن كمية ونوعية الملوثات تتعدى الحد المقبول، و يبدأ معه التأثير السلبي على العناصر البيئية الطبيعية والبشرية كما وتتطلب هذه المرحلة إجراءات سريعة للحد من التأثيرات السلبية ويتم ذلك عن طريق المعالجة باستخدام وسائل تكنولوجية حديثة كإنشاء وحدات معالجة كفيلة بتخفيض نسبة الملوثات لتصل إلى الحد المسموح به دولياً أو عن طريق سن قوانين وتشريعات وضرائب على المصانع التي تساهم في زيادة نسبة التلوث.
- ج- التلوث المدمر: يمثل المرحلة التي ينهار فيها النظام الإيكولوجي (البيئي) ويصبح غير قادر على العطاء نظراً لاختلاف مستوى الاتزان بشكل جذري ولعل حادثة (تشرنوبل) التي وقعت في المفاعلات النووية في الاتحاد السوفيتي سابقاً خير مثال للتلوث المدمر حيث أن النظام البيئي انهار كلياً ويحتاج إلى سنوات طويلة لإعادة اتزانه بواسطة تدخل العنصر البشري وبتكلفة اقتصادية باهظة، ويجدر هنا ذكر ما أشار إليه تقرير لمجموعة من خبراء البيئة في الاتحاد السوفيتي سابقاً حيث أكدوا أن منطقة تشرنوبل والمناطق المجاورة لها تحتاج إلى حوالي خمسين سنة لإعادة توازنها البيئي وبشكل يسمح بوجود نمط من أنماط الحياة.

أنماط التلوث البيئي

1) **تلوث الهواء:** يحدث عندما تتواجد جزيئات أو جسيمات عضوية أو غير عضوية في الهواء وبكميات كبيرة لا تستطيع الدخول إلى النظام البيئي وتشكل ضرراً على العناصر البيئية، وهو من أكثر أشكال التلوث البيئي انتشاراً نظراً لسهولة انتقاله وانتشاره من منطقة إلى أخرى وبفترة زمنية قصيرة نسبياً، ويؤثر هذا النوع من التلوث على الإنسان والحيوان والنبات تأثيراً مباشراً ويخلف آثاراً بيئية وصحية واقتصادية واضحة متمثلة في التأثير على صحة الإنسان وانخفاض كفاءته الإنتاجية كما أن التأثير ينتقل إلى الحيوانات ويصيبها بالأمراض المختلفة ويقلل من قيمتها الاقتصادية، أما التأثير على النباتات فواضحة وجليّة متمثلة بانخفاض الإنتاجية الزراعية للمناطق التي تعاني من زيادة تركيز الملوثات الهوائية، وهناك تأثيرات غير مباشرة متمثلة في التأثير على النظام المناخي العالمي حيث أن زيادة تركيز بعض الغازات مثل ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى انحباس حراري يزيد من حرارة الكرة الأرضية وبالتالي يزيد من إنتاج محاصيل الأرز وفول الصويا والقمح في بعض المناطق ولكن ذلك يقلل من القيمة الغذائية لهذه المحاصيل لأنه في الوقت الذي تنتج فيه النباتات بذوراً أكثر مع ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون تكون هذه البذور تحتوي على نسبة من النيتروجين اقل، النيتروجين مهم لبناء البروتين في جسم الإنسان والحيوان وأكثر ما يحرص عليه العلماء هو زيادة النيتروجين في المحاصيل . ويمكن تصنيف ملوثات الهواء إلى ثلاث مصادر رئيسية و ذلك حسب مصدر وطبيعة الملوثات و هي:

أ. **مصادر ثابتة:** وهي من صنع الإنسان والناجمة عن المصانع و المنازل وغيرها من الأماكن الثابتة فعلى سبيل المثال تؤدي صناعة النفط إلى تلوث الهواء بغازات أول أكسيد الكبريت و النيتروجين و الامونيا وأول أكسيد الكربون و كبريتيد الهيدروجين كما و تنبعث غازات الميثان و أول أكسيد الكربون و الامونيا وكبريتيد الهيدروجين من النفايات العضوية. وتنبعث أكاسيد الحديد من مصانع الحديد و الصلب وغيرها الكثير من الأمثلة لصناعات تؤدي إلى انبعاث غازات ضارة بالبيئة و الإنسان.

