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

الاجهاد البيئي – عملي

المحاضرة الاولى

اثر درجة الحرار والرطوبة على الاخصاب وعملية التركيب الضوئي الذرة الصفراء انموذجا

نجد ان حاصل العروة الربيعية ينخفض عن العروة الخريفية وذلك للأسباب الاتية:

1- تتعرض حبوب اللقاح الى : انخفاض الحيوية والموت وفشل تكوين الانبوبة اللقاحية بشكل كبير في العروة الربيعية وذلك للأسباب الاتية :

أ- **ارتفاع درجة الحرارة:** تؤثر درجة الحرارة على النورة المذكرة في طور تكوين الامشاج الذكرية وطور الانقسام الاختزالي (Giorno واخرون، 2013)، وإنبات أنبوب حبوب اللقاح والنمو داخل الميسم "الخيوط السلكية" ، وكذلك يقل و/او ينعدم التواصل او النقل بين خلايا وانسجة الزهيرات الذكرية (Saini واخرون،1983) . وفي دراسة فسلجية ومرفولوجية أجريت في جامعة ريغنسبيرغ الألمانية وجامعة فينا عن اثر الحرارة على حبوب لقاح الذرة الصفراء لمدة طويلة لوحظ ان مرحلة الانقسام الرباعي tetrad stage هي الأكثر تأثراً مرفولوجيا (تظهر حبوب اللقاح بشكل مجعد وضامرة) وايضيا (ارتفاع نسبة السكريات غير الذائبة)، ولوحظ ان يومين من التأثير الحراري المرتفع في مراحل مبكرة من نمو الامشاج كافي لأحداث انخفاض في الاخصاب بسبب كون أكياس حبوب اللقاح تكون شبة فارغة ، وفي (الشكل 1) يظهر اثر ارتفاع درجات الحرارة على النسبة الاخصاب في العرنوص (Begcy واخرون، 2019).

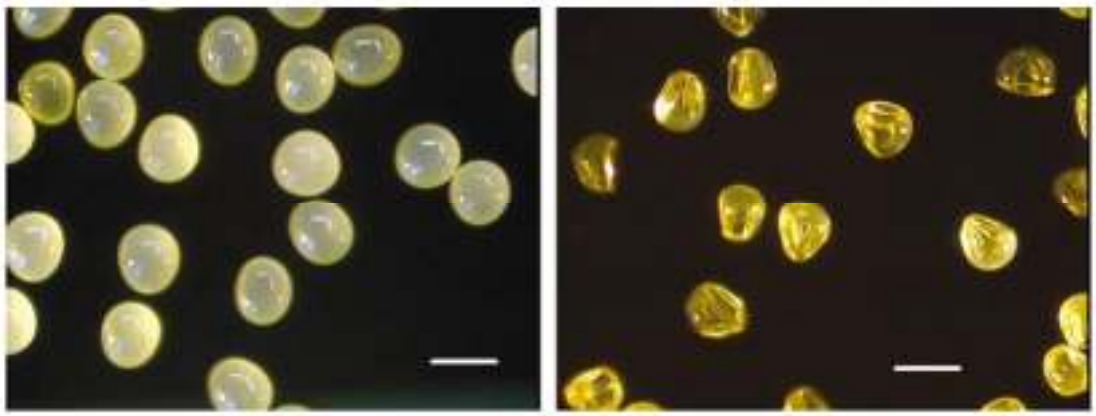
شكل 1 : تأثير درجة الحرارة على نسبة الخصب، الاجهاد الحراري يزداد في العرانيص كلما تتجهنا الى اليمين.

على مستوى التمثيل الغذائي، فان حبيبات النشاء والنشاء الكلي في حبوب اللقاح الناضجة ينخفض في النباتات المجهدة حراريا، ويعتقد بأن الانخفاض في التمثيل الضوئي يمكن أن يؤثر على النشاط الإنزيمي، مما يؤثر على مستويات النشاء الى السكر وتكوين الدهون وبالتالي على الاداء الوظيفي لحبوب اللقاح (Pressman واخرون، 2002).

