اسم المادة: مادة اجهاد بيئي - نظري
المرحلة: الرابعة
اعداد
د. ميسر محمد عزيز
د.عمر عبدالموجود عبدالقادر
د.صدام إبراهيم يحيى
م.م. رغد ايمن عبدالرزاق

فسلجة الشد Stress Physiology

نادرا ما تتوفر الظروف البيئية المثلى للنبات، من الماء والهواء والعناصر الغذائية، بل غالبا ما يحصل الشد الناجم اما عن الجهد المائي الشديد، بسبب نقص رطوبة التربة، او الحرارة او الملوحة او السمية ببعض العناصر او عوامل اخرى عديدة ربما تدفع بالكائنات الحية الى محدودية البقاء. ان دراسة النبات تحت مثل هذه الظروف قد عرف بانه "فسلجة الشد Stress Physiology"، ويعد هذا مهما من ناحية فسلجة بيئة النبات لثلاثة اسباب هي:

1- غالبا ما تكون استجابة النبات للشد على اساس تغيير العمليات الحياتية والفسلجية، اذ ان دراسة حالات فسلجة الشد ستزودنا، في بعض جوانبها، باهمية معرفة الاليات الفسلجية الحاصلة بوجود الشد لا سيما التي تحصل تحت الظروف الاعتيادية.

2- ان دراسة فسلجة الشد في الجانب الزراعي ستساهم في زيادة فهم العوامل التي تحدد توزيع وانتشار النباتات والتغيرات الفعلية في العمليات الحياتية المختلفة خلال دورة النمو.

3- في الجانب الزراعي التطبيقي، فان قابلية المحاصيل في الحفاظ على البقاء وبالكثافة النباتية المطلوبة تحت ظروف الشد يعد عاملا رئيساً في تحديد الحاصل الاقتصادي.

فسلجة النباتات تحت ظروف الشد The physiology of plants under stress

ربما تكون الدراسات والمعرفة العلمية عن نمو النباتات تحت الظروف الطبيعية عديدة ومتنوعة، ولكننا في اتم الحاجة الى الاستزادة بالمعرفة العلمية التي تتحدث عن الظروف البيئية المتطرفة أي غير الاعتيادية والتي غالبا ما تكون ليست بالحسبان فتؤثر على بقاء النباتات وحيويتها وانتاجها، وخصوصا في ظل التغيرات المناخية المتكررة وظروف الاحتباس الحراري. فالاشجار والشجيرات في خطوط العرض المعتدلة شمال الكرة الارضية تتعرض الى انخفاض درجات الحرارة الشديد خلال الشتاء، ونباتات مناطق جبال الالب تتعرض الى البرد والرياح الجافة والمستويات العالية من الاشعة فوق البنفسجية، كما تتعرض له نباتات المحاصيل الزراعية خلال مرحلة من مراحل نموها وربما تكون طيلة فترة النمو، الى ظروف الجفاف او ارتفاع تركيز الاملاح في منطقة الجذور. وفي السنوات الاخيرة واجهنا مشكلة تلوث التربة والمياه والهواء نتيجة الاستخدامات الجائرة لموارد البيئة من قبل الانسان، مما زاد الطين بلة فاضاف عواملاً اخرى جديدة تؤدي كلها الى حدوث الشد الفسلجي خلال دورة حياة النبات. وكما اسلفنا بان حدوث الذروة في أي من المعالم البيئية سيخلق ظروف شد على النباتات والتي ربما يكون تاثيرها جوهريا في مسألة التطور الفسلجية اي رد الفعل وبالتالي البقاء.

على العموم، فان دراسة استجابة النبات للشد البيئي قد شكل قصب السبق والاهمية المركزية لمختصي فسلجة بيئة النبات ومختصي الفسلجة عموما وبيئة النبات، وكذلك مربي ومنتجي النبات. ومن الامثلة على ذلك، هو كيف تساعد استجابة النبات في شرح وتوضيح التوزيع الجغرافي وبالتالي الاداء سواءً في النمو او الانتاج على طول حالة التدرج البيئي؟. وبسبب ثبوت او عدم تفسير الشد سيؤدي بالنتيجة الى تقليل الانتاجية، فان استجابات الشد stress responses ستكون

مهمة ايضاً بالنسبة لمختصي العلوم الزراعية. ان فهم الاستجابة للشد له من الاهمية التي لا توصف بالنسبة لمربي النبات الذين يرومون تربية واستنباط اصناف تقاوم الشد على اختلاف انواعه، سواءً كان الجفاف او الملوحة او ظروف محددات الحاصل الاخرى. وعليه، فانه بسبب ظروف الشد التي ينجم عنها خلخلة طبيعة النمو، فان مثل هذه الخلخلة ستضع مختصي فسلجة النبات وغيرهم على الطريق الذي يجعل في متناول ايديهم الادوات المفيدة لدراسة الاسس الفسلجية والتقنية الحياتية لحالة الشد التي يدرسونها.

وعليه، سنتناول في هذه الدراسة اختبار بعض مظاهر الشد مع التركيز على شد الجفاف من خلال مناقشة وعرض المواضيع التالية:-

– مظاهر الشد الحياتي وكيفية استجابة النبات لهذه الظروف.

– تاثير نقص الماء على نمو المجموع الخضري والجذري وطبيعة الضرر الحاصل تحت ظروف الشد المائي وكيفية استجابة النبات لنقص الماء من خلال تقليل التوصيل الثغري وخواص التعديل الاوزموزي في الخلايا.

– طبيعة التحدي الحاصل لانخفاض درجات الحرارة وقدرة النباتات العشبية والخشبية في منع حدوث الضرر نتيجة شد الحرارة الواطئة.

– تاثير شد ارتفاع درجات الحرارة على الاغشية الخلوية والعمليات الحياتية ورد الفعل الفسلجي بتخليق بروتينات الصدمة الحرارية.

– استجابة النباتات للبيئات التي تتصف بارتفاع مستوى الملوحة فيها وتعرضها للاصابة بمسببات الامراض والحشرات وحالات التلوث البيئي.

ما هو الشد ؟ What is stress

ليس من السهل تعريف الشد، كونه يتضمن تاثيرات مختلفة على الكائنات الحية او اعضائها. ان المصطلحات الفنية المستخدمة في توصيف الشد البيئي واستجابة النبات لها قد مثلت موضوع الجدل والخلاف لسنوات عديدة. وعليه، فان الشد يمثل مظهراً ميكانيكياً في الاساس وقد عرف علماء الهندسة وفسلجة النبات على انه الضغط المسلط على وحدة المساحة التي يقع عليها الشد. وفي جانب الاستجابة للشد، فقد تطور هو الاخر على انه الاثر Strain او التغيير في الابعاد. وعليه، فان العلاقة بين الشد – الاثر قد وصفت بامثلة ميكانيكية أي آلية ، مثل التمدد في الحزمة المرنة او التواء في قضيب معدني تحت ظروف ضغط معين. في الانظمة الميكانيكية، فان كل من الشد الذي ينجم عن تطبيق حالة معينة من الضغط، اما الاثر فينجم عنه هو الاخر تغيير في الابعاد قد تم استكشافه وقياسه.

اذن يفهم من ذلك بانه من الصعب جداً ان يعرف الشد بمفهومه الحياتي وغير الحياتي بشكل دقيق وتام، وربما يكون التعريف متخصص ودقيق طبقاً لحالة وطبيعة الشد. وعليه، فقد قام كل من Levitt (1972) و Turner و Kramer (1980) بوضع المصطلحات الفنية التي يمكن استخدمها بالنسبة للكائنات الحية، ولكن من الناحية العملية والتطبيقية، فان مظاهر الشد الحياتي تحتاج الى تضمينات للمعنى العام اكثر مما هي عليه. فعلى مستوى النظام البيئي وعلى سبيل

المثال، فان أي مانع خارجي يحدد الانتاجية (ومنها تحصيل الكاربون في البناء الضوئي) مما يجعلها ادنى من القدرة الوراثية للنبات يعد حالة من حالات الشد (Grime، 1979). وربما يمثل هذا المثال خصوصية الحال في الجانب الزراعي، حيث ان النماذج الحسابية mathematical models يمكن ان تستخدم لتقدير القدرة الوراثية تحت ظروف البيئة المثالية، لذا فانه بدون التطبيقات العلمية العملية لتقدير القدرة الوراثية، يصبح من الصعب الجزم او الحكم عن تاثير الشد في مثل هذه الحالة. عند تقدير الشد البيئي، تظهر مشكلة اخرى من خلال التساؤل حول مدى استمرار التدرج البيئي بالتطرف، وما هو الحد الذي تحدث عنده حالة الشد؟. فالانواع النباتية تختلف فيما بينها بدرجة كبيرة من حيث الظروف البيئية المثالية التي تحتاجها للنمو والتطور وبالتالي، فان حساسيتها هي الاخرى لاي تغير في هذه الظروف البيئية متغيره هي الاخرى، وخصوصا عند حدوث التطرف الشديد في ظروف البيئة. على سبيل المثال، التغير في درجات الحرارة وجهد الماء او الملوحة. اي بمعنى في اي درجة من سلسلة درجات الحرارة او عند اي حد من الجهد المائي يحدث الشد؟ وفي هذا الخصوص، لاتوجد اجابة بسيطة ولايوجد نظام من المصطلحات الفنية المتفق عليها قد تم تثبيتها بين جميع العلماء المشتغلين في حقل فسلجة الشد (Jones و Jones،1989).

وعليه، فانه ربما يكون التعريف الاكثر فائدة وقبولا للشد الحياتي هو ذلك الذي يتحدث عن اختلاف الضغط او التاثير الذي يؤدي الى تثبيط اداء النظم الحياتية عن اداء دورها بشكل اعتيادي (Jones و Jones،1989). في الحقيقة، ان هذا التعريف لايخلو من القصور واثارة بعض الاستفسارات حول تفسير المفهوم، والدور الطبيعي او الاعتيادي لهذه النظم الحياتية، كونها تختلف في ادائها وحدوثها ومواصفاتها باختلاف الانواع النباتية وحتى الطرز البيئية ecotype.

اهم انواع الشد البيئي الذي تتعرض له النباتات.

1- ارتفاع درجات الحرارة heating

2- انخفاض درجات الحرارة freezing, chilling

3- زيادة الماء (التغدق flooding، نقص اوكسجين الانسجة anoxia).

4- نقص الماء (الجفاف drought ، انخفاض جهد الماء low water potential).

5- الملوحة Salinity

6- الاشعاع الضوئي المرئي وفوق البنفسجية Solar radiation

7- الكيميائي (المبيدات، العناصر الثقيلة، وملوثات الهواء).Chemical

8- الحياتي (المسببات المرضية pathogens والمنافسة competition). Biotic

يتضح تعريف الشد في معناه العام التاثيرات الضارة او الضرر الناتج عن الجهد الواقع على النبات، غير ان بعض مختصي فسلجة الشد يشعرون بان هذا التعريف ضيق ومقيد ايضا بسبب انه يثير التساؤلات حول آليات تطبع النبات التي تجعله قادرا على النمو في البيئة التي توصف بانها بيئة شد. وهنا ياتي التساؤل هل ان الشد هو دالة البيئة ام دالة الكائن الحي، وعلى سبيل المثال، هل يمكن تسمية البيئات شديدة التطرف مثل الصحارى والتندرا القطبية على انها بيئات شد بالنسبة للنباتات التي تنمو فيها بشكل طبيعي؟. وهل ان مثل هذه البيئات تمثل بيئات شد فقط لبعض الانواع النباتية وليست لغيرها؟. وعليه، فان المناقشة التي ستتم في هذه الدراسة ربما ستعطي بعض الاجابة على مثل هذه الاستفسارات.

استجابة النبات للشد Plant Responses to Stress

تستجيب النباتات للشد الواقع عليها بطرق عديدة، فبعض النباتات ربما تتهرب من تاثير الشد من خلال اكمال دورة نموها خلال فترة عدم وجود الشد او تاثيراته القليلة او انها قد تعاني بعض الضرر من تاثيراته ولامجال لها الا ان تعيش بوجوده من خلال تجنبه او مقاومته، فيقال انها متحملة للشد، فتعطي بعض الخسارة او الاختزال في النمو بصورة ليست جوهرية، فتتكيف معه نسبياً بمرور الزمن. ان احد الامثلة الواقعية والملموسة هو اختلاف انتاجية النبات او مساحة محددة مزروع بنفس الصنف من سنة لأخرى، فيعتقد البعض ان هذا الاختلاف بسبب ظرف بيئي معين، في الوقت الذي يفسره المختصون بان الاختلاف في الانتاجية لنفس التركيب الوراثي 0الصنف) انما هو حصيلة تداخل وتفاعل العوامل المؤثرة والمختلفة في نمو وفعاليات النبات الحياتية، اي بتعبير اخر فسلجة النبات المتأثرة بفسلجة الشد الحاصل خلال دورة نمو النبات.

اذن يفهم، بان النباتات تتضرر بالشد، اي حدوث خلل في اداء واحد او اكثر من العمليات الحياتية الضرورية لادامة النمو و/او الحياة. فاذا كان الشد متوسطاً ولفترة قصيرة، فربما يكون الضرر مؤقتا فيستعيد النبات وضعه الطبيعي بزوال الشد. اما اذا كان الشد الحاصل بدرجة كبيرة، فربما لايحصل استمرار النمو الخضري او التزهير مثلاً وبالتالي لاتتشكل البذور وفي النهاية لايمكن استمرار وبقاء النبات. ومثلما اسلفنا حول تهرب بعض النباتات من تاثير الشد بكافة اشكاله مثل الشد سريع الزوال ephemeral او الشد لفترة قصيرة short lived او نباتات الصحاري desert plants.

على سبيل المثال لا الحصر، عندما يحدث شد الجفاف بسبب نقص في مستوى رطوبة التربة او اي حالة من حالات الاجهاد المائي، هناك انواع من النباتات التي توصف بأنها سريعة الزوال ephemeral plants. وماذا عن النباتات السريعة الزوال؟.

هي تلك النباتات التي تنبت بذورها وتنمو وتزهر بسرعة كبيرة بعد موسم الامطار، وعليه فانها تكمل دورة حياتها خلال مرحلة كفاية الرطوبة فتكون البذور التي تدخل في مرحلة السكون قبل حلول موسم الجفاف. وبالمقابل، فان العديد من النباتات الحولية القطبية تكمل دورة حياتها سريعا خلال موسم الصيف القطبي القصير وتبقى طيلة فترة الشتاء بهيئة بذور ساكنة. وبالتالي فان مثل هذه النباتات التي لا تمر بشد الجفاف او انخفاض درجات الحرارة تعرف على انها نباتات متهربة من ظروف الشد. بخلاف ذلك، فان هناك الكثير من النباتات التي تقاوم ظروف الشد سواء كان ذلك بتجنب الشد او تحمله. فآليات تجنب الشد تقلل تأثيره على النبات برغم وجود تأثيره في البيئة التي يعيش فيها النبات. هناك عدة آليات تسلكها النباتات المقاومة للاجهاد المائي ومنها:

أ) النباتات التي تتهرب من شد الجفاف، فيكون نموها في فترة قصيرة، وغالبا ما تكون في فترة سقوط الامطار وتوفر كاف لماء التربة الجاهز.