ب. **مصادر متحركة:** تشمل وسائل النقل من سيارات و مركبات و طائرات و قطارات و سفن وغيرها حيث تطلق هذه الوسائل العديد من الغازات الضارة مثل أول أكسيد الكربون و أكاسيد النيتروجين والكبريت و أكاسيد الكلوريدات الرصاص وغيرها.

ج. **مصادر طبيعية:** هي الناتجة عن أشعة الشمس مثل الأوزون و الغبار والشوائب الناتجة عن العواصف و الغازات الناجمة عن البراكين و الإشعاعات المنطلقة من التربة وكذلك ما ينتج عن حبوب اللقاح و الميكروبات مثل (البكتيريا والفطريات و الفيروسات).

2) **تلوث المياه:** للنظم البيئية المائية علاقات مباشرة وغير مباشرة بحياة الإنسان، فمياهها التي تتبخر تسقط في شكل أمطار ضرورية للحياة على اليابسة، ومدخاؤها من المادة الحية النباتية والحيوانية تعتبر مدخاها غذائية للإنسانية جمعاء في المستقبل، كما أن ثرواتها المعدنية ذات أهمية بالغة ونظراً لأن الغلاف المائي يمثل أكثر من 70% من مساحة الكرة الأرضية وله أهمية كبيرة كون المياه مصدر رئيس للحياة على سطح الأرض لذا علينا الحفاظ عليه من أجل توازن النظام الإيكولوجي الذي يعتبر في حد ذاته سر استمرار الحياة. ومن أخطر أشكال هذا التلوث من المنظور العلمي إحداث خلل وتلف في نوعية المياه ونظامها الإيكولوجي بحيث تصبح المياه غير صالحة لاستخداماتها الأساسية وبالتالي يبدأ اتران هذا النظام بالاختلال حتى يصل إلى الحد الحرج والذي تبدأ معه الآثار الضارة بالظهور على البيئة.

3) **تلوث التربة:** تتلوث التربة نتيجة استعمال المبيدات والأسمدة المختلفة واللقاء الفضلات الصناعية، وينعكس ذلك على الكائنات الحية في التربة، وبالتالي على خصوبتها وعلى النبات والحيوان، مما ينعكس أثره على الإنسان في نهاية المطاف.

ومن أهم الملوثات التي يمكن الإشارة إليها:

1. الهيدروكربونات: وهي مركبات عضوية طيارة تشمل مدى واسعاً من الكيماويات التي يدخل في تركيبها الكربون (C) والهيدروجين (H)، وتوجد بصورة طبيعية في الغلاف الجوي ومنها الميثان CH_4 وتركيزه 1.68 جزء بالمليون، والمستويات الطبيعية منه لا تسبب أي ضرر، وتنتج الهيدروكربونات من الاحتراق غير الكامل للكازولين في محركات السيارات ومن المذيبات المستعملة في الصناعات المختلفة فضلاً عن انبعاثها من معامل الكيماويات والمصافي النفطية.
2. مركبات الكبريت: يدخل الكبريت في الغلاف الجوي بصورة طبيعية على هيئة SO_2 من انفجارات البراكين، وكذلك من تحلل المواد العضوية لا هوائياً.
3. المواد العالقة: وهي أجزاء صلبة خفيفة وقطيرات من سوائل قد تكون معلقة في الغلاف الجوي، ومصادر انبعاثها من رذاذ أملاح البحار، وتعرية التربة، وأنشطة البراكين. وأغلب المواد العالقة هي غبار وسخام (Soot) تصدر من تأثير الرياح والفعاليات الزراعية على التربة.
4. المصادر الحيوية (الهيدروكربونات الحيوية): هي بارافينات تحتوي عدداً فردياً من ذرات الكربون وتقوم النباتات بتخليقها بسلاسل كربونية C_{15} ، C_{17} ، C_{19} ، وهذه المركبات تشمل جميع الهيدروكربونات الطبيعية في أنسجة الكائنات الحية بفعل البناء الحيوي لها.
5. التسرب النفطي: الذي يقدر بأكثر من 0.7 مليون طن سنوياً. والكائنات الحية لها القدرة على مراكمة الملوثات العضوية في أنسجتها بتركيز أعلى مما هو موجود في البيئة، ويعرف التراكم الحيوي (Bioaccumulation) بأنه قابلية الكائنات الحية على أخذ الملوثات العضوية وتركيزها في أنسجتها بتركيز أكبر مما هو موجود في بيئتها. وتؤثر عدة عوامل على التراكم الحيوي للهيدروكربونات النفطية داخل أنسجة الكائنات الحية، منها درجة الحرارة، والأوكسجين، وPH، والملوحة. وتخزن الهيدروكربونات النفطية في الأنسجة الغنية بالدهون (Fats)، لذا فإن هناك علاقة بينها وبين كمية أو نسبة الدهن في الأنسجة.