وبتتبع التحليل الايضي Metabolomic والاستنساخ Transcriptomic لمجموعة فرعية من الجينات لحبوب لقاح ناضجة مجهدة حراريا وغير مجهدة حراريا، ومتابعة بروتينات الصدمة الحرارية (البروتينات التي يميل النبات الى تجميعها اثناء تعرضه الى صدمة حرارية)، ومراجعة لسيناريو موت الخلايا المجهدة حراريا (تسلسل الاحداث داخل الخلية من تعرضها للشد الحراري الى موت الخلايا)، وبروتين التثبيط JAZ/TIFY للتعبير او فك التشفير للجينات المسؤولة عن انتاج المواد المرتبطة بالاستجابة للإجهاد الحراري نجد ارتفاع مستويات RNA (في الموقع MYP و MYP المرتبط) في المراحل الأولى للإجهاد الحراري، وكذلك هنالك فشل في ارتباط الجينات مع الكينيز kinases وبالتالي يحصل انخفاض بالترجمة او التعبير الجيني Gene Expression، وعلى العكس من بقية النباتات فان الذرة الصفراء لايتغيير فيها استجابات الأوكسين في حبوب

لقاح الذرة الناضجة على الرغم من انخفاض مستويات الأوكسين في أكياس حبوب القاح في الأنواع النباتية الأخرى عند الإجهاد الحراري (Sakata وآخرون، 2010).

ب–انخفاض نسبة رطوبة الهواء: تؤثر الرطوبة الجوية على حيوية حبوب اللقاح، اذ ان حبوب اللقاح ذات جدران قليلة السمك، فانخفاض الرطوبة الجوية يؤدي الى نزع او تجفيف حبوب اللقاح (انظر شكل 2)، وما يزيد الامر تعقيدا ان نبات الذرة الصفراء خلطي التلقيح وبالتالي تحتاج حبوب اللقاح الى الانتقال لمسافة طويلة لكي يحدث الاخصاب مقارنتا بالنباتات النجيلية الأخرى الذاتية التلقيح، كما ان النبات ذات الفلقة الواحدة تحتاج الى ان يكون محتواها المائي اكثر من الثنائية الفلقة لكي تكون فعالة في عملية الاخصاب (Ettore و Rudy، 2019).

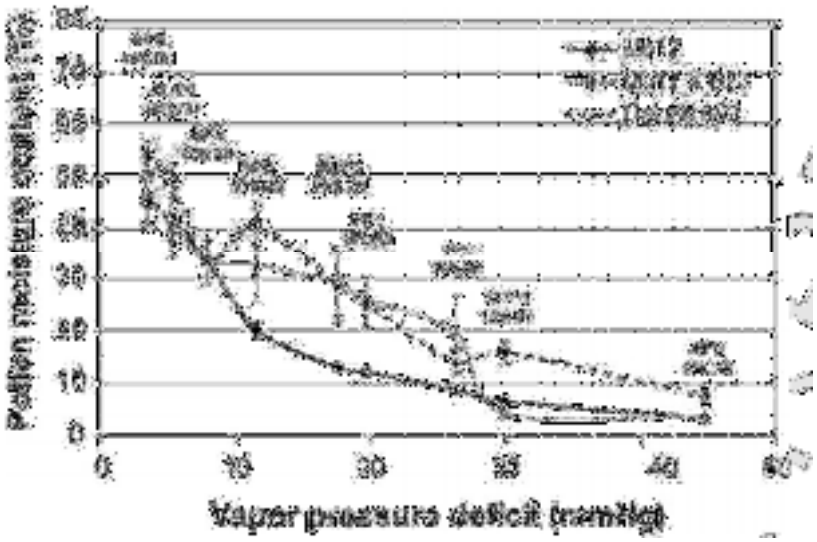


شكل 2: شكل نموذجي لحبوب لقاح الذرة الصفراء أثناء التجفيف: حبوب لقاح الذرة الصفراء رطبة بالكامل (يسار) نصف جافة (يمين)، تغير اللون من اللون الكريمي إلى اللون الكهرماني في النصف جافة، والتغير في الشكل من شكل كروي متدلي إلى مادة صلبة منشورية مسننة، شريط القياس 100 مايكرومتر.