ب) النباتات المتجنبة لفقدالماء، وهذا يأتي من خلال المحافظة على جهد ماء عال في الورقة او باستخلاص ماء اكثر من التربة او تسخير ماء التربة الجاهز بصورة بطيئة في المراحل المبكرة من عمر النبات او الجفاف.

ت) النباتات المتحملة لفقد الماء، اذ تستطيع هذه الانواع من النباتات المحافظة على الاستمرار بالتمثيل الضوئي، تى وان كان الجهد المائي للاوراق منخفضاً.

فنباتات الجت alfalfa الكبيرة على سبيل المثال تتصف بقابليتها على البقاء في ظروف الجفاف من خلال قدرتها على ارسال جذورها الى اعماق كبيرة لتصل الى الماء الارضي، فتزداد نسبة الجذر الى الساق، وبالتالي تضمن وجود ماء كافي لاكمال دورة حياتها برغم ظروف الجفاف في الوقت الذي تعاني النباتات ذات الجذور السطحية العمق من مخاطر الجفاف. وفي بعض النباتات المتحملة للجفاف، حيث تقوم جذورها النامية في التربة الجافة بزيادة انتاج سائل هلامي لزج حول الجذور (في منطقة الرايزوسفير) فتتكون حلقات من دقائق التربة تلتصق بصورة خفيفة بالجذور فترتبط الكيتونات نتيجة طبيعة السائل الهلامي الببتيدية اللزجة، ويقل نفوذهاوبالتالي تتم المحافظة على الايصالية المائية بين التربة والجذر (Drew, 1978). هناك نباتات اخرى لها اوراق سميكة تخزن الماء وبوجود طبقة من الكيوتكل السميك او وجود الزغب والتي تقلل جميعا من التبخر او انها تؤدي الى تحويرات تساعد في الاحتفاظ بالماء او انها تقلل من فقد الماء. في بعض النباتات الصبارية يحصل تمثيل ضوئي عالي بوساطة السيقان السميكة. في الوقت الذي تحورت فيه الاوراق الى اشواك كاسلوب دفاعي لتجنب الجفاف. من ذلك يفهم بان اغلب حالات تجنب الضرر الشديد الناجم عن الجفاف هي في الحقيقة ناجمة عن اجراء التعديلات او التحويرات المختلفة.

اما بالنسبة لموضوع تحمل شد الجفاف، فانه يتطلب من الكائن الحي او الجزء الذي يقع عليه الشد ان يقوم باجراء موازنة للديناميكية الحرارية مع شد الجفاف. اي بمعنى وجوب اجراء موازنة

للظروف الداخلية (داخل النبات) مع الظروف الخارجية (البيئية) المحيطة. وعليه، فان تحمل الجفاف يتطلب على سبيل المثال ان يبقى الكائن الحي في حالة تعديل البروتوبلازم بالشكل الذي يؤمن عدم حدوث ضرر فيه مع الاحتفاظ بقابلية النمو الطبيعي والتطور عندما يحصل التميؤ rehydrate ثانية، اي تعود الظروف الى طبيعتها من حيث وفرة الماء. ومن الامثلة الواقعية على تحمل شد الجفاف هي مجموعة الاشنات والنباتات الزهرية (اكثر من 100 نوع نباتي معروف) والتي تم جمعها وعرفت على انها نباتات انبعاث الحياة resurrection plants (Gaff،2000). فبينما تكون الاجزاء الخضرية في اغلب النباتات غير متحملة او متوسطة التحمل للجفاف dehydrate، فان الاجزاء الخضراء لنباتات الانبعاث الحياتي تبقى جافة هوائيا الى الحد الذي يكون محتواها من الرطوبة اقل من 7% دون حدوث الضرر الحياتي فيها.

في هذا المجال، لابد من شرح وتوضيح مصطلحين متداولين بكثرة هما التطبع adaptation والتأقلم Acclimation، فكلا المصطلحين يؤشران حالة التحمل لشد معين. ان مصطلح التطبع يعود الى التحويرات الوراثية في التركيب والوظائف بما يزيد قدرة الكائن الحي في الملائمة fitness والبقاء تحت ظروف الشد البيئي. ان التحويرات المظهرية والفسلجية التي تتم بمساعدة حامض crassulacean في العمليات الحياتية (CAM) في النبات هو مثال التطبع. اما بالنسبة للتأقلمAcclimation ، فهو يمثل حالة تحوير فسلجي غير متوارث يحدث خلال دورة حياة الكائن الحي. ان مثل هذه التحويرات تحصل من خلال التعريض التدريجي لظرف الشد ومثلها التعريض لدرجات الحرارة الواطئة او اقلمة النبيتات المتحصل عليها من الزراعة النسيجية باسلوب تدريجي لتقسية الظروف البيئية (الحرارة، الرطوبة والاضاءة) بغية نقلها الى الحقل او الظلة الخشبية، وبخلاف ذلك فان الكائن الحي لايستطيع المطاولة والبقاء والاستمرار تحت ظروف الشد البيئي. ان القدرة على التطبع هي صفة وراثية، ولكن التغييرات الدقيقة او الخاصة التي تتم في الكائن الحي نتيجة تأقلمه سوف لن تنتقل الى ذريته وعليه فانها صفة ليست موروثة. ان قدرة البناتات ثنائية الحول والطرز الشتوية لمحاصيل الحبوب على البقاء خلال الشتاء خير مثال على حالة التأقلم لظروف انخفاض درجات الحرارة. وعليه، يصطلح على النباتات التي تتم اقلمتها لظرف شد معين مصطلح التقسية hardening وان النباتات المتأقلمة تسمى مقساة hardy ومثالها النباتات المقساة للانجماد والنباتات المقساة للجفاف.

واخيرا نجد مصطلح strategy المستخدم غالبا في توصيف حالة نجاح استجابة النبات لشد ما، حيث يستخدمه بعض مختصي فسلجة النبات في حالة تضمين خطة معينة لتحقيق غاية محددة، وهذا بحسب ما وصفه Jones و Jones (1989) بانها اي الستراتيجية التي تثبت صحة التوصيف الوراثي المبرمج لسلسة من الاستجابات التي تجعل الكائن الحي قادراً على البقاء والاستمرار في ظروف معينة.

اولا: الشد المائي Water Stress

يمثل الشد الناجم عن نقص الماء (الشد المائي او شد الجفاف) التهديد المستمر والمتواصل لبقاء النبات فالعديد من النباتات التي يحصل فيها تحوير مظهري او فسلجي قد لاتستطيع الاستمرار والبقاء في البيئة التي تعيش فيها بسبب الشد المائي الواقع عليها او انخفاض محتوى رطوبة التربة.

وهذا بطبيعة الحال يرتبط بالظروف الجوية السائدة (قلة الامطار وارتفاع درجة الحرارة وزيادة سرعة الرياح وانخفاض الرطوبة النسبية في الجو...الخ)، فيعرَف جفاف التربة بانه النقص في ماء التربة اللازم الى الحد الذي تقل فيه جاهزيته للنبات (اي العتبة التي لا يستطيع النبات عندها امتصاص او استنزاف الماء بالسرعة التي تلبي متطلباته للقيام بالفعاليات الحيوية ولا يحدث التمثيل الضوئي الذي يلبي متطلبات التبخر – النتح evapotranspiration. وبالمقابل، ربما يكون الشد المائي نتيجة زيادة الماء. ومن الامثلة على الشد نتيجة زيادة الماء هو التغدق flooding الذي ينجم عنه الاختناق نتيجة انخفاض تركيز الاوكسجين المجهز للجذور والذي سيؤدي بدوره الى اعاقة التنفس. على العموم، فان الشد نتيجة نقص الماء هو الاكثر شيوعا، مما حدا بالمختصين الى تسميته "شد نقص الماء water deficit stress. وبسبب ان شد الماء يحصل في البيئات الطبيعية نتيجة انحباس الامطار، فان مثل هذه الظروف تعرف على انها ظروف الجفاف وبالتالي يصطلح عليه شد الجفاف drought stress (الشكل1). في ظروف المختبر، يمكن تحقيق ظروف الشد المائي من خلال فقد الماء بالنتح من الاوراق وهو ظرف يعود الى ما يصطلح عليه بتعديل الشد او شد التجفيف desiccation stress. اي بمعنى ان الشد المائي هو احد مكوني الشد الملحي والشد الاوزموزي، ولاجل توحيد هذه الاختلافات وفق مفهوم الشد المائي فانه يصطلح مفهوم الجهد المائي الواطيء low water potential

الاغشية والشد المائي Membrane and Water Stress

ان الضرر الناتج عن تاثير الشد المائي يرتبط بتاثيرات محددة تتعلق بتعديل (تغيرحالة) البروتوبلازم. ان ازالة الماء اي سحب الماء، على سبيل المثال، يؤدي الى زيادة تركيز الذوائب وفق حجم البروتوبلازم مما يؤدي الى حصول الانكماش والتجعد والذي له عوارض خطيرة على سلسلة العمليات الحياتية في الخلية الحية. تتاثر سلامة الاغشية والبروتينات ايضا بعملية التعديل (التجفيف) التي بدورها تؤدي الى حصول الاختلال الوظيفي في العمليات الحياتية.

على الرغم من عدم معرفة مسببات ضرر الاغشية بشكل تام وواضح، فانه من البديهي في الفهم العلمي والمنطقي بان ازالة الماء ستؤدي الى تمزق تركيب الطبقة الثنائية bilayer الاعتيادية وان خطوط القنوات التي يدخل منها الماء ستمتليء بالمجاميع الرئيسة للفوسفولبيدات القطبية. اي بمعنى، ستصبح الاغشية منفذة للسوائل عندما يتم تعديلها. عند حصول التميؤ، ستبقى هذه القنوات تقدم كميات كبيرة من الذائبات النافذة او الراشحة بين الحجرات او من الخلية الى المسافات البينية بين الخلايا، فالشدود ضمن هذه الطبقة الثنائية سيجعل اللبيدات تحل محل بروتينات الاغشية مما يؤدي الى تسرب الذوائب solute leakageوتساهم بالتالي في فقد صفة الانتخابية لهذه الاغشية. على العموم، فان تشقق الاغشية وانفتاح الخلايا على بعضها ثم فقد كفاءتها يعتمد على نشاط انزيمي معين، فضلا عن تلف وتضرر الاغشية الخلوية. اوضحت العديد من الدراسات حصول الفقد في كفاءة العصير الخلوي وبروتينات مكونات الخلية الى الحد الذي يجعلها في غير طبيعتها الحياتية بالكامل عند عودة الظروف الطبيعية من حيث وفرة الماء.

التمثيل الضوئي والشد المائي Photosynthesis and Water Stress

تعد عملية التمثيل الضوئي من العمليات الحساسة للشد المائي، فتتاثر هذه العملية من خلال طريقتين: الاولى، انغلاق الثغور والتاثير على الكلوروبلاست من حيث تجهيز ثاني اوكسيد الكاربون من الغلاف الجوي، والثاني هي التاثيرات المباشرة لانخفاض جهد ماء الخلية وانعكاسه على مكوناتها وسلامة وظائفها الضرورية في استمرار آلية التمثيل الضوئي.

هناك تاثيرات مباشرة لجهد الماء الواطىء داخل الخلية على التمثيل الضوئي اوضحتها الدراسات الموسعة حول البلاستيدات (الكلوروبلاست) المعزوله من اوراق زهرة الشمس (Rao واخرون، 1987). بسبب التأثيرات المباشرة على فعالية التمثيل الضوئي لنقصان ثاني اوكسيد الكربون داخل الكلوروبلاست نتيجة غلق الثغور والتي تبين من الدراسة بان تاثيراتها كانت ثانوية، حيث تبقى نسبة ثاني اوكسيد الكربون داخل الورقة عالية نسبياً. وعليه، فان كل من فعالية نقل الالكترون والتمثيل الضوئي قد انخفضت في الكلوروبلاست المعزول من اوراق زهرة الشمس بجهد مائي اقل من (0.1- ميكاباسكال). هذه التاثيرات انعكست على تقليل الضرر الحاصل في الاغشية وتخليق الطاقة لانزيم البروتين. والاكثر من ذلك، ان تاثيرات التثبيط الناجمة عن انخفاض الجهد المائي قد ازدادت بوساطة التراكيز العالية للمغنيسيوم التي تشبه في تاثيراتها حدوث تميه الاواراق (Rao واخرون، 1987) واكدته دراسة Raven واخرون، (2014).

استجابة الثغور لنقص الماء Stomatal Responses to Water Deficit

غالبا ما تتعرض النباتات الى نقص الماء الحاد بسبب انخفاض الرطوبة النسبية بدرجة كبيرة و/ او نتيجة زيادة درجات الحرارة الناجمة عن حركة الرياح الجافة الدافئة الى البيئة التي يعيش فيها هذا النبات او ذاك. فتكون النتيجة الزيادة الكبيرة في ضغط التبخر الذي يتدرج بين خلايا الاوراق والهواء في المحيط الخارجي فيزداد معدل النتح. ان اي زيادة في ضغط التبخر سوف تؤدي الى تسريع جفاف التربة، وان كتلة الهواء الجاف التي تحيط بالنبات ستؤدي الى سحب الماء من النباتات التي تكون جذورها سطحية.

على العموم، تكون استجابة النبات لنقص الماء الشديد من خلال غلق الثغور لاجل تقليل النتح وفقدان الماء من سطوح الاوراق بالمستوى الذي يسمح باعادة تجهيز نفس المستوى المفقود من الماء وعن طريق الجذور. هذا الحال يلاحظ في كل النباتات على السواء. سواءً كانت النباتات الصحراوية او نباتات المناطق المعتدلة او الجافة، حيث تكون آلية فتح وغلق الثغور معتمدة كليا على الرطوبة النسبية (Mansfield و Alkinson، 1990). يفهم من ذلك بان اي تغيير في محتوى التربة من الماء يرتبط بعملية النتح لا محال، فتعمل الثغور، التي تسيطر على النتح، على توفير آلية لحماية النبات من اي نقص في المحتوى او المخزون المائي: 1) تغلق الثغور بنسبة معينة تعتمد على نسبة نقصان الماء في التربة. 2) تغلق بعض الانواع النباتية ثغورها بالكامل واكثر من غيرها من الانواع النباتية، وخصوصاً عند تطور نقص ماء التربة. 3) ان الثغور في بعض الانواع لا تقوم بعملية النتح حتى بعد ري التربة اي اعادة الترطيب re-watering (Kramer و Sanchez، 1971 و Mansfeld و Meinder، 1968). ربما تختلف هذه المفاهيم نسبياً عند التطرق الى نباتات رباعية الكاربون (C4) او النباتات العصارية التي تختزن الماء في الاوراق المحورة كما في الصباريات.