التلوث بالغبار والمواد العالقة

تتعرض غالبية مناطق الوطن العربي للتعرية الريحية التي تحدث بفعل عدة عوامل وهي (المناخ الجاف، غياب الغطاء النباتي الطبيعي الملائم، خشونة قوام معظم الترب، شدة الرياح، الاستعمال السيئ للأراضي)، وهذا يؤدي إلى حدوث العواصف الغبارية بين فترة وأخرى وهذه العواصف محملة بدقائق التربة مما تسبب أضرار صحية وعند زيادة تأثيرها في الجو يكون لها تأثير ترافقي مع عدد من ملوثات الهواء مثل أكاسيد النيتروجين والكبريت مما يسبب ضرراً كبيراً على صحة الإنسان. وتعد هذه الظاهرة من أكثر المشاكل البيئية انتشاراً في الوطن العربي، سواءً من حيث فقدان التربة السطحية الخصبة أو المشاكل التي يسببها انتقال الرمال وزحفها وتساقطها على المناطق السكنية، أو تجمعها على طرق المواصلات والسكك الحديدية، بالإضافة إلى تأثيرها الضار على الإنسان والحيوان والنبات.

التلوث بالهيدروكربونات النفطية

الهيدروكربونات النفطية تتراكم على أوراق النباتات، وتعد طبقة الكيوتكل الشمعية مستودعاً لها، مما يؤدي إلى زيادة تراكيزها في الأنسجة النباتية. ومن تحليل الأنسجة النباتية يمكن معرفة مصدر وتراكيز الهيدروكربونات سواء كانت حيوية أو نفطية، وإن تحليل الدهون المستخلصة من الأنسجة النباتية يوضح ما يحتويه الدهن من هيدروكربونات، ويمكن معرفة تراكيزها ومكوناتها. إن معظم المادة الدهنية تكون في الطبقة الشمعية المغلفة لثمار وأوراق النباتات، وإن نسبتها تختلف حسب تأثير العوامل البيئية والوراثية ومرحلة النمو.

وتلعب طبقة الكيوتكل الشمعية دوراً كبيراً في حماية النبات من الظروف البيئية غير الملائمة، كالتقلبات الجوية، وفقدان الماء، كما أنها تكسب الثمار لمعاناً وبريقاً طبيعياً. وترتبط الهيدروكربونات الحيوية عادة بالشموع، وهي من المكونات الأساسية لتلك الشموع، خاصة سلاسل الألكانات الاعتيادية التي تبلغ ذرات الكربون فيها C_{17} إلى أكثر من C_{34} ، وبوساطتها يمكن التعرف على مصادر الهيدروكربونات إذا كانت ناتجة من منشأ أحيائي أو من النشاطات البشرية من خلال التلوث النفطي. ويمكن استعمال بعض الأدلة للكشف عن منشأ الهيدروكربونات، ومنها:

1. استعمال بعض الألكانات المتفرعة كمركب البرستان ومركب الفاتيان والسكوالان كمؤشرات في البيئة من أجل التعرف على البقايا النفطية، لأنها تعد من المكونات الرئيسية للنفط الخام، وتستطيع النباتات الراقية بناء هذه المركبات نتيجة لكسر سلسلة الفاييتين (Phytein) لكل من كلوروفيل A وكلوروفيل B فضلاً عن الصبغات الكاروتينودية.
2. دليل تفضيل الكربون CPI، حيث يتم فحص العينات بجهاز الكروتوكرافي الغازي، ومنها يتم تحديد بعض المؤشرات التي توضح مصادر تلك الهيدروكربونات ومنها Carbon preference index الذي يوضح نسبة وجود المركبات ذات أعداد الكربون الفردية إلى مركبات ذات أعداد الكربون الزوجية، فإذا كانت قيمة CPI أعلى من 1 فهي دليل على المصدر الإحيائي، أما إذا كانت القيمة أقل من 1 فإن المصدر نفطي.
3. نسبة البرستان إلى الفاييتان ونسبة C_{17} إلى البرستان و C_{18} إلى الفاييتان، فإذا كانت النسبة أكبر من 1 فهذا دليل على المنشأ الإحيائي، وإذا كانت القيمة قريبة أو أقل من 1 فهي دليل على المصدر نفطي.

أضرار التلوث

- ❖ تتعرض النباتات للغبار و الأتربة والمواد العالقة وتجمعها على الأوراق والمجموع الخضري مما يؤدي إلى تقليل تعرضها لأشعة الشمس وهذا يسبب انخفاض معدل البناء الضوئي وقلة الكربوهيدرات في الأوراق ونقص كميتها الواصلة إلى القمة النامية والثمار الأمر الذي ينعكس على قوة النمو وعلى وزن الثمار وحجمها.
- ❖ استمرار تراكم الغبار وخاصة في المراحل الأولى من عمر الأوراق سيؤثر على تكون المادة الشمعية على الأوراق وعلى نسبة الدهون فيها مما يؤثر على فقد الماء ويزيد من كميته المفقودة وهذا يؤثر على العمليات الحيوية في النبات.
- ❖ زيادة تركيز العناصر الثقيلة والسامة في الأجزاء النباتية وترسبها عليها أكثر من الحدود المسموح بها يعرضها إلى حالة من التسمم والضعف والإجهاد واختلال العمليات الفسيولوجية.

فسيولوجيا الإجهاد Stress Physiology

كما تم التعرف في المحاضرات السابقة بأن النباتات التي تتعرض إلى الإجهاد بأنواعه (مثل الإضاءة الشديدة، البرودة الشديدة، الحرارة الشديدة، التعطيش، التبريق، الإشعاع - الضوء - و التلوث سواء بالغازات السامة أو زيادة تركيز غاز معين مثل الأوزون، الإصابة بالمسببات المرضية الخ) كل تلك العوامل وغيرها من عوامل الإجهاد البيئية Environmental stress factors، كل تلك العوامل تنتشط وينشط بعضها البعض في زيادة إنتاج active oxygen species. أجريت دراسات على تأثير غاز الأوزون O_3 ، فوجد أنه يؤثر بشدة على نقص عملية البناء الضوئي نقص واضح في طول الجذور والسيقان للنباتات وأيضاً نقص واضح في كمية محصول النبات والسبب في السمية الشديدة Phytotoxicity الناتجة عن غاز الأوزون O_3 يرجع إلى قدرته الفائقة والشديدة على التأكسد لإنتاج جزيئات سامة (generate toxic molecular specie) مثل

- Super Oxide Anion.
- Hydroxyl Radicals.
- Hydrogen Peroxide.

أجمع العلماء على أن التأثير الضار أو المميت لظروف الإجهاد يرجع للتأثير المباشر أو الغير مباشر لعوامل الإجهاد على تكوين activated oxygen radicals والتأثير على سلسلة نقل الإلكترون.