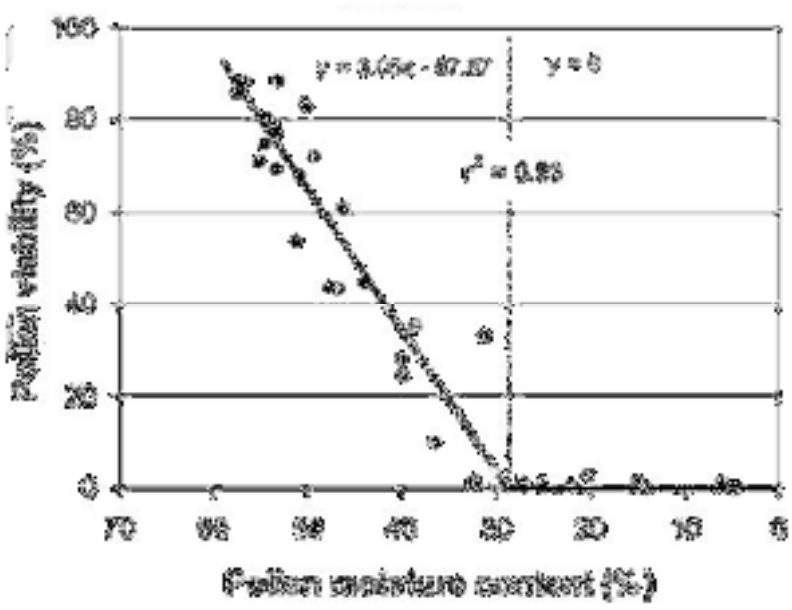
فترة اطلاق حبوب اللقاح تكون على مدار أسبوعين. لكي تنمو الحبوب، يجب أن تظهر الحريرة (الخيوط السلكية silks) ويتم تخصيبها بحبوب لقاح حية. تنمو الحريرة حوالي 2.5 إلى 4 سم في اليوم ويستمر في الاستطالة حتى حدوث الاخصاب. درجات الحرارة التي تزيد عن 35 درجة مئوية مع انخفاض الرطوبة النسبية ستجفف الحريرة المكشوفة ايضا، لكنها لن تؤثر على معدلات استطالة الحرير بشكل كبير (Aylor، 2003).

يؤدي إجهاد الجفاف إلى إبطاء استطالة الحرير ولكنه يسرع من تساقط حبوب اللقاح. يمكن أن يؤدي هذا إلى ظهور حبوب اللقاح قبل ظهور الحريرة. يمكن لأي إجهاد مثل عدم

كفاية المياه ، أو انخفاض خصوبة التربة ، أو زيادة معدل الزراعة أن يؤخر تكوين الحرير لأسبوعين أو أكثر، وبالتالي تقليل عدد البذور في النباتات إذا لم تعد حبوب اللقاح متوفرة، كمية حبوب اللقاح من نبات واحد كافية لعشرة نباتات؛ هذا يوفر درجة من التعويض ويحسن فرصة الإخصاب في البيئات المجهدة حراريا ومائيا (Aylor، 2003). هنالك علاقة عكسية بين الضغط البخاري للهواء (المحتوى المائي للهواء) مع المحتوى المائي لحبوب اللقاح (الشكل 3)، ويمكن الاستدلال على حيوية حبوب اللقاح من خلال رطوبة البذور (انظر الشكل 4) فنجد ان صلاحية حبوب اللقاح (pollen viability) تبلغ صفر عندما تصل رطوبة البذور الى 28.7%.

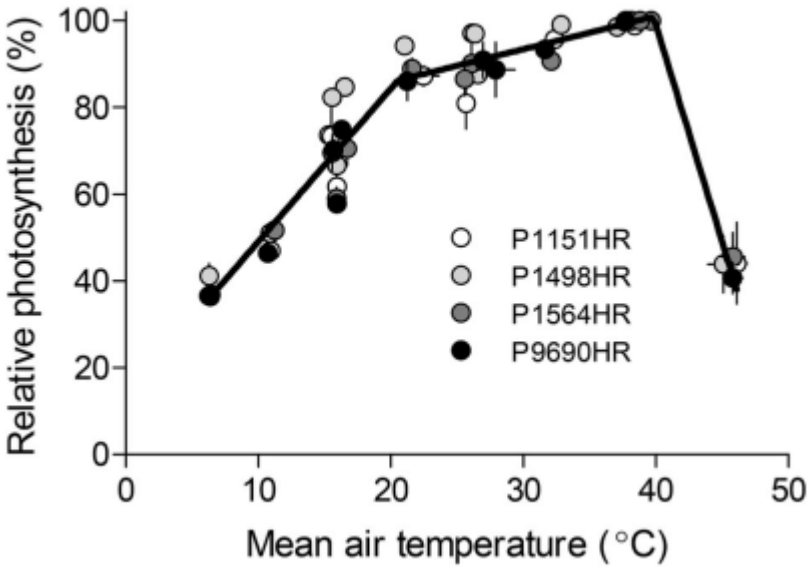


شكل 3: العلاقة بين الضغط البخاري والمحتوى الرطوبي لحبوب اللقاح.