لسوء الحظ، في الكثير من الانواع النباتية وخصوصاً المحاصيل الغذائية، تكون خلايا البشرة المحيطة وسطح الخلايا الحارسة غير محمية بطبقة سميكة من الكيوتكل، فيحدث فقد الماء بصورة مباشرة من الخلايا الحارسة الى الغلاف الجوي. فاذا كان معدل كمية الماء المتبخر من سطوح الخلايا الحارسة اكبر من كميته التي تعوضها خلايا الميزوفيل التي تحت خلايا البشرة، فان الخلايا الحارسة ستصبح رخوة flaccid وتغلق الفتحة الثغرية. اي بمعنى ان الخلايا الحارسة تعمل كما لو كانت مقياس اوزموزي اي تنافذي osmometer. يتم تنظيم عملية غلق الثغور بما يسمى بالنشاط الهيدروري hydroactive processes. اي ان العمليات الحياتية لهذا الانغلاق الثغري يعتمد على ويستخدم في الاساس الاشارات الايونية العكسية التي تسبب فتح الثغور. فيحصل التنبيه بغلق الثغور عند انخفاض جهد ماء الورقة في خلايا الميزوفيل فتظهر علامات استخدام حامض الابسيسك ABA والهرمونات الاخرى. فمنذ اكتشاف حامض الابسيسك في اواخر الستينيات، قد عرف ان لهذا الحامض دوراً مهماً في عملية غلق الثغور الناجمة عن نقص الماء. ان تراكم حامض الابسيسك في الاوراق التي تعاني من الشد المائي وكذلك التطبيقات الخارجية لاستخدام حامض الابسيسك كمثبط لعملية فتح الثغور. في دراسة على طفرتين من الطماطة فشلت في تجميع المستوى الطبيعي من حامض الابسيسك، فتعرضتا للذبول بسرعة كبيرة نتيجة نقص الماء. ان الدور المؤكد لحامض الابسيسك في غلق ثغور النباتات المعرضة للاجهاد الرطوبي يصعب كشفه وتاكيده حتى يومنا هذا بسبب ان وجود حامض الابسيسك غالبا ما نجده وبتراكيز عالية في الانسجة غير المعرضة للشد، كما اشارت الدراسات الحديثة الى بدء غلق الثغور قبل حدوث اي زيادة يمكن ملاحظتها في محتوى حامض الابسيسك. في اغلب النباتات المروية جيدا، يتم تخليق حامض الابسيسك في سايتوبلازم خلايا الميزوفيل في الاوراق، ولكن بسبب تدرج الحموضة (الاس الهيدروجيني، pH) بين خلايا الميزوفيل، يتم تجميع حامض الابسيسك وتراكمه في خلايا الكلوروبلاست (الشكل،2). اما عن كيفية تحكم حامض الابسيسك في انتفاخ الخلايا الحارسة، فانها تبقى محدودة، حيث ان الادلة العملية قد اوضحت عدم حاجة حامض الابسيسك الى الدخول الى الخلية الحارسة، لكن ربما يكون موجوداً على السطح الخارجي لغشاء البلازما، كما عرف ان خلايا الميزوفيل التي ترتبط بالروابط او الجسور plasmodesmata، فانه لاتوجد مثل هذه الجسور مع الخلايا الحارسة اي عدم وجود روابط بين الخلايا الحارسة وخلايا الميزوفيل والتي ربما كانت ستسمح بعبور حامض الابسيسك الى الخلايا الحارسة (الشكل، 3). وعليه فان تراكم كميات كبيرة من حامض الابسيسك في الاوراق الذابلة، يعني بان غلق الثغور الذي يبدأ قبل حدوث اي زيادة معنوية في تركيز حامض الابسيسك انما يفسر باطلاق حامض الابسيسك المخزون في الابوبلاست، حيث تحدث عملية غلق الثغور بفترة مبكرة وبكمية كافية من حامض الابسيسك.

وكما هو معروف دور حامض الابسسك، فان دور الهرمونات هو الاخر يكون كبيرا في عملية الاتصال بين الجذور المعرضة للشد المائي والاوراق. في تجارب على محصول الذرة الصفراء، تم الحصول على زيادة في انتاج حامض الابسيسك (Blackman و Davis، 1985)، حيث منعت السايتوكاينينات غلق الثغور.

التعديل الاوزموزي Osmotic Adjustment

هناك استجابة اخرى واضحة للشد المائي في العديد من النباتات هي انخفاض الجهد الاوزموزي الناجم عن تراكم الذوائب، والتي عرفت على انها التعديل الاوزموزي. بينما يتوقع حصول زيادة في تركيز الذوائب والتي تنجم عن عملية التميؤ (الجفاف) dehydration وبالتالي صغر حجم الخلية، فان التعديل الاوزموزي يرجع بالتحديد الى صافي الزيادة في تركيز الذوائب العائد الى العمليات الحياتية التي تتحسس بالشد. ينجم عن التعديل الاوزموزي حصول جهد سلبي اكبر في ماء الورقة، وبذلك يساعد على الاحتفاظ بحركة الماء الى داخل (باتجاه) الورقة وبالتالي ينعكس على انتفاخها.

يتم تجميع الذوائب ببطء خلال عملية التعديل الاوزموزي، وان الانخفاض في مقدار الجهد الاوزموزي انما يعود الى الكمية الصغيرة نسبيا من التعديل الاوزموزي والتي لا تتجاوز ميكاباسكال واحد. وعليه فان دور الذوائب في المحافظة على الانتفاخ تحت جهد مائي واطيء نسبيا يمثل حالة جوهرية من التأقلم للشد المائي. وربما يلعب التعديل الاوزموزي دوراً مهماً في مساعدة الاوراق الذابلة جزئيا لاعادة انتفاخها مباشرة بعد تجهيز الماء (بعد الري). من خلال المساعدة التي تؤدي الى الاحتفاظ بانتفاخ الورقة، فالتعديل الاوزموزي يمكّن النباتات من المحافظة على بقاء الثغور مفتوحة والاستمرار باخذ ثاني اوكسيد الكاربون اللازم لعملية التمثيل الضوئي تحت ظروف الشد المائي المتوسط.

يقصد بالذوائب ضمن مفهوم التعديل الاوزموزي، العديد من الايونات اللاعضوية وخصوصا البوتاسيوم (K+)، السكريات والاحماض الامينية (الشكل، 4). يبدو ان الحامض الاميني المسمى برولين خصوصية واضحة في الحساسية للشد المائي. وعليه، يتم تخليق البرولين من الكلوتامين في اوراق العديد من النباتات. تبين دور البرولين الواضح في العديد من خلايا الطماطة في الزراعة، حيث وضعت الخلايا تحت ظروف شد مائي (اوزموزي) من خلال تعريضها الى تراكيز اوزموزية عالية بوساطة كلايكول متعدد الاثيلين (PEG)، فابدت استجابتها من خلال فقد انتفاخها وتجميع البرولين بسرعة. ومثلما يستمر تجميع البرولين، فان الانتفاخ يعود تدريجيا الى هذه الخلايا (Handa واخرون، 1986). اما بالنسبة للسوربيتول sorbitol والذي يمثل سكر كحولي والبيتين betaine (N,N,N- trimethyl glycine) فهما ذوائب اخرى تتراكم في الخلية مع ظهور علامات الشد المائي. ان اغلب النواتج الكيميائية التي نجدها بحصول التعديل الاوزموزي تؤكد عدم توصيفها بحالة جوهرية تحت ظروف العمليات الحياتية الطبيعية اي بغياب الشد (المائي).

يمكن القول، بانه على الرغم من ان التعديل الاوزموزي هو حالة عامة للاستجابة للشد، الا ان ليست جميع الانواع النباتية قادرة على القيام بهذا التعديل لتراكيز الذوائب في خلاياها. فالبنجر السكري sugerbeet الذي يخلق كميات كبيرة من البيتين ويعد معدل اوزموزي جيد، فانه من جهة اخرى، لا تعد اللوبياء cowpea كمعدل اوزموزي جيد osmotic non adjuster، حيث تعوض ذلك بامتلاكها ثغوراً ذات حساسية عالية فتتجنب الجفاف بغلق ثغورها والمحافظة بالتالي على جهد مائي عالي نسبيا. يفهم من ذلك، بان البنجر السكري له القدرة على الاستمرار بعملية التمثيل الضوئي حتى في ظروف الجهد المائي الواطيء، بينما يعد غلق الثغور في اللوبياء سمة لايقاف التمثيل الضوئي بعد استنفاذ الكاربون المخزون بفترة قصيرة.

تاثير نقص الماء على نمو المجموع الخضري والجذري Effect of Water Deficit on Shoot and Root Growth

ان احد التاثيرات المبكرة والاولية لنقص الماء في حياة النبات هو اختزال او تقليل النمو الخضري، وخصوصا الاوراق التي تكون في العموم حساسة اكثر من الجذور. وفي دراسة على محصول الذرة الصفراء، تبين حصول انخفاض معنوي في تمدد الاوراق واتساعها عندما تجاوز جهد الماء في الانسجة -0.45 ميكاباسكال فحصل تثبيط النمو كلياً عند وصوله الى -0.1 ميكاباسكال. وفي نفس الوقت، حافظ نمو الجذور على وضعه الطبيعي حتى تجاوز جهد الماء في انسجة الجذر ما قيمته -0.85 ميكاباسكال. ولم يكتمل التثبيط الكلي للنمو حتى عند وصول جهد الماء الى -1.4 ميكاباسكال (Westgate و Boyer، 1985). تجدر الاشارة الى ان تقليل اتساع وكبر الاوراق تحت ظروف الجفاف له فائدة كبيرة في تقليل المساحة الورقية وبالتالي تقليل النتح، اي بمعنى ان تربية اصناف الذرة الصفراء المتحملة للجفاف ربما تتطلب ان يكون الشكل المظهري والهندسي للنبات صغيراً.

فضلا عما ذكر من تاثيرات متعددة لنقص الماء سواءاً في عمليات التمثيل الضوئي او العمليات الحياتية الاخرى، فان توسع وكبر الخلايا في الانسجة النباتية عموما يتاثر سلبيا وبدرجة واضحة، على الرغم من حصول التعديل الاوزموزي بكفاءة عالية فيها. وحقيقة الامر، ان التعديل الاوزموزي مهما كان كبيرا وكفوءاً فانه لايكون بالصورة المثلى. اي بمعنى انه لو كانت عملية انتفاخ الخلايا ليست عامل تحكم، فان الاجابة على التساؤل حول كيفية تحديد نقص الماء لتوسع وكبر الخلايا لابد ان يبقى قيد البحث والتمحيص.

تعديل المساحة الورقية Leaf Area Adjustment

من خلال المناقشة السالفة الذكر، كما في العديد من الدراسات والكتب المتخصصة حول كفاءة نمو المجموع الخضري وفعاليته وخصوصاً اوراق النبات، فان العديد من الانواع النباتية، مثالها القطن الذي تم تعريضه لشد الماء قد سرعت من شيخوخة الاوراق القديمة ثم سقوطها وزوالها abscission. وفي حالة القطن، نجد فقط الاوراق الفتية على اعلى الساق هي التي تبقى وتحافظ على اداء الفعاليات الحيوية عندما يكون شد الماء متفاقماً، وهذا ما يصطلح عليه بتعديل المساحة الورقية، وهو ما يمثل آلية اخرى لتقليل المساحة الورقية وبالتالي تقليل النتح في الاوقات التي تكون فيها وفرة الماء محدودة، حيث نجد النبات يحافظ على حيوية البراعم ويبتديء بتكوين اوراق جديدة. وفي مثال اخر على نبات الذرة الصفراء، نجد ان اشتداد ظروف الجفاف تؤدي الى شيخوخة الاوراق التي تحت العرنوص مبتدئة من الاوراق القريبة من سطح الارض، كوسيلة دفاعية لتقليل النتح وعدم ضخ نواتج التمثيل الضوئي الى الاوراق السفلية والتي ربما تكون متطفلة في غذائها على الاوراق العليا من جهة وكونها تفقد الماء بعملية النتح، اكثر مما يؤثر على محتوى النبات الكلي من الماء. ولاينسى ان هناك اليات دفاعية اخرى مثل التفاف الاوراق لتقليل المساحة الورقية المعرضة لأشعة الشمس والرياح بما يؤدي الى تقليل النتح.

المقدمة

يمكن تعريف الإجهاد بأنه: عدم إتزان فسلجي وهذا يحدث لتعرض النبات لأحد العوامل البيئية الطبيعية التي تؤثر في نمو النبات ويكون تغيّر 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 إستقرار 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 لتحاشي 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 الجذورمحدوداً.
2- أو عندما يزاد 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 النُظُم المختلفة (نظام التنفس، والإمتصاص والنتح .... الخ)، فإذا إستمرالجفاف 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 تغيرات 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 إتزان في توزيع الأيونات داخل الخلايا.
ومن نتائج تأثير الأجهاد الأخرى هي تخليق البروتين ومن mRNA جديد. كما يؤثر الإجهاد المائي أيضاً في إيقاف أو بطئ إنقسام الخلايا إذ يكون النبات النامي تحت الإجهد متقزما 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.

فعند 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 شانها 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 Co_2 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 أوكسد الكربون وعوامل أخرى تستحق الاهتمام.

إن إنخفاض بناء الكلوروفيل في الأوراق في النباتات المتعرضة للإجهاد المائي هو منع تركيب الكلوروفيل في أربعة مراحل متالية 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 الكلورفيل 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 ولكثير من المحاصيل، من جانب أخر 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 **RuBisCo**[1] 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 ينُظر 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 الكاربون من البيئة المحيطة نتيجةً لغلق الثغور ويحدث نتيجةً لذلك ما يسمى بالتنفس الضوئي، إذاً 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 سواءاً كان هذا التغيير كمياً أو نوعياً، وبشكل عام فإن البروتينات التي تُصنّع في النبات تقل وبشكل ملحوظ نتيجة للإجهاد المائي ويمكن ملاحظة هذا الإمخفاض 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 ثنائي 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*.

الأجهاد الملحي Salt Stress

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 بأرتفاع 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 تنتح الماء.
2- نقص في مساحة الورقة.
3- انخفاض في نمو المجموع الجذري.