الجذور الحرة ودور مضادات الأكسدة

Free radicals and role of antioxidants

تتعرض النباتات للعديد من الظروف الجوية القاسية مثل الإنخفاض أو الإرتفاع الشديد لدرجة الحرارة أو النقص الشديد في محتوى التربة من العناصر المغذية أو ظروف التعطيش (نقص الماء) أو التبريق. كذلك الظروف البيولوجية الغير عادية أو الإصابة بالمسببات المرضية أو التلوث بالأوزون أو الإضاءة الشديدة أو الإشعاع الشديد. كل تلك الظروف تؤثر سلباً على نمو النباتات وجودة وكمية المحصول.

معظم الدراسات العلمية التي قام بها الباحثون في مختلف التخصصات النباتية توصلت إلى أن النباتات التي تتعرض إلى الإجهاد يتزداد فيها ما يسمى بالجذور الحرة Free radicals والتي تعمل على هدم الخلايا والوصول إلى مرحلة الشيخوخة ثم الموت، وهذه الجذور تكون موجودة بالأصل إلا أن هنالك مركبات تعمل على كبح هذه المواد والتي تسمى بمضادات الأكسدة، من خلال الدراسات وجد أن هذه المضادات تقل وبشكل كبير عندما يتعرض النبات إلى الإجهاد.

أهم العوامل التي تظهر أو تنتج في الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد:

1- Lipoxigenase¹ activity.

زيادة نشاط أنزيم Lipoxigenase.

2- Activated oxygen species.

زيادة إنتاجها يسرع من عملية الهدم والوصول إلى مرحلة الشيخوخة.

3- Stressed promoting compounds such as:

¹ Lipoxigenase: هو إنزيم يهدم ويحلل الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة Poly unsaturated fatty acids بواسطة الأكسجين ليعطي منتجات البيروكسيد المائي hydro peroxide products وكذلك يلعب هذا الإنزيم دور هام في هدم الأغشية الليبيدية

إنتاج مركبات مشجعة للإجهاد مثل:

- a) Ethylene.
- b) Methyl Jasmonic acid².

أنواع الجذور الحرة Types of free radicals

من المعروف أن أنواع الأوكسجين النشطة هي المادة المؤكسدة الرئيسية والهادمة للخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد وهذه الأنواع الأوكسجينية هي:

- 1- Super oxide radicals O_2^{-} .
- 2- Hydroxy radicals (OH).
- 3- Singlet oxygen radicals O_2
- 4- Peroxyl radicals H_2O_2
- 5- Alkoxy radicals Ro
- 6- Peroxyl radicals Roo .
- 7- Poly unsaturated fatty acids.
- 8- Semi quinone free radicals
- 9- Semi quinone free radicals
- 10- Photolytic ozonation radicals (O_3)
- 11- Sulfur monoxide radicals (So^-)

إن كل من جذور الهيدروكسيل الحرة (OH) وجذور الأوكسجين الأحادي (O_2) مواد مؤكسدة قوية جداً وتقوم سريعاً بمهاجمة الجزيئات الحيوية مثل جزيئات DNA مما يؤدي إلى خلل شديد في عمليات الأيض وحدث خلل وظيفي لا يمكن إصلاحه أو تعويضه مما يؤدي إلى موت خلايا الأنسجة النباتية.

المواد المضادة للأكسدة Antioxidants

المواد المضادة للأكسدة منها ما هو إنزيمي ومنها ما هو غير إنزيمي. ومن أمثلة الإنزيمات المضادة للأكسدة Antioxidative enzymes.

- 1- Superoxid dismutase.
- 2- Catalase.
- 3- Peroxidaese
- 4- Ascorbat-glutathion cycle enzymes.
- 5- Ascorbate peroxidaes.
- 6- Mono-dehydro ascorbate reductase.
- 7- Dehydro ascorbate reductase.
- 8- Glutathion reductase.

أمثلة للمواد غير الإنزيمية المضادة للأكسدة : Non enzymatic antioxidative

² Methyl Josmanic Acid: حامض من مشتقات حامض اللينولينك ويعتبر من مؤخرات أو مثبطات النمو أو أهد الهرمونات المؤدية للشيوخة حيث انه يقلل من مستوى التعبير الجيني.