شكل 4: فقدان حيوية حبوب اللقاح كدالة لرطوبة حبوب اللقاح.

2- انخفاض كفاءة عملية التركيب الضوئي وذلك نتيجة لحصول عملية التنفس الضوئي و/او حدوث هدم للصبغة الكلوروفيل بسبب الارتفاع في درجات و/او الجفاف الفسيولوجي (انخفاض امدادات المياه لأنسجة النبات على الرغم من توفره بسبب زيادة عملية النتح عن كمية الماء الممتصة) وبالتالي غلق الثغور، وعلى العموم تبدأ عملية التركيب الضوئي بالانخفاض عندما تزداد درجة الحرارة عن 30–33 م انظر الشكل 5 (Rotundo واخرون، 2019).



شكل 5: درجة حرارة الهواء ونسبة علمية التركيب الضوئي% لأربعة هجن.

3- الادغال: تعتبر الادغال المنافس الاول للمحاصيل الحقلية على مقومات الحياة من ماء وضوء وعناصر غذائية ومكان ، ومن الاسباب التي تؤدي الى خفض الحاصل في محصول الذرة الصفراء في العراق ولاسيما في محافظة نينوى على وجه الخصوص هو وجود الادغال . حيث أن الادغال تنشط بصورة كبيرة في فصل الربيع مقارنة بالفصول الاخرى كالخريف والصيف والشتاء وهذا ما اكدته كثير من الدراسات التي اجريت لمكافحة الادغال في حقول محصول الذرة الصفراء أن عدد الادغال (كثافتها) والوزن الجاف لها اعلى في العروة الربيعية مقارنة بالعروة الخريفية الذي يؤدي الى زيادة التنافس بين نباتات الادغال ونباتات المحصول على الرغم من امكانية الذرة الصفراء العالية على التنافس الا أن وجود الادغال يؤدي الى زيادة في النمو الخضري على حساب النمو الثمري والذي يعتبر المصب الرئيسي لجميع الفعاليات النباتية الانزيمية البنائية من تركيب ضوئي والتمثيل الغذائي وبالتالي سوف يؤدي الى قلة كمية المادة الجافة المترسبة في الحبوب وبالتالي انخفاض الحاصل النهائي لمحصول الذرة الصفراء .

وفي دراسة اجراها العبيدي (2019) لتقييم فعالية بعض مبيدات الادغال في نمو وحاصل الذرة الصفراء (Zea mays L.) والادغال المرافقة في محافظة نينوى وجد أن محصول الذرة

الصفراء في العروة الخريفية تفوق على العروة الربيعية في معظم الصفات ومنها عدد الصفوف بالعرنوص ووزن 100 حبة وحاصل الحبوب الكلي في وحدة المساحة بينما اظهرت النتائج المتحصل عليها من التجربة تفوق المحصول بالعروة الربيعية في صفة ارتفاع النبات وزيادة المساحة الورقية والحاصل البايولوجي وفيما يلي سرد لبعض التفاصيل لكل صفة من الصفات المرتبطة بالحاصل وما صاحبه من تأثيرات ادت الى انخفاض الحاصل النهائي لمحصول الذرة الصفراء في العروة الربيعية مقارنة بالعروة الخريفية :