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

فمن التغييرات الفسيولوجية:

1- وجود الأيونات في السايتوبلازم يقلل من ترطيب البروتين والأنزيمات مما يؤدي الى خلل في عمل الأنزيمات.
2- نقص في تركيز الـــ DNA و الـــ 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 اوراقة بلون اخضر داكن.
3- زيادة سمك الأوراق.
4- حروق على الأوراق للنباتات الخشبية التي تسممت بأيونات الصوديوم والكلوريد إذ أن الأجزاء ألخضرية 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 الكلويد 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 الكيمياوية 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 الكيمياوية تترسب على صورة رواسب 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 المبازل أو مياه الآبار الأرتوازية شديدة الملوحة يؤدي بالتأكيد الى رفع ملوحة التربة، كما ان الإسراف في مياه الري يؤدي إلى إرتفاع مستوى الماء الأرضي ولذلك تكون الأراضي المنخفضة عرضة لإنتقال 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 ال جفاف النبات.

2. **الأثر السام لبعض الأيونات خاصة الكلور والصوديوم Ion Toxicity.**
3. **عدم إتزان 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 فأن 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 بالأجهاد 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 السايتوبلازم والفجوات العصارية بصفة خاصة مما يؤدي إلى **تثبيط النشاط الأيضي** في التبات 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 سواءاً كان إجهاداً مائياً أو ملحياً وذلك لكونه يمنع أو يقلل تكسير البروتين في الخلية فيقوم بالحفاظ على حيوية الخلايا.

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 إستعمال السنادين في الزراعة فأن 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 الى 25%.
4) **تهوية التربة:** إن سوء التهوية يزيد من تركيز ايونات الكربونات كما ويتجمع الكحول من التنفس اللأهوائي فتزداد مقاومة الجذر لحركة الماء ويقل نشاطة 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 لاتستطيع البذور الأستفادة 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 النتح 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 كالغبار وأبخرة المواد العضوية تقلل من مقاومة النبات للملوحة، أما الضوء الشديد فيسبب زيادة في عملية النتح 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 ايونات الكالسيوم لأنها تقلل نفاذية الأغشية الخلوية بينما ايونات الصوديوم تزيد من النفاذية، ويختلف التأثير العكسي لأيونات الكالسيوم من نبات لأخر كما يمكننا أن نجد بعض منظمات النمو تقلل من التأثير الضار لبعض الأملاح مثل الجبرالين – 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 الاساسية 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 الاخرى تتاثر كثيراً بدرجات الحرارة فإنها تزداد أو تُسرَّع في تفاعلاتها ولغاية درجة مئوية معينة (عادة اقل من 40 درجة مئوية). إذ أن درجة الحرارة اكثر من 40 درجة مئوية تؤدي الى ابطال مفعول الأنزيمات مما يسبب عدم اكتمال ذلك التفاعل المعني.

والمعروف ان درجة حرارة الجو تصل احيانا الى قيما عالية اكثر من (40) درجة مئوية، ففي فصل الصيف على سبيل المثال تصل درجة الحرارة نهاراً الى اكثر من (50) درجة مئوية في المناطق الصحراوية والجافة كما في العراق. لكن النباتات تحافظ على درجة الحرارة داخل اجسامها بحيث لاترتفع عن الحد المؤثر وذلك من خلال عدد من الامور من اهمها ماتقوم به من تبديد الحرارة في عملية النتح Transpiration التي يفقد جسم النبات حرارة كبيرة . كما ان ارتفاع الحرارة يسبب زيادة في عملية النتح في النبات فضلا عن التبخر بشكل عام مما يؤدي الى الجفاف الذي قد يهلك النباتات.

ان انخفاض درجات الحرارة هو الاخر له تاثيرات سلبية على نمو النباتات خاصة عند وصولها درجة الانجماد التي تؤدي الى تحديد نمو النباتات وبطىء العمليات الايضية فضلا عن تاثيرات اخرى كانسداد الاوعية الخشبية من خلال تجميد الماء فيها مما يسبب توقف انسياب الماء الى اعالي النبات في تلك الاوعية وبذلك تموت تلك الاطراف من النبات.

ويتضح مما تقدم ان 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.

ان 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 الإتزان 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 ومضره تقع بين (45 - 55) م° وتختلف درجة الحرارة الضارة أحياناً بين الخلايا في النبات الواحد نفسه.

إجهاد الحرارة المرتفعة High temperature stress:

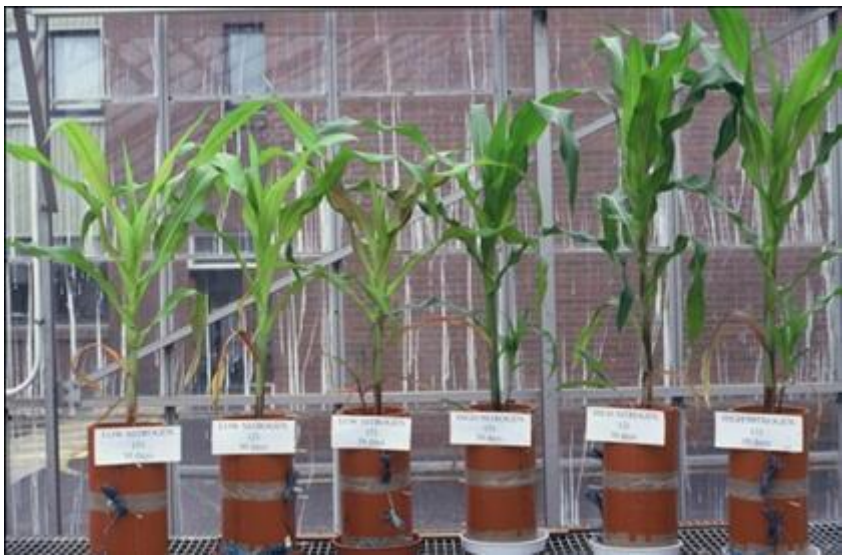
إن ارتفاع درجة الحرارة بشكل عام يؤدي بالنتيجة إلى ارتفاع درجة حرارة النبات ويكون كعامل مجهد لنمو النبات وخاصة في حال انخفاض معدل النتح الذي له دور في تبريد انسجة النبات وان اضرار النبات الناتجة بسبب ارتفاع الحرارة تعتمد على الفترة الزمنية لتعرض النبات لذلك الأرتفاع ومن اهم تأثيرات الحرارة المرتفعة على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

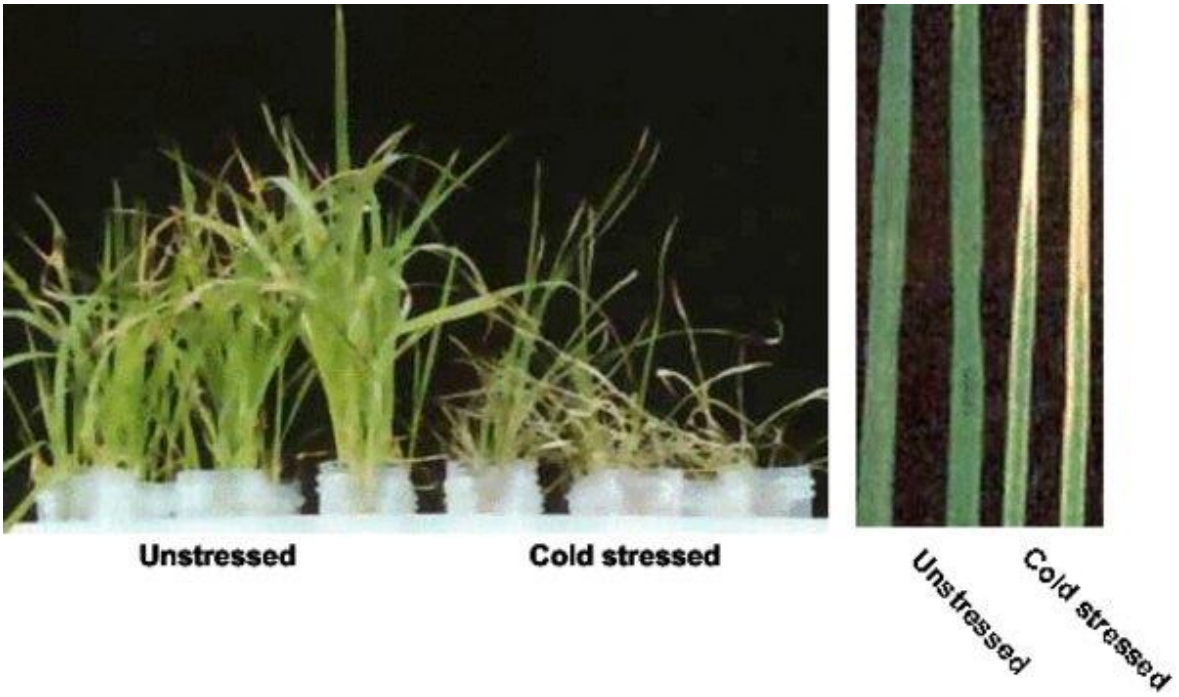
1- ينشأ الضرر او الأجهاد من تعرض النبات إلى درجات حرارة منخفضة أعلى من درجة حرارة التجمد يسمى (إجهاد البرودة Chilling Stress).
2- ينشأ الضرر او الأجهاد من تعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة تصل إلى درجة التجمد (إجهاد التجمد Freezing Stress).

ومن اعراض اجهاد انخفلض 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 الـــ Catalase[1] ، 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 H_2O_2 إلى ماء وأكسجين، وتوجد علاقة طردية بين بناء صبغات اليخضور ونشاط أنزيم 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 مرتفعا.



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 تأثيرلت على النبات منها :-

1- توقف حركة السايتوبلازم.
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

ينشا اجهاد التجمد من تعرض النبات الى درجة حرارة منخفضة تصل لدرجة التجمد وقد يسبب التجمد موت انسجة النبات والسبب الرئيسي للموت هو تكون البلورات الثلجية في انسجة 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.

المقدمة

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 والمولبيديوم 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 اكثر من 10 مليارات نسمة (حالياً يبلغ تعداد سكان العالم ما يقارب 7 مليارات نسمة). ومن هنا نجد أن حامضية أو فاعدية التربة هي أحد الخيارات الصعبة القليلة التي تواجه التوسع الزراعي خلال العقدين الماضيين حيث تم إجراء دراسات عديدة لفهم استراتيجيات التكيف الفسيولوجي والحيوي التي يستخدمها النبات للنمو في الترب الحامضية او 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)، لإن مقياس الرقم الهيدروجيني يعتمد على إستخدام اللوغاريتم فكل تغيير عدد صحيح للحموضة (مثلا 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 والأشنات 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 أوكسيد الكاربون 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، والموليبديوم Mo) كما وتعاني من سمية بعض العناصر (كالألمنيوم Al) حيث تؤثر زيادة عنصر الألمينوم 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 تركز عنصر الكالسيوم منخفضاً والذي يعد الأساس في الحفاظ على بناء التربة والتنوع البايلوجي 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 الكاليسوم في محلول التربة، تمتاز هذه الترب كون الغطاء النباتي فيها يحتوي على الشجيرات الصغيرة والحشائش الحولية، وهناك بعض الدراسات تقول إمكانية إعتبار 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 غالبا 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 شانها أن تغير كيمياء منطقة الجذور (المنطقة القريبة من التربة المحيطة بالجذر). وإفراز المواد عن طريق الجذور تختلف وفقا لنوع وظروف التربة والحالة التغذوية للنبات. من ناحية أخرى، فعالية النقل النشط يلعب دورا في إنتقائية إمتصاص العناصر المعدنية.

إستجابة النباتات للمعادن الثقيلة:

في الترب الحامضية، نجد أن هناك تراكيز عالية من العناصر الثقيلة[1] 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 وفسيولوجياً 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 **بإمتصاص كميات كبيرة** من العناصر وتركيزها في أجزاء نباتية معينة ومن ثم التخلص منها أو الاحتفاظ بها.

ربما يعزى سبب عدم دخول العناصل 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 تقدّر 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 وهذ الأحماض مثل (السيترات – الأوكزالات – الماليت – ....الخ) وظيفة 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).

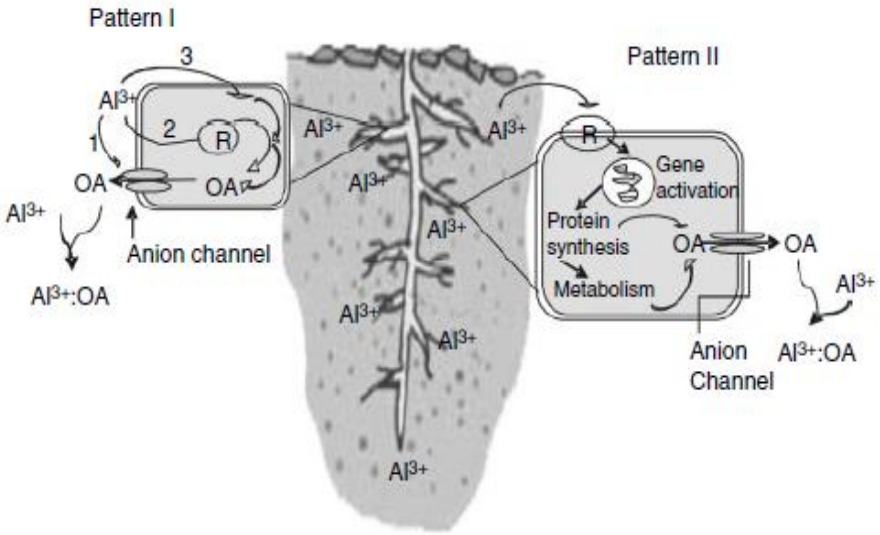
تم التوصّل إلى آليتين في إفراز الأحماض العضوية في جذور النباتات، الأولى: الإستجابة السريعة للإفراز حالما يشعر النبات بوجود الألمنيوم وذلك بتنشيط خاصية الغشاء البلازمي لضخ الاحماض العضوية ويعتقد أن البروتينات اللازمة لبناء الأحماض العضوية موجودة فعلاً وهذا ما يفسر سرعة الإستجابة، الآلية الثانية: تأخر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