- 1- Ascorbate (Vit.C) والبيروكسيدوم.
- 2- Glutathion³.
- 3- Tocopherol (Vit.E).
- 4- Caroteine.
- 5- Flavonoids.

تحت الظروف الطبيعية يقوم نظام الحماية من خلال المواد المضادة للأكسدة يقوم بحماية النظام الخلوى ضد الأكسجين النشط.

ولكن عند زيادة الأكسجين النشط بدرجة عالية جداً ويكون نشاطه أكبر من طاقه النظام الدفاعي للمواد المضادة للأكسدة كما هو الحال فى ظروف الاجهاد أو الشيخوخة فإن إجهاد الأكسدة يظهر بوضوح

الدور الفسيولوجى لجذيرات الأكسجين النشطة فى الأنسجة النباتية Physiological Roles of activated oxygen radicals in plant tissues

جذيرات الأكسجين الحرة الناتجة فى الخلايا النباتية يمكنها أن تلعب دوراً مهماً فى العمليات الفسيولوجية
مثل:

- 1- Cellular damage. تدمير وتلف الخلايا.
 - 2- Promotors of senescence تحفيز الشيخوخة.
 - 3- Metabolic oxidation الأوكسدة الأيضية .
- فى الكلوروبلاست يتم إنتاج superoxide radicals (O_2) من خلال التفاعل PSI هذا الأكسجين النشط يتم السيطرة عليه من خلال تحويله إلى H_2O_2 وإذا لم يتم كنس O_2 فى صورة H_2O_2 والناتج من PSI فى الكلوروبلاست فإن تثبيت CO_2 إلى كربوهيدرات (CO_2 fixation) سوف يتوقف خلال ثوانى مما يؤدى لحدوث ذبول واضح.
 - الإنتاج المستمر من H_2O_2 الناتج من O_2 من خلال PSI يقوم بتنشيط بعض إنزيمات Calvin cycle وكذلك أكسده وهدم نواتج عملية البناء الضوئى.
 - الإصابة الميكروبية أو الفيروسية ينتج عنها زيادة فى إنتاج oxygen free radical وكذلك Nitrogen oxide. (NO) ويحدث بين جذيرات الأكسجين وأكسيد النتروجين تفاعل ينتج عنه Peroxynitrite وهذا المركب يسبب أكسدة خلايا الأنسجة النباتية وكذلك إحداث طفرات من خلال أكسدة ونترته الجزيئات الحيوية.

أمثلة لبعض المواد الكانسة أو المثبطة للجذيرات الحرة Scavengers and inhibitors of free radicals

³ Glutathion: ويرمز له بالرمز GSH عندما يكون مختزلاً، ويرمز له GSSG عندما يكون مؤكسداً. ويعمل كمرافق إنزيمي Coenzyme، ومضاد أكسدة Antioxidant لحماية الخلايا من ضرر الجذور الحرة Free radicals.

- 1- Azide (inhibit myeloperoxidase).
- 2- 1,4 diazo – bicyclic – (2,2,2) octan (DABCO).
- 3- Diphenylisobenzofuran (as O₂ trap).
- 4- Deuterium oxide.
- 5- Superoxide anion dismutase (SOD) convert (O₂ to H₂O₂).
- 6- Sulfite (scavenge O₂ produced by xanthin oxidase).
- 7- Benzoate (Trap for OH).
- 8- Mannitol (scavenge OH).
- 9- Ascorbic acid (it is oxidized by both H₂O₂ to dehydromonoascorbate).
- 10- Triton (iron chelator) (inhibit peroxidase).
- 11- Catalase.
- 12- Salicyl hydroxamic acid (SHAM) (inhibit lipoxygenase).
- 13- Cyanide (metabolic inhibitor).
- 14- Detergents (chloro mercuri benzoate) (inhibit NADPH₂ oxidase).

Activated oxygen تعتبر المواد السابق ذكرها مواد كائسة أو مثبطة لجذيرات الأوكسين النشطة radical scavengers or inhibitors أو الكائسة Scavengers والخاصة بها مثل الإنزيمات الكربوهيدرات الأحماض النووية الأحماض الأمينية.