أ- ارتفاع النبات :من النتائج الواردة في الدراسة وجد ان ارتفاع النبات في العرو الربيعية تفوق على ارتفاع النبات في العروة الخريفية وذلك يعود الى الزيادة في طول السلامية في الساق في العروة الربيعية بسبب التنافس الحاصل بين نباتات الذرة الصفراء فيما بينها من جهة وبين نباتات الادغال من جهة اخرى على الماء والعناصر الغذائية والضوء ، كون الادغال الحولية التي تنمو في فصل الربيع تكون جذورها سطحية وغير متعمقة وهذا على العكس من نباتات الذرة الصفراء التي تكون جذورها متعمقة مما يتيح للأدغال الاستفادة من المواد الغذائية والرطوبة اكثر من المحصول وبالإضافة الى ان درجة الحرارة في الربيع تكون مثلى للنمو الخضري وهي تكون منخفضة عن درجات الحرارة في الخريف فيزداد التمثيل الغذائي بالتالي زيادة في قابلية السلاميات على الاستطالة وبالتالي زيادة ارتفاع النبات وزيادة النمو الخضري الى الثمري اي ان المادة الجافة المنتجة خلال عملية التمثيل الضوئي سوف تترسب في جسم النبات اكثر من المادة الجافة التي سوف تترسب في الحبوب فيزداد الحاصل البايولوجي في النبات في العروة الربيعية وسببه انخفاض درجات الحرارة في المراحل الاولى للنمو مقارنة بالعروة الخريفية التي يزرع فيها المحصول في بداية او منتصف الشهر السابع فينمو خلال الشهر الثامن والتاسع الذي تكون فيه درجات الحرارة مرتفعة نسبياً مقارنة بالشهر الثالث الذي تزرع فيه الذرة وتنمو في الشهر الرابع والخامس فتكون درجات الحرارة في الربيع مناسبة ومثلى لعمليات التركيب الضوئي وللنمو الخضري فيذهب جميع ناتج النبات (المادة الجافة) الى جسم النبات فيزداد وزن النبات الكلي (الحاصل البايولوجي) الى وزن الحبوب او العرانيص.

ب-المساحة الورقية: بينت نتائج الدراسة زيادة المساحة الورقية في العروة الربيعية بسبب توجه النبات الى النمو الخضري نسبة الى النمو الثمري بشكل امثل بسبب اعتدال

درجات الحرارة في الربيع مقارنة بالصيف او بداية الخريف مقارنة مع العروة الخريفية مما يؤدي الى تظليل الاوراق السفلى في النبات وتحجب عنها الضوء المباشر لأشعة الشمس فيسبب انخفاض في كفاءة عملية التركيب الضوئي والتمثيل الغذائي فيقل من كمية المادة الجافة المترسبة في الحبوب وكمحصلة نهائية ينخفض حاصل الحبوب في وحدة المساحة على عكس الذي يحصل في العروة الخريفية عندما تكون المساحة الورقيه اقل فيكون توزيع الضوء على جميع اجزاء النبات فيكون افضل مما هو عليه في العروة الربيعية فيكون التمثيل الغذائي ذو كفاءة عالية وبالتالي تنخفض كمية المادة الجافة المترسبة في المصب النهائي وهي العرانيص وهذا ما اكده بعض الباحثين في مجال زراعة الذرة الصفراء في العراق بشكل عام ومحافظة نينوى بشكل خاص.

ج- وزن 100 حبة: من الصفات المهمة الدالة على درجة امتلاء الحبة وزيادة الحاصل حيث بينت النتائج على تفوق صفة 100 حبة او 300 حبة في العروة الخريفية عن العروة الربيعية معنويا بزياد قد تصل في بعض الاحيان الى الضعف بسبب عدم بعثرة جهد النبات في التمثيل الضوئي بسبب انخفاض معدل ارتفاع النبات في العروة الخريفية عن العروة الربيعية مما ادى الى ترسيب اكبر كمية من المادة الجافة الناتجة عن طريق عمليات التمثيل الغذائي والبناء الضوئي ، اما في العروة الربيعية فذهب اغلب نتاج التمثيل الضوئي الى جسم النبات وبالتالي صغر حجم البذور وقلة وزنها المادة المترسبة فيها.

د- حاصل الحبوب: يعتبر حاصل الحبوب لوحدة المساحة المحصلة النهائية لجميع الفعاليات التي يقوم بها النبات من التمثيل الضوئي والفعاليات الانزيمية وعملية البناء . توضح النتائج بان الحاصل الذرة الصفراء الكلي ينخفض في العروة الربيعية مقارنة بالعروة الخريفية على الرغم من ان عدد الحبوب بالعرنوص في العروة الربيعية اكثر من العروة الخريفية الان وزنها اقل من وزن الحبوب في العروة الخريفية وهذا ما تم ذكره في صفة وزن 100 حبة ويعود السبب الى ما تم ذكره سابقاً من وجود الادغال المرافقة وزيادة التنافس ومعدل درجات الحرارة وزيادة المجموع الخضري نسبة الى المجموع الثمري .