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

صورة لنبات Snap bean

صورة لنبات Cassia tora

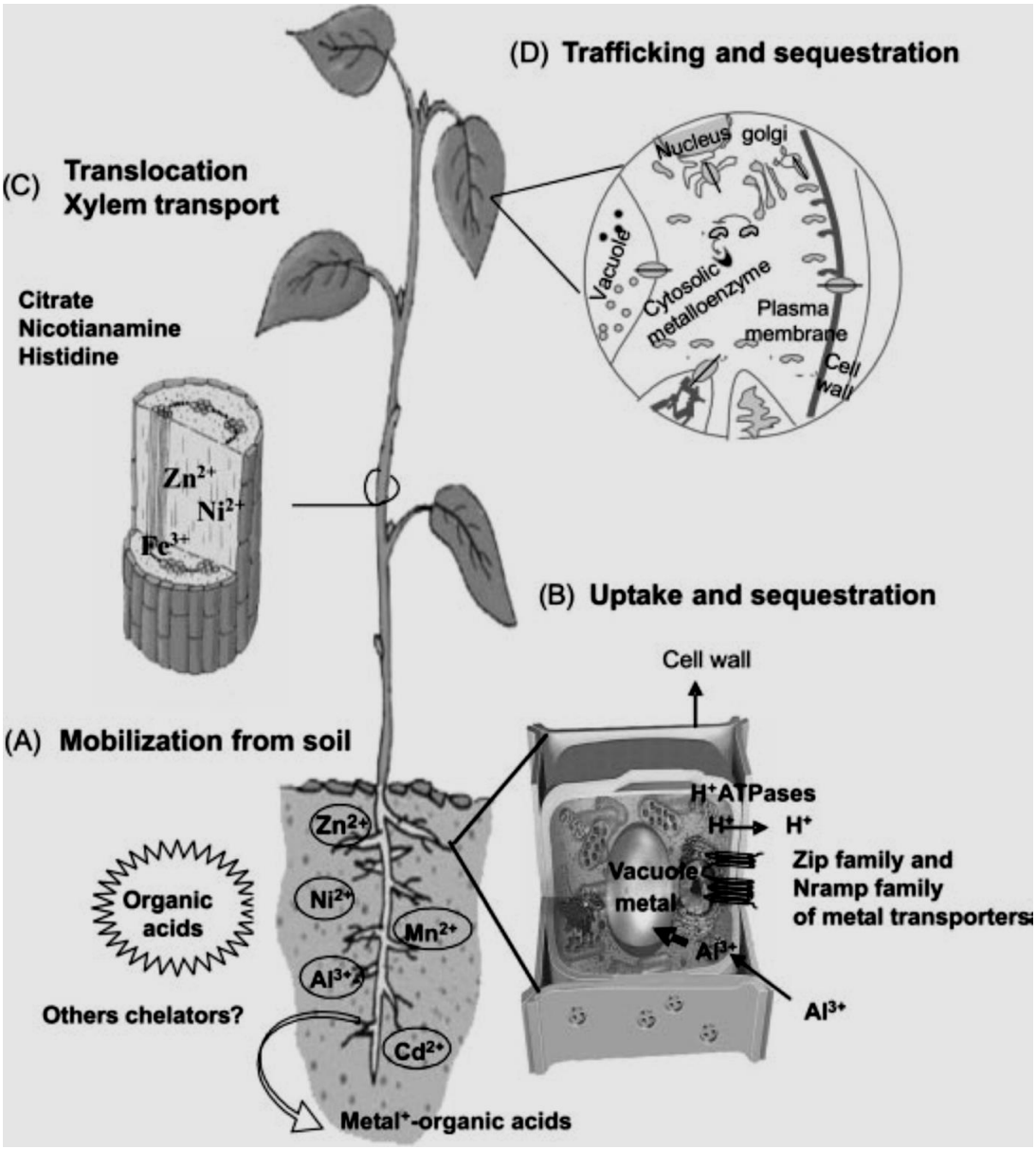
صورة لبذور Cassia Tora



مخطط يوضح طريقتي التعامل مع العناصر الثقيلة السامة

على الرغم من وجود العديد من الأحماض العضوية في خلايا الجذور إلا أن هنالك 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.

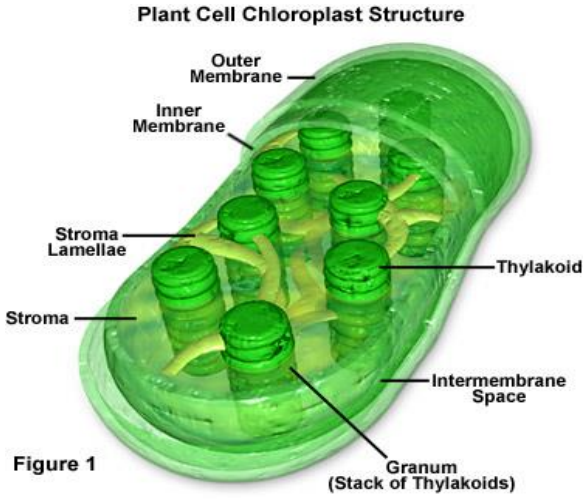
بعض النباتات لها القدرة العالية على تراكم التراكيز العالية من المعادن الثقيلة في داخل انسجتها كالزنك والنيكل والكاديميوم من دون تلف أي خلايا نباتية وهذه النباتات تعود للعائلة الصليبية *Brassicaceae*



مخطط يوضح الآليات التي يتخذها النبات لمواجهة العناصر الثقيلة

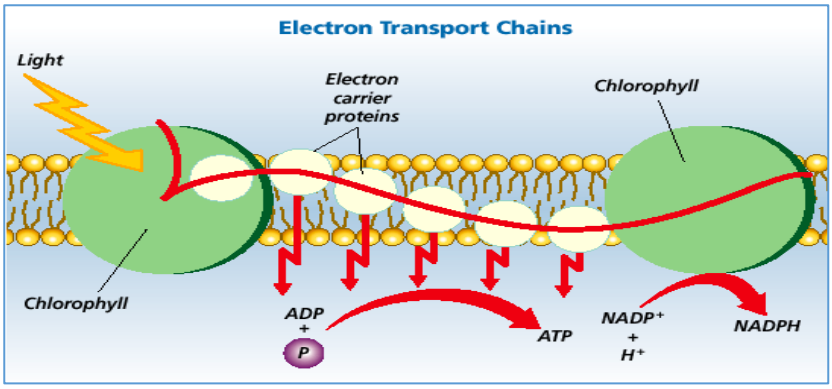
الضوء ودوره في حياة النبات

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.

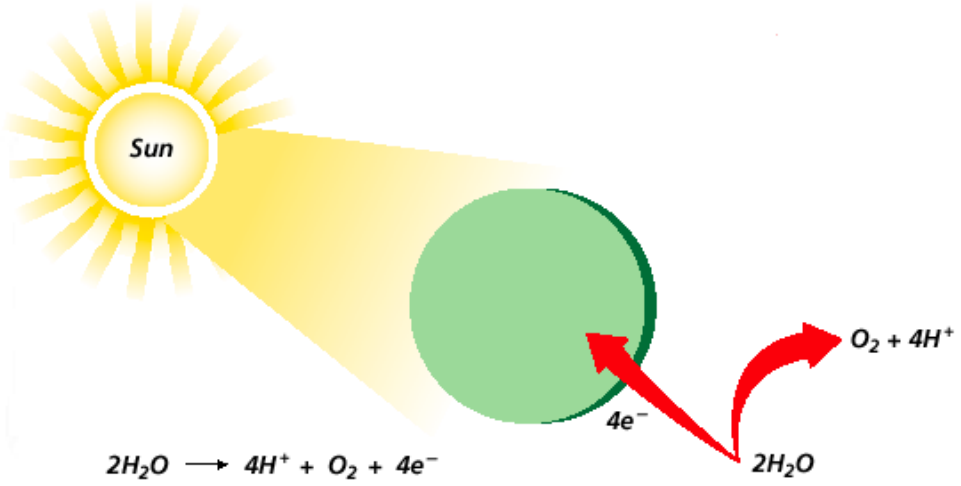


يوضح الرسم شكل البلاستيدة الخضراء في النبات

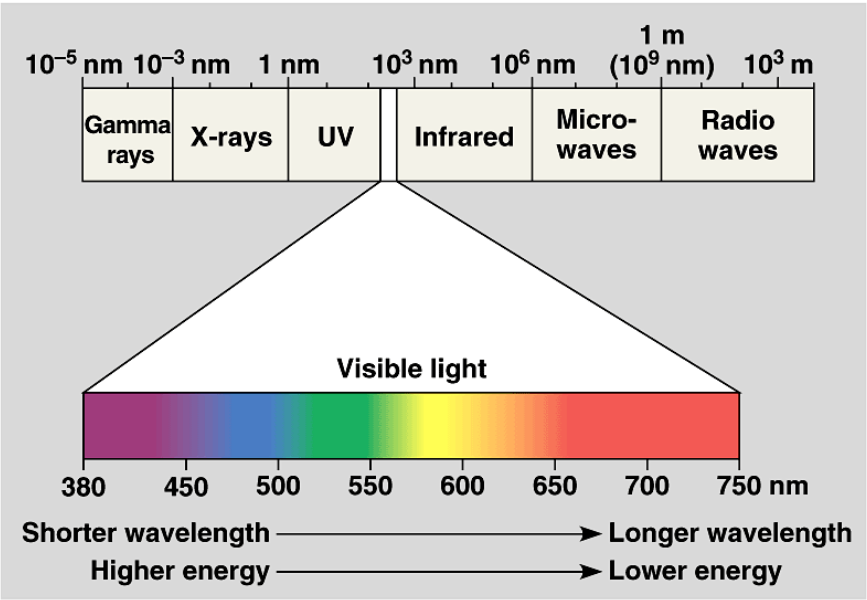
فكما هو معلوم أن البلاستيدات الخضراء تقوم بإستخدام مواد متوفرة في كوكب الأرض كالماء وضوء الشمس والأشياء الأخرى لتوفير الطاقة (ATP) وتقليل صرف هذه الطاقة المستخدمة عن طريق إستخدام مركب (**NADPH**[1]) وهذان المركبان لهما الدور الرئيسي في تفاعلات الظلام للتمثيل الضوئي وهو تثبيت غاز ثاني أوكسيد الكاربون (CO_2) ويساهمان أيضاً في تركيب العديد من المركبات كالاحماض الدهنية والأمينية والنووية 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 المصنّع ويقوم بمعالجة هذا الخلل **النظام الضوئي الثاني**[2]، 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 – protoeases .... 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 الكلورفيل بإمتصاص الطاقة الضوئية ولكن الطاقة الضوئية تحتوي على أطوال موجية مختلفة لذلك ستنقسم هذه الأطوال الموجية إلى قسمين يقوم بإمتصاصها نوعين من النظم الضوئية (النظام الضوئي الأول والذي يعرف إختصاراً PS I والنظام الضوئي الثاني والذي يعرف إختصاراً 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 فى العمليات التي تحتاج إلى طاقة مثل عملية تحويل ثاني أكسيد الكربون CO_2 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 Photoropism**: الأزهار تتجه أطرافها دائماً لأعلى وخاصة في النورات السنبلية ولهذا وجد عند وضع ذبات 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 التأقيت 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 للضوء**[3] ، 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 لأصباغ 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 لإرتفاع 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 يتحمله النبات تأثير ضار على الأوكسينات حيث تعمل على تكسير وتحطيم الأكسين 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 مصحوبا بأي أخطار 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 والبترول 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 دوليا 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 كليا 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 السوفييتي سابقا 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 ضررا على العناصر البيئية، وهو من أكثر أشكال التلوث البيئي انتشارا نظرا لسهولة انتقاله وانتشاره من منطقة إلى أخرى وبفترة زمنية قصيرة نسبيا، ويؤثر هذا النوع من التلوث على الإنسان والحيوان والنبات تأثيرا مباشرا ويخلف آثارا 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 وجلية 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 أوكسيد 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 بذورا أكثر مع ارتفاع نسبة ثاني اوكسيد 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 و طبيعة 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 أوكسيد الكبريت و النيتروجين و الامونيا وأول أوكسيد الكربون و كبريتيد الهيدروجين كما و تنبعث غازات الميثان و أول أكسيد الكربون والامونيا وكبريتيد الهيدروجين من النفايات العضوية. وتنبعث أكاسيد الحديد من مصانع الحديد و الصلب وغيرها الكثير من الأمثلة لصناعات تؤدي إلى انبعاث غا ا زت 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 أوكسيد الكربون و أكاسيد النيتروجين والكبريت وأكاسيد وكلوريدات 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، ومدخ ا رتها من المادة الحية النباتية والحيوانية تعتبر مدخ ا رت غذائية للإنسانية جمعاء في المستقبل، كما أن ثرواتها المعدنية ذات أهمية بالغة ونظرا لان 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 استمرارية الحياة .ومن اخطر أشكال هذا التلوث من المنظور العلمي إحداث خلل وتلف في نوعية المياه ونظامها الإيكولوجي بحيث تصبح المياه غير صالحة لاستخداماتها الأساسية وبالتالي يبدأ اتزان 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 والقاء 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 الكيمياويات 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 بتراكيز أعلى مما هو موجود في البيئة، ويعرف التراكم الحيوي (Bioaccumulation) بأنه قابلية الكائنات الحية على أخذ الملوثات العضوية وتركيزها في أنسجتها بتراكيز 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 الى 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 اكاسيد 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، وان 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 الكاربون 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 الالكانات المتفرعة كمركب البرستان ومركب الفاتيان والسكوالان كمؤشرات في البيئة من أجل التعرف على البقايا النفطية، لأنها تعد من المكونات الرئيسة للنفط الخام، وتستطيع النباتات الراقية بناء هذه المركبات نتيجة لكسر سلسلة الفايتين (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 الهيدروكاربونات 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 الفايتان ونسبة C_{17} إلى البرستان و C_{18} إلى الفايتان، 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، التغريق، 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 تتنشط وينشط بعضها البعض في زياددة إنتاج active oxygen species. أجريت دراسات على تأثير غاز الأوزون O_3 ، فوجد أنه يؤثر بشدة على نقص عملية البناء الضوئى نقص واضح فى طول الجذور والسيقان للنباتات وأيضاً نقص واضح فى كمية محصول النبات والسبب فى السمية الشديدة Phytototxicity الناتجة عن غاز الأوزون O_3 يرجع إلى قدرتة الفائقة والشديدة على التأكسد لإنتاج جزئيات 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 فى محتوى التربة من العناصر المغذية أو ظروف التعطيش (نقص الماء) أو التغريق. كذلك الظروف البيولوجية الغير عادية أو الإصابة بالمسببات المرضية أو التلوث بالأوزون أو الإضاءة الشديدة أو الإشعاع الشديد. كل تلك الظروف تؤثر سلبا 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 ان 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 التى تظهر أو تنتج فى الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد:

1- Lipoxygenase[1] activity.

زيادة نشاط أنزيم Lipoxygenase.

2- Activated oxygen species.

زيادة إنتاجها يسرّع من عملية الهدم والوصول إلى مرحلة الشيخوخة.

3- Stressed promoting compounds such as:

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

إنتاج مركبات مشجعة للإجهاد مثل:

a) Ethylene.
b) Methyl Jasmonic acid[2].

أنواع الجذور الحرة Types of free radicals

من المعروف أن أنواع الأكسجين النشطة هى 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- Alkoxyl radicals Ro
6- Peroxyl radicals Roo.
7- Poly unsaturated fatty acids.
8- Semi quinine free radicals
9- Semi quinine free radicals
10- Photolytic ozonation radicals (O_3)
11- Sulfar monoxide radicals (So^{-})

إن كل من جذور الهيدروكسيل الحرة (OH) وجذور الوكسجين الأحادي (O_2) مواد مؤكسدة قوية جداً وتقوم سريعاً بمهاجمة الجزيئات الحيوية مثل جزيئات DNA مما يؤدي إلى خلل شديد في عمليات الأيض وحدوث 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 إنزيمى. 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 أحد الهرمونات المؤدية للشيخوخة حيث انه يقلل من مستوى التعبير الجينى.

1- Ascorbate (Vit.C) وهذه المواد تتواجد بوفرة في الكلوروبلاست والمايتوكوندريا والبيروكسيزوم.
2- Glutathion[3].
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 senescenceتحفيز الشيخوخة.
3- Metabolic oxidationالأكسدة الأيضية .

- فى الكلوروبلاست يتم إنتاج superoxide radicals (O_2) من خلال التفاعل PSI هذا الأكسجين النشط يتم السيطرة علية 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 بتثبيط بعض إنزيمات Calvin cycle وكذلك أكسده وهدم نواتج عمليه 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 إنزيميCoenzyme ، ومضاد أكسدة Antioxidant لحماية الخلايا من ضرر الجذور الحرة Free radicals.

1- Azide (inhibit myloperoxidase).
2- 1.4 diazo – bicycle – (2-2-2) octan (DABCO).
3- Diphenylisobenzofuran (as O_2 trap).
4- Deuterium oxide.
5- Superoxide anion dismutase (SOD) convert (O_2 to H_2O_2).
6- Sulfite (scavenge O_2 produced by xanthin oxidase).
7- Benzoate (Trap for OH).
8- Mannitol (scavenge OH).
9- Ascorbic acid (it is oxidized by both H_2O_2 to dehydromonoascorbate).
10- Triton (iron chelator) (inhibit peroxiadase).
11- Catalase.
12- Sallicyl hydroxamic acid (SHAM) (inhibit lipoxygenase).
13- Cyanide (metablic inhibitor).
14- Detergents (chloro mercuri benzoate) (inhibit $NADPH_2$ oxidase).

تعتبر المواد السابق ذكرها مواد كانسة أو مثبطة لجذيرات الأكسجين النشطة Activated oxygen radical scavengers or inhibitors ومن المعروف أن الخلية النباتية تحتوى على المواد المنظفة أو الكانسة Scavengers والخاصة بها مثل الإنزيمات الكربوهيدرات الأحماض النووية الأحماض الأمينية.

كيف تؤثر الألوان او موجات الضوء على نمو وتطور النبات

قد يبدو نمو النبات عملية بسيطة ومباشرة. فيحتاج النبات إلى الري ، والتربة وبعض العناصر الغذائية ، الضوء (شدة الضوء والفترة الضوئية، ولون الضوء). ومع ذلك، لا يعرف الكثيرون كيف يمكن أن يكون لهذا الأخير تأثير كبير في تطوير النبات ... حتى الآن.

في هذه الاوراق، سنشرح كيف تؤثر أضواء الألوان المختلفة على نمو النبات ، ونتكلم بالتفصيل حول الخصائص التي يمتلكها الضوء ، وكيف يمكنك استخدام مصابيح نمو الإضاءة LED الملونة المختلفة لتغيير خصائص النباتات وجعل النباتات تنمو بشكل أسرع.

ما هو بالضبط الضوء المرئي؟

يعد ضوء الشمس أحد المكونات الأساسية في نمو النبات إلى جانب الماء والأكسجين. من خلال الحصول عليها ، يكون النبات قادرًا على تحويل ضوء الشمس إلى غذاء صالح يمكنه استخدامه. وتسمى هذه العملية التمثيل الضوئي. فالماء والأكسجين وضوء الشمس يعتبر هي العوامل الأساسية للبناء الضوئي.

الضوء المرئي كما نتصور أنه يتصرف كموجة. على هذا النحو ، فإنه لكل لون خصائص مختلفة حسب طول الموجة. على سبيل المثال ، اللون الاحمر طوله حوالي 650 نانومتر كما لو كان لونه أحمر.

مقياس الإضاءة الطيف الكامل

أجريت العديد من الدراسات حول كيف يمكن لألوان مختلفة من الأضواء أن يكون لها تأثيرات متفاوتة على نمو النبات.

بفضل التطورات الحديثة في تقنية LED (الصمام الثنائي الباعث للضوء) تنمو تكنولوجيا الإضاءة ، يمكن الآن عزل أطوال موجية ضوئية محددة للتحكم في الخصائص الفيزيائية المختلفة التي يعرضها المصنع أثناء تطوره طوال دورة حياته. تشمل هذه الخصائص ، على سبيل المثال لا الحصر ، الطول والوزن واللون والملمس ، وكذلك التركيب الكيميائي للنبات نفسه.

مع نمو النبات ، يمكنك استخدام مصابيح النمو LED لمعالجة هذه الخصائص الفيزيائية اعتمادًا على خصائص النبات التي تريدها.

آثار كل لون من الضوء

في الفقرات التالية ، أوضح ما يفعله كل لون فاتح ، والآثار التي ستضيفها أو إزالتها. ولكن أولاً ، إليك ملخص سريع ، مع معلومات موسعة التالية:

الأشعة فوق البنفسجية – يخفض انتاج النبات خاصة الاطوال الموجية (300 الى 200 نانومتر)

البنفسجي - يعزز لون وطعم ورائحة النباتات

الأزرق - يزيد من معدل نمو النباتات

الأخضر - يعزز إنتاج الكلوروفيل ويستخدم كصباغ للعرض المناسب للنبات؟ لماذا

الأصفر - تتميز النباتات بنمو أقل مقارنةً بالضوء الأزرق والأحمر

أحمر - عندما يقترن الضوء الأزرق، فإنه ينتج عنه المزيد من الأوراق والحاصل الخضري ، اعتمادًا على ما يتم زراعته

تحت الأحمر – يسرع من تحولات صبغة فيتوكروم الذي يقلل من الوقت الذي تستغرقه النباتات للذهاب إلى التزهير. هذا يسمح في الغالب من زيادة الخاصل الثمري.

الأشعة فوق البنفسجية (من 200 نانومتر إلى 380 نانومتر)

التعرض للأشعة فوق البنفسجية لفترة طويلة من الزمن له آثار ضارة على البشر. وبالمثل ، فإن التعرض لفترة طويلة لهذا النوع من الضوء سيضر بالنباتات التي تنمو بها.

أظهرت دراسة أجريت أن النباتات التي أثيرت دون التعرض للأشعة فوق البنفسجية أظهرت تعزيز النمو.

البنفسجي (380 نانومتر إلى 445 نانومتر)

من ناحية أخرى ، أظهرت الدراسات أنه عندما يستقبل النبات الضوء البنفسجي المرئي ، يتم تحسين لون وطعم ورائحة النبات.

بالإضافة إلى ذلك ، فإن مضادات الأكسدة في المصنع قادرة على أداء وظائفها بشكل أكثر كفاءة ، مما يمنع الخلايا في النبات من التلف.

الأزرق (450 نانومتر إلى 495 نانومتر)

الضوء الأزرق له واحد من أكبر التأثيرات على تطور النبات. أظهرت العديد من الدراسات أن تعريض النبات لهذا اللون يؤثر على تكوين الكلوروفيل ، مما يمكّن النبات من الحصول على مزيد من الطاقة من الشمس. كما أنه يتحكم في التنفس الخلوي للنبات ويقلل من فقد الماء من خلال التبخر أثناء الظروف الحارة والجافة.

للضوء الأزرق أيضًا تأثير على عملية التمثيل الضوئي ، ويمكن أن يؤدي المزيد من التعرض لهذا الضوء إلى زيادة معدلات نمو ونضج النبات. وتسمى هذه العملية التشكل الضوئي photomorphogenesis.

الأخضر (495 نانومتر إلى 570 نانومتر)

معظم النباتات التي نراها من حولنا تمتلك اللون الأخضر. هذا يرجع إلى حقيقة أنها تمتص جميع الألوان في الطيف الضوئي (الأزرق والأحمر والبنفسجي ، إلخ) ولكنها تعكس اللون الأخضر. على هذا النحو ، فإن الضوء الأخضر فقط هو الارتداد إلى أعيننا.

حتى مع امتصاص كمية منخفضة نسبيًا مقارنة بالألوان الأخرى ، وجدت دراسة أن الضوء الأخضر يعزز إنتاج الكلوروفيل الذي يساعد في عملية التمثيل الضوئي مع إعطاء اللون الأخضر للنباتات (لماذا).

بشكل عام ، لا يكون لإضافة اللون الأخضر إلى نباتاتك تأثير كبير في عملية حياتهم مقارنة بألوان الضوء الأخرى مثل اللون الأزرق(الأزرق). استخدام هذا النوع من الضوء سيكون بمثابة صبغة للعرض الصحيح لنباتاتك في غرفة النمو أو صندوق النمو ، ولكن ليس ضروريًا لنمو النبات نفسه.

لأصفر (570 نانومتر إلى 590 نانومتر)

بما أن الأصفر له طول موجي مماثل للأخضر ، فإن كلاهما يظهر خصائص متشابهة في النباتات. يشير مصدر من وكالة ناسا إلى أن الضوء الأصفر لا يسهم في عملية التمثيل الضوئي لأن الطول الموجي للضوء ينعكس في المصنع ولا يتم امتصاصه.

بالإضافة إلى ذلك ، كما هو الحال مع الضوء الأخضر ، أظهرت دراسة أنه عندما يتعرض النبات للضوء الأصفر مقارنة باللون الأزرق والأحمر ، فإن نمو النبات الذي تم اختباره قد انخفض.

التقسية

يعتقد الكثير أن الزيادة الفجائية أو الارتفاع الفجائي والقاسي في ألWater Stress يرجع إليه اكثر ضرر عكس الزيادة التدريجية في ألWater Stress لفترة طويلة من الزمن . والنباتات التي تتعرض لفترة أو اكثر من النقص المتوسط للماء Moderate Water Stress ويطلق عليها أن تقسية Hardened وهذه النباتات عادة يمكن أن تبقي حية تحت ظروف الجفاف دون حدوث ضرر عكس النباتات التي لم تتعرض للمعاملة السابقة. وقد ذكر البحاث أن التقسية Hardening تحدث تغيرات رئيسية في البروتوبلازم كزيادة في ألWater Binding Capacity أو الماء المرتبط بجانب زيادة لزوجته ونقص في النفاذية وقد ذكر ذلك Henckei 1964 . وقد قادت تلك الفكرة – التقسية – العلماء للمحاولة زيادة مقاومة النباتات للجفاف وذلك بمعاملة البذور قبل الزراعة . فيمكن نقع الجذور قبل الزراعة في الماء ثم تجفف هوائيا أو تنقع في محلول ملحي . وقد أشار May 1962 ان التغيرات التي تحدث في البروتوبلازم أمكن ملاحظتها في النباتات التي تعرضت للجفاف وان هذه التغيرات في الغالب ناتجة عن ألWater Stress . وقد وجد ان الزيادة في نسبة الجذور إلى الأفرخ ، وكذلك صغر حجم الأوراق وسمك طبقة الكيوتين من الصفات التي توجد في النباتات التي عرضت إلى Water Stress ولذلك أهميتها حيث ان النباتات التي تتعرض مرة Water Stress تحمل من الصفات التي تعمل علي زيادة جيدة في الإمداد المائي لأنسجة الورقة . كما تتميز بمعدل نتح اقل لكل واحدة من سطح الورقة حيث ان الثغور تغلق عند حدوث ألWater Stress ولذا ظن هذه النباتات تكون قادرة علي التحكم في فقد الماء عن تلك النباتات التي لم تتعرض لwater Stress . وكمثال لتوضيح ذلك نبات فول الصويا فانه بعد تعرضه لwater Stress يكون سطح الأوراق به نسبة اعلي من الدهون ولذلك فان معدل النتح يكون اقل وبذلك تكون هذه النباتات اكثر قدرة علي مقاومة الجفاف Ciarck & Levitt، 1956 .

وقد ذكر Kelly et al ان نباتات ألGuagule والتي عرفت بالHigh Water Stress يمكنها ان تسترد قوة نموها بسرعة ويمكن ان تنمو احسن من تلك النباتات التي لم تتعرض لwater Stress والتي أعطيت كميات وفيرة من المياه . وقد قدر Orchard ،1967 ان

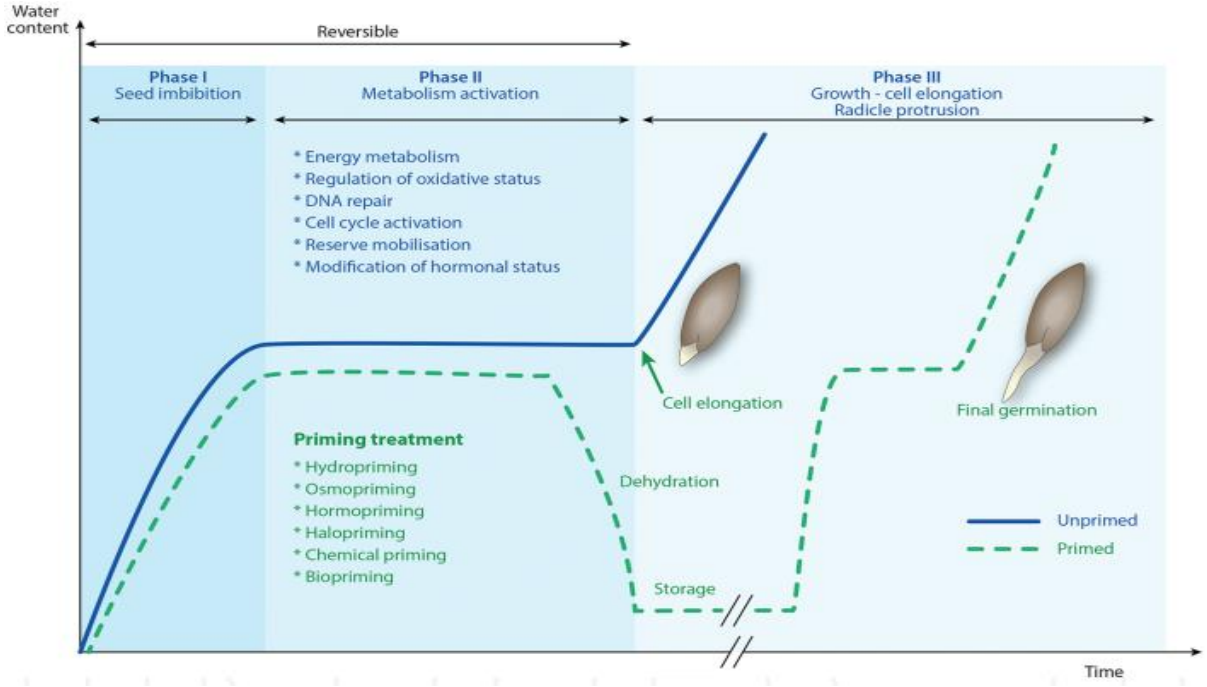
أوراق نبات ألIcale-Brassila Olerace Var. Fruticosa والتي تتفتح خلال فترة الجفاف يمكن ان تبقي حية وتتحمل اكثر ظروف الجفاف اكثر من تلك التي تفتحت بينما النبات يروي بصفة دائمة . وبالرغم من ان ألWater Stress يقلل من النمو فانه لوحظ ان النباتات التي تتعرض لmoderate Water stress في بعض الأحيان يكون نموها اكثر وبسرعة وخاصة عند إعادة ريها فأنها تنمو اكثر من تلك النباتات التي لم تتعرض ل Water Stress وربما يحدث تجمع للكربوهيدرات و المركبات النيتروجينية في ألStressed Plov فتكون بعد ذلك في متناول النبات وتعمل علي تنشيط نموه عند توفر الماء

التنبيه الكاذب للبذور واثره في زيادة مقاومة النباتات للشد البيئي

. التحفيز الكاذب للإنبات Seed Priming هو نقع البذور قبل الزراعة بهدف الوصول إلى حالة فسيولوجية تمكن البذور من الإنبات بشكل أكثر كفاءة؛ وذلك بتحفيز البذور للإنبات الى المرحلة الأولى القابة للانعكاس من الانبات ولكنها لا تسمح بخروج الجذير من خلال الغلاف البذري، وهذه الطريقة تحسن من نسبة الانبات المختبري والحقلي وقوة الانبات Seed Vigor وتزداد فعاليتها في البذور القديمة والمخزنة في ظروف سيئة (Nawaz وآخرون، 2013)، كما ان البذور المعاملة بالـ seed priming تقل بشكل كبير فيها الفترة بين الزراعة والوصل الى مرحلة البادرات (Kubala وآخرون، 2013).

يحقق الـ Seed Priming الإنبات الفعال للبذور وهو مهم للزراعة، ويقصد بالانبات الفعال تأسيس ناجح في وقت مبكر وهذا يعني ان البادرات تظهر سريعا وبنمو موحد ونمو جذري جيدا. يمر الانبات عادة عبر ثلاث مراحل مميزة (الشكل 1) وهي: (1) المرحلة الأولى: عملية ترطيب البذور المتعلقة بالتشرب السلبي للأنسجة الجافة المرتبطة بالماء تحدث الحركة لأول مرة في المناطق خارج الغشاء البلازمي Apoplast Space؛ (2) المرحلة الثانية: مرحلة التنشيط المرتبطة مع إعادة إنشاء الأنشطة الأيضية وعمليات الإصلاح على مستوى الخلية؛ (3)المرحلة الثالثة: بدء عمليات النمو المرتبطة باستطالة الخلية وتؤدي إلى خروج نتوء الجذير. تتضمن كل من المرحلتين الأولى والثالثة زيادة في محتوى الماء أثناء الترطيب كما ان المحتوى المائي يكون مستقرًا خلال المرحلة الثانية. عادة قبل نهاية

المرحلة الثانية تكون عملية الإنبات قابلة للعكس: وبالتالي يمكن تجفيف البذور مرة أخرى وتبقى حية أثناء التخزين وقادرة على إعادة بدء الإنبات لاحقًا في حال توفر ظروف مواتية للإنبات (Chen و Arora، 2011)



الشكل (1): منحنيات ترطيب البذور ومراحل الإنبات في بذور غير مهيأة ومجهزة للإنبات.

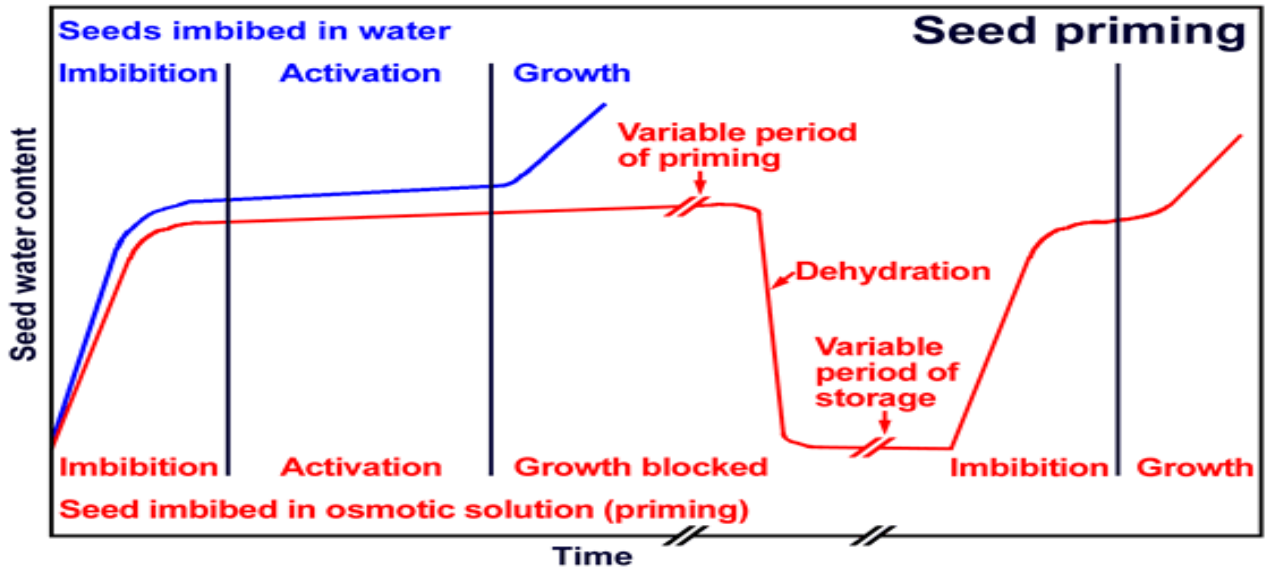
المعاملات التي تطبق خلال او اثناء مرحلة الإنبات القابلة للعكس (المرحلة الثالثة Phase III)، ومدتها تختلف حسب القدرة التناضحية بين المحلول والبذور ودرجة الحرارة ووجود المركبات الكيمائية، في المرحلة المرحلة الثانية Phase II يحدث تنشيط لعمليات التمثيل الغذائي وإصلاح للأضرار في البذور ويتم ايقافها بإرجاع البذور الى الرطوبة المناسبة لخزن البذور (الشكل 1) (Paparella وآخرون، 2015).

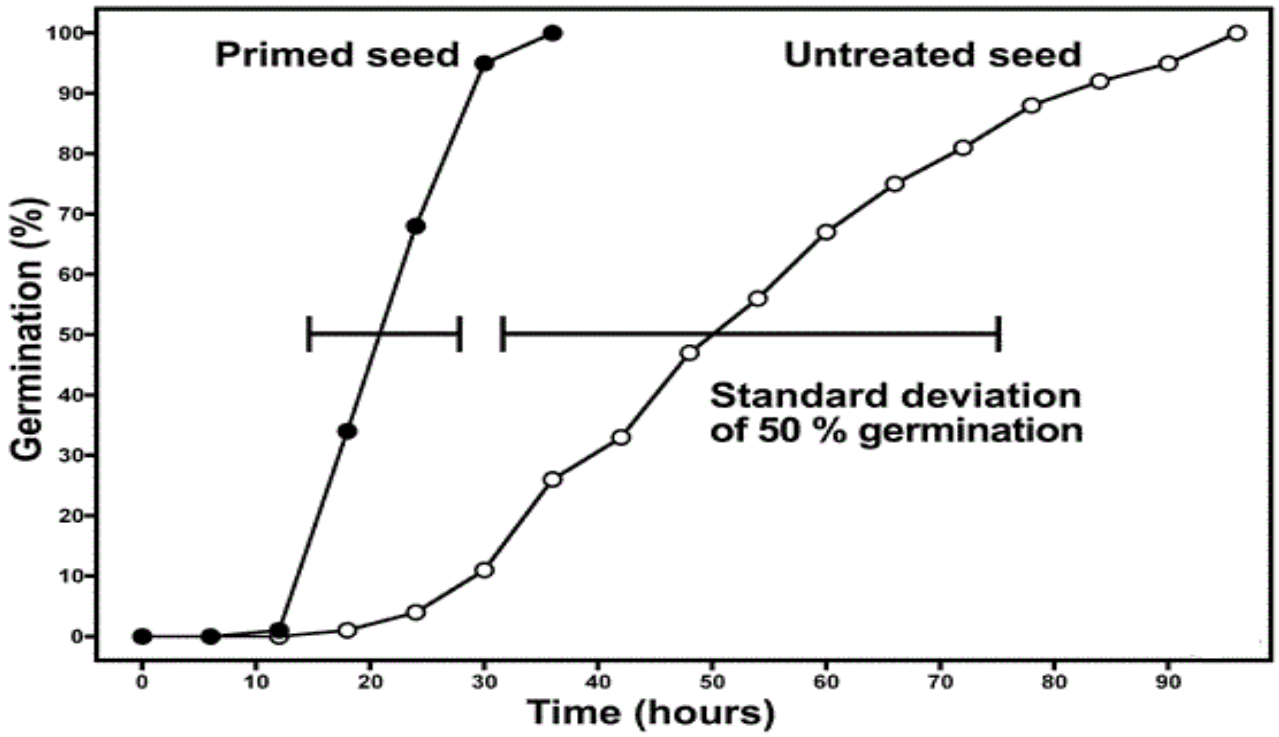
الـ seed Priming يساعد على نمو النباتات في ظروف بيئية واسعة ومقاومة الاجهاد البيئي (Zhang وآخرون، 2015)، ان الـ seed Priming مشابه لما يحدث لبذور بعض النباتات الصحراوية والتي بذورها تحتفظ بحيوتها لفترات طويلة ؛ اذ تتعرض بذورها لدورات من الجفاف والترطيب دون حدوث الانبات وبالتالي هذا يعزز الانبات اللاحق بعد هطول كميات كافية من الامطار الغزيرة (Santini و Martorell، 2013، من وجهة نظر عامة ، فان الـ Seed Priming لا تتعلق بالبذور فحسب، بل تتعلق أيضًا بنظام النبات

بأكمله ويمكن تعريفه على أنه حالة مستحثة حيث يتفاعل النبات بشكل أسرع وأكثر كفاءة مع الإجهاد البيئي (Balmer وآخرون، 2015). النباتات المعرضة للإجهاد في مراحل الانبات الأولى يعطي تكيف ايضي يخزن في ذاكرة النبات فيعطيها تكيفا اكثر كفاءة لنوبات الاجهاد اللاحقة (Gamir وآخرون، 2015) (Tanou وآخرون، 2012).

خطوات عملية التحفيز الكاذب للإنبات

- السماح من خلال ترطيب البذور المحدود ببعض عمليات التمثيل الغذائي اللازمة للإنبات دون حدوث إنبات (أي عدم الوصول الى المرحلة الأخيرة للإنبات خروج الجذير).
- يتم منع البذور من امتصاص كمية كافية من الماء لمنع وصل عملية الانبات الى المرحلة الأخيرة (خروج الجذير).
- هذا الترطيب للبذور كافٍ للسماح بعملية التمثيل الغذائي قبل الإنبات، ولكن غير كافٍ للسماح ببروز الجذير من خلال غلاف البذرة.





فوائد التحفيز الكاذب للإنبات

- خفض الوقت اللازم لإنبات البذور.
- زيادة نسبة انبات البذور.
- زيادة نسبة البزوغ الحقلي وكذلك التجانس للبادرات.
- زيادة القدرة التنافسية لبذور المحصول مع الادغال.
- القضاء على الفطريات التي تنقلها البذور أو تقليلها بشكل
- يحسن من أداء البذور تحت ظروف الاجهاد المختلفة.

الانبات في البذور المعاملة

البذور الغير جيدة بعد معاملتها
يكون انباتها منتظم ومتناسق

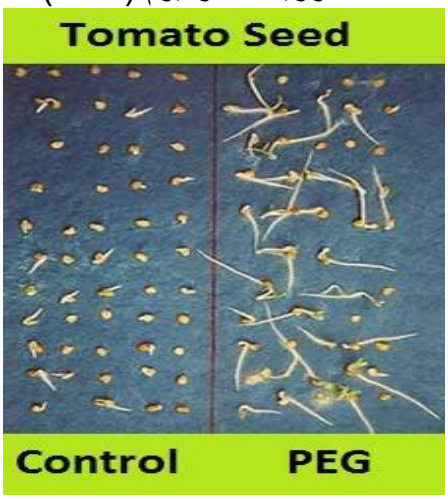
البذور الغير جيده
يكون انباتها غير منتظم وغير متناسق

التحفيز الكاذب للإنبات بالماءHydro-Priming لبذور الحنطة يؤدي الى:

1. زيادة قوة البذور Vigor
2. زيادة نسبة الانبات
3. خفض الوقت من نثر البذور الى مرحلة التأسيس (الترسيخ)
4. نمو متناسق ومنتظم
5. زيادة كفاءة استخدام الماء.
6. زيادة حاصل الحبوب

2.التحفيز الكاذب للإنبات بالمحاليل الازموموزية Osmotic Priming
يتم نقع البذور في محاليل ذات اثر ازموموزي وبدورات من النقع والتجفيف ثم الخزن على الرطوبة الملائمة للخزن، ومن المواد الازموموزية (Boudet وآخرون، 2006):

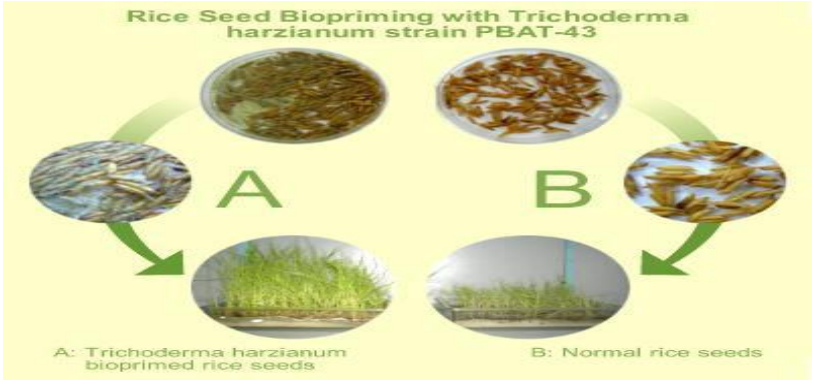
1. المنيتول mannitol.
2. نترات البوتاسيوم (KNO3).
3. كلوريد البوتاسيوم (KCl).
4. البولي اثلين كلايكول (PEG).
5. كلوريد الصوديوم (NaCl).



3.التحفيز الكاذب للإنبات بالمصفوفة الصلبة Solid Matrix Priming
يتم نقع البذور في مواد تعطي البذور او تسمح لها بالتشرب البطيء مثل الفيرميكوليت vermiculite أو diatomaceous earth أو أي مادة بوليمر أخرى ماصة للماء بدرجة عالية(Di Girolamo وBarbanti، 2012).

4.التحفيز الكاذب للإنبات بالمواد الحيوية :Bio Priming
وهو مزيج من ترطيب البذور مع التلقيح بالإحياء المجهرية المفيدة للبذور وبدورات من الترطيب والتجفيف ثم الخزن على الرطوبة الامنة للخزن (Raj وآخرون، 2004).

تأثير Bio Priming على بذور الأرز
تستخدم هذه الطريقة لمعاملة بذور الأرز بمضادات فطرية مختارة ضد مسببات الامراض التي توجد في التربة والتي تنقل بالبذور.



عملية التجفيف بعد التنبيه الكاذب للإنبات

يتم تجفيف البذور بعد عملية Seed Priming الى الرطوبة الامنة لخزن البذور، وعادة يكون التجفيف بشكل بطيء وعلى درجات حرارة معتدلة، وفي بعض الأحيان يتم استخدام الصدمة الحرارية (Chen و Arora، ٢٠١٣).

س/ لماذا يتم في بعض الأحيان استخدام الصدمة الحرارية؟

أحمر (620 نانومتر إلى 720 نانومتر)

التعرض للضوء الأحمر عامل مهم آخر يسهم في التطوير الأمثل للنبات.

بشكل فردي ، لن يكون للضوء الأحمر تأثير كبير على النبات ، ولكن عندما يقترن بالضوء الأزرق ، فإنه يجعل النبات يحقق نتائج أفضل عند الإزهار.

أوضحت دراسة قارنت بين الضوء الأحمر والضوء الأزرق وخليط من الاثنين أنه على الرغم من أن النباتات التي نمت تحت الضوء الأحمر أعطت أوراقًا أكثر من تلك التي نمت تحت الأضواء الزرقاء ، إلا أن توليفة من كلاهما أنتجت كمية من الأوراق تفوقت على النباتات التي نمت بدقة تحت الضوء الأحمر.

وحدثت حالة مماثلة أثناء نمو القمح حيث حقق المحصول نتائج أفضل بكثير عندما نمت تحت مزيج من الضوء الأحمر والأزرق ، مقارنةً بالضوء الأحمر فقط.

التلــوثPollution

الفصل الأول:

أ-تعريف التــلوث.

ب- أنواع التــلوث .

الفصل الثــانــي:

أ-أضرار التــلوث.

ب- وسـائل مكافحة التـلوث .

الفصل الأول :

أ- تعريـف التلوث :

لقد عرف التلوث بطرق مختلفة فيها: أن التلوث هو وضع المواد في غير أماكنها الملائمة أو أنه تلوث البيئة) المقصود أو غير المقصود) بفضلات الإنسان.
وهناك بعض التعريفات الأكثر تفصيلاً ودقة، مثل تعريف هولستر و بورتوز اللذان عرفا التلوث تعريفاً شاملاً من خلال تعريف الملوث، فالملوث هو مادة أو أثر يؤدي إلى تغير في معدل نمو الأنواع في البيئة يتعارض مع سلسلة الطعام بإدخال سموم فيها أو يتعارض مع الصحة أو الراحة أو مع قيم المجتمع.
وتدخل الملوثات إلى البيئة في المادة بكميات ملحوظة على شكل فضلات ومهملات أو نواتج جانبية للصناعات أو أنشطة معينة للإنسان وينطوي التلوث في العادة على تبديد الطاقة (الحرارية والصوتية أو الاهتزازات) وبشكل عام فإن التلوث يلحق أضراراً بوظائف الطبقة الحيوية (بيوسفير)التي تحيط بالكرة الأرضية ... ويمكن تلخيص هذه الأضرار على النحو التالي:

-1أضرار تلحق بصحة الإنسان من خلال تلوث الهواء والتربة والغذاء بمواد كيميائية وأخرى مشعة.
-2أضرار تلحق بالمحاصيل الزراعية والنباتات والمياه و التربة والحيوانات.
-3أضرار تلحق بالنواحي الجمالية للبيئة مثل الدخان والغبار والضوضاء والفضلات والقمامة.

-4الأضرار التي لا يظهر أثرها إلا في المدى البعيد ولكنها ذات أثر تراكمي ،مثل السرطانات (المواد التي تؤدي إلى الإصابة بمرض السرطان) والمواد المشعة والضوضاء.

أنواع التلوث :

-1التلوث الغذائي:

أدى الاستخدام الجائر للمخصبات الزراعية والمبيدات إلى حدوث العديد من الأضرار الصحية والاقتصادية بالمواد الغذائية التي يستهلكها الإنسان ،ونشأ نتيجة لذلك التلوث الغذائي.

-2التلوث الهوائي:

يحدث التلوث الهوائي من المصادر مختلفة والتي قد تكون طبيعية أو من الأنشطة المختلفة للإنسان ، فالطبيعية مثل: العواصف والرعود والإمطار والزلازل والفيضانات .ويسهم الإنسان بالجزء الأكبر في حدوث التلوث الهوائي عن طريق مخلفات الصرف الصحي والنفايات والمخلفات الصناعية والزراعية والطبية والنفط ومشتقاته والمبيدات والمخصبات الزراعية والمواد المشعة،وهذا يؤدي إلى إلحاق العديد من الأضرار بالنظام البيئي.

-3التلوث المائي:

ينزل الماء إلى الأرض في صورة نقية ،خالية من الجراثيم الميكروبية أو الملوثات الأخرى،لكن نتيجة للتطور الصناعي الهائل يتعرض للعديد من المشكلات مما يحوله إلى ماء غير صالح للشرب والاستهلاك الآدمي .ومن أكثر الأمثلة على ذلك تلوث ماء المطر بما تطلقه المصانع من أبخرة وغازات ، ونتيجة لذلك نشأ ما يسمى بالمطر الحمضي . كما يتلوث الماء بالعديد من الملوثات المختلفة فيتلوث على سبيل المثال بمخلفات الصرف الصحي وبالمنظفات الكيميائية المختلفة وببعض العناصر المعدنية مثل : الرصاص والزئبق والفوسفات والنترات والكلور والنفط.

-4التلوث الإشعاعي:

تسبب الإنسان في إحداث تلوث يختلف عن الملوثات المعروفة وهو التلوث الإشعاعي الذي يُعد في الوقت الحالي من أخطر الملوثات البيئية .وقد يظهر تأثير هذا التلوث بصورة سريعة ومفاجئة على الكائن الحي ،كما قد يأخذ وقتاً طويلاً ليظهر في الأجيال القادمة ، ومنذ الحرب العالمية الثانية وحتى وقتنا الحالي استطاع الإنسان استخدام المواد المشعة في إنتاج أخطر القنابل النووية والهيدروجينية.

-5التلوث المعدني:

تعد مشكلة التلوث بالعناصر المعدنية السامة في الوقت الحاضر من أهم المشكلات التي تواجه المتخصصين في مجال البيئة ،ذلك لأنها ذات أضرار صحية بالغة على صحة الإنسان . وقد تفاقمت هذه المشكلة نتيجة للتطور السريع في المجالات الصناعية المختلفة ،فعلى سبيل المثال زادت نسبة غاز أول أكسيد الكربون في الهواء الجوي . أما عنصر الرصاص فقد لوحظت زيادته باستمرار نتيجة لاحتراق العديد من وقود المركبات.

6 -الضوضاء:
تزداد شدة الضوضاء في عالمنا المعاصر بشكل ملحوظ ،ولم تعد مقتصرة على المدائن الكبرى والمناطق الصناعية ،وإنما وصلت إلى الأرياف ،واستطاع الإنسان أن يصنع الضوضاء بفضل ***** طرق لسيارات الحديثة والسكك الحديدية والطائرات والآلات الزراعية والصناعة .كما لم تسلم البيوت من الضوضاء بعد أن سخر الإنسان كل وسائل التقنية الحديثة لرفاهيته من راديو وتلفزيون وأدوات تنظيف وأدوات طبخ وغيرها ،وبكلمات أخرى لقد غزت الضوضاء المآوي القليلة الباقية للصمت في العالم . وربما حتى نهاية هذا القرن لن يجد الإنسان مكاناً باقياً كي يلجأ إليه إذا أراد الهرب إلى بقعة هادئة.
الفصل الثاني
-1أضرار التلوث:
أ-التلـوث الهوائي : أسهم تلوث الهواء في انتشار الكثير من الجراثيم التي تسبب بالأمراض للناس منها: الأنفلونزا ، الإمراض الوبائية القاتلة التي تنتشر بسرعة في الوسط البيئي ، ومرض الجمرة الخبيثة ومرض الطاعون والكوليرا ومرض الجدري والحمى ،كما تحدث حالات تسمم للإنسان نتيجة لتأثيرات الضارة للمركبات المتطايرة من الزرنيخ نتيجة للنشاط الميكروبي لبعض الأنواع الفطرية ، كما أثر بشكل كبير على طبقة الأوزون ويدمرها.
ب-التلـوث المائي : من أهم الأضرار الصحية تلوث الماء بمخلفات الصرف الصحي التي تحمل العديد من المسببات المرضية مثل بعض الأنواع البكترية والفطرية والفيروسية .ويؤدي تلوث الماء إلى حدوث تسمم للكائنات البحرية ،كما يتحول جزء من النفط إلى كرات صغيرة تُلتهم بواسطة الأسماك مما يؤثر بشكل مباشر على السلسلة الغذائية، كما يؤدي تلوث الماء بالكائنات الحية الدقيقة إلى حدوث العديد من الأمراض مثل حمى التيفوئيد وفيروس شلل الأطفال ، وكذلك الطفيليات.
ج-التلـوث الإشعاعي : من أهم الأمراض التي يتعرض لها الإنسان بسبب الإشعاع ظهور احمرار بالجلد أو اسوداد في العين ،كما يحدث ضمور في خلايا النخاع العظمي وتحطم في الخلايا التناسلية ،كما تظهر بعض التأثيرات في مرحلة متأخرة من عمر الإنسان مثل سرطان الدم الأبيض وسرطان الغدة الدرقية وسرطان الرئة ،ويؤدي إلى نقص في كريات الدم البيضاء والالتهابات المعوية وتتعدى أخطاره لتصل إلى النباتات والأسماك والطيور مما يؤدي إلى إحداث اختلال في التوازن البيئي ،وإلحاق أضرار بالسلسلة الغذائية.
د-الضوضاء : تؤثر الضوضاء في قشرة المخ وتؤدي إلى نقص في النشاط ، ويؤدي إلى استثارة القلق وعدم الارتياح الداخلي والتوتر و الارتباك وعدم الانسجام والتوافق الصحي ، كما تؤدي إلى ارتفاع ضغط الدم وآلام في الرأس وطنين في الأذن والتحسس والتعب السريع ، ويعانون من النوم الغير هادئ والأحلام المزعجة وفقدان جزئي للشهية إضافة إلى شعور بالضيق والانقباض وهذا ينعكس في القدرة على العمل والإنتاج ،كما يؤثر على الجهاز القلبي الوعائي ويسبب عدم انتظام النبض وارتفاع ضغط الدم وتضييق الشرايين وزيادة في ضربات القلب إضافة إلى

التوتر والأرق الشديدين.
-2وسائل معالجة التلوث :
أ- تلوث الهواء:
-1بما أن الكبريت المسؤول الرئيسي عن التلوث بأكاسيد الكبريت ،فيجب علينا انتزاعه بصورة كاملة ولأن هذه العملية مكلفة،
موجود في الوقود والفحم والبترول المستخدم في الصناعة فينصح بالتقليل من نسبة وجوده .
-2التقليل من الغازات والجسيمات الصادرة من مداخن المصانع كمخلفات كيميائية بإيجاد طرق إنتاج محكمة الغلق،كما ينصح باستخدام وسائل عديدة لتجميع الجسيمات والغازات مثل استخدام المرسبات الكيميائية ومعدات الاحتراق الخاصة والأبراج واستخدام المرشحات.
-3البحث عن مصدر بديل للطاقة لا يستخدم فيه وقود حاوٍ لكميات كبيرة من الرصاص أو الكبريت، وربما يعتبر الغاز الطبيعي أقل مصادر الطاقة الحرارية تلوثاً.
-4الكشف الدوري على السيارات المستخدمة واستبعاد التالف منها.
-5إدخال التحسينات والتعديلات في تصميم محركات السيارات.
-6الاستمرار في برنامج التشجير الواسع النطاق حول المدن الكبرى.
-7الاتفاق مع الدول المصنعة للسيارات بحيث يوضع جهاز يقلل من هذه العوادم، وذلك قبل الشروع في استيراد السيارات.
ب- تلوث المـــاء:
-1وضع المواصفات الدقيقة للسفن المسموح لها بدخول الخليج العربي بما يتعلق بصرف مخلفات الزيوت، وتحميلها مسؤولية خلالها بقواعد حماية البحر .
-2مراقبة تلوث ماء البحر بصورة منتظمة، وخاصة القريبة بمصبات التفريغ من المصانع.
-3إقامة المحميات البحرية على شاطئ الخليج العربي، وفي مناطق تضم أدق الكائنات البحرية الحية في العالم.
-4بالنسبة للتلوث النفطي تستخدم وسائل عديدة منها : -استخدام المذيبات الكمياوية لترسيب النفط في قاع البحر أو المحيطات.ويستخدم هذا الأسلوب في حالة انسكاب النفط بكميات كبيرة بالقرب من الشواطئ ويخشى من خطر الحريق.
-5بالنسبة لمياه المجاري الصحية فإن الأمر يقتضي عدم إلقاء هذه المياه في المسطحات البحرية قبل معالجتها.
ج-الضوضاء:
-1وضع قيود بالنسبة للحد الأقصى للضوضاء الناجمة عن السيارات بأنواعها والمسموح بها في شوارع المدن كما هو متبع في بعض الدول المتقدمة.
-2تطبيق نظام منح شهادة ضوضاء للطائرات الجديدة .
-3مراعاة ***** المطارات الجديدة وخاصة للطائرات الأسرع من الصوت بعيداً عن المدن بمسافة كافية.

-4عدم منح رخص للمصانع التي تصدر ضوضاء لتقام داخل المناطق السكنية ،ويكون هناك مناطق صناعية خارج المدن.
-5الاعتناء بالتشجير وخاصة في الشوارع المزدحمة بوسائل المواصلات ،وكذلك العمل على زيادة مساحة الحدائق والمتنزهات العامة داخل المدن.

د- تلوث التربة:

-1التوسع في زراعة الأشجار حول الحقول وعلى ضفاف البحيرات والقنوات والمصارف وعلى الطرق الزراعية.
-2يجب التريث في استخدام المبيدات الزراعية تريثاً كبيراً.
-3يجب عمل الدراسة الوافية قبل التوسع باستخدام الأسمدة الكيماوية بأنواعها.
-4يجب العناية بدراسة مشاكل الري والصرف ،والتي لها آثار كبيرة في حالة التربة الزراعية.