كيف يتم التخلص من اثر الاجهاد الحراري والرطوبي:

1) ري النباتات بشكل جيد خلال فترة التزهير وذلك لزيادة رطوبة الهواء خلال فترة التزهير (تستمر لمدة أسبوعين) وذلك لتقليل الأثر السلبي لارتفاع درجة الحرارة.
2) زراعة مصدات رياح باتجاه هبوب الرياح لتقليل فقدان الرطوبة نتيجة لاستبدال الهواء الرطب بالهواء الجاف او الأقل رطوبة وبالتالي الحفاض على حيوية وعمر حبوب اللقاح والخيوط السلكية.
3) اثبتت دراستين في جامعة بغداد– كلية الهندسة الزراعية ان إضافة سماد الزنك (Abbas و Abdul–Razak ، 2019A) والبورون (Abbas و Abdul–Razak ، 2019B) أدى الى زيادة حيوية ومدة بقاء حبوب اللقاح وحاصل الذرة الصفراء.
4) التأخير في موعد الزراعة الربيعية لمحصول الذرة الصفراء الى بداية الشهر الرابع بدلاً من بداية الشهر الثالث لتقليل المدة الزمنية التي يستغرقها النبات في النمو الخضري وتحفيز النبات الى الاتجاه الى النمو الثمري والتبكير في الازهار واعطاء فرصة اكبر للأدغال الحولية كي تنبت وبالتالي القضاء عليها في عملية الحراثة خلال عملية اعداد الارض للزراعة وكذلك استخدام (رش) مبيدات انتخابية (اختيارية) تعمل على قتل بذور الادغال عند الانبات لا تترك اثر على نبات المحصول وبالتالي سوف يبدا الطور الثمري ويزداد ترسيب المواد الغذائية في الحبوب وسينعكس ذلك على زيادة الحاصل الكلي في وحدة المساحة وخاصة ان درجات الحرارة ترتفع في نهاية الشهر الخامس في محافظة نينوى.
5) زراعة اصناف تمتاز بمجموع خضري قليل (ارتفاع نبات + مساحة ورقية) وذات انتاجية عالية للحبوب تتأقلم مع الظروف البيئية لمحافظة نينوى.

تجربة1: خذ حبوب اللقاح لنباتات مختلفة وقم بتعريضها لدرجات رطوبة مختلفة وراقب التغيرات المورفولوجية حبوب اللقاح تحت المجهر.

تجربة2: عرض نباتات لمستويات مختلفة من الرطوبة ودرجات حرارة وقم بقياس الصفات التالية:

1- المساحة الورقية.

2- ارتفاع النبات.

3-الوزن الجاف.

4-الحاصل.

4- عدد الأوراق.

5- عدد الأيام من الزراعة الى الحصاد.

تكيف النباتات للجفاف:

تختلف النباتات في تراكيبها التشريحية الداخلية اختلافا كبيرا مع تغير الوسط البيئي الذي تعيش فيه، وعادة ما يصاحب هذه الاختلافات، تغير في المظهر الخارجي للكائن النباتي، فالنباتات التي تعيش تحت تأثير البيئة الصحراوية يمكن أن نلاحظ عليها التحويرات المورفولوجية والتشريحية التالية:

أولا- تقوية البشرة:

تحمل أوراق وسيقان معظم نباتات المناطق الصحراوية الجافة طبقة سميكة من الكيوتكتيل أو الكيتين، تعمل على الحد من كمية فقد الماء، وبالتالي من خفض معدل عملية النتح، كما قد يحدث في بعض النباتات أن تضاف طبقة شمعية فوق طبقة الكيوتيكل، والدراسات التشريحية أثبتت انه عند إماهة الشرائط الشمعية تحت الظروف الرطبة، تتباعد هذه الشرائط فتسمح بذلك لعملية نتح الأدمة؛ وفي حالة الجفاف، تتقارب هذه الشرائط وتتطابق فوق بعضا البعض، فتوضع بذلك حدا لعمل نتح الأدمة. ولوحظ أن أوراق العديد من نباتات الجفاف تحتوي على طبقة أو عدة طبقات من نسيج إضافي يتوضع مباشرة بعد نسيج البشرة، وقد تكون خلاياه مليئة بالمخاط ومادة الدباغين، ويعرف بالنسيج تحت البشرة المتخشب .

ثانيا- تكون كميات وفيرة من النسيج السكليرانشيمي:

تتميز معظم نباتات الجفاف بوجود كمية كبيرة من الخلايا السكليرانشيمية وخاصة في الأوراق مقارنة بما يوجد في أوراق النباتات الوسطية، وعادة ما تصطف مثل هذه الخلايا، بشكل طبقة أو طبقتين، تقع بين البشرة والنسيج المتوسط. ففي أوراق نبات بانكاسيا (*Bankasia*)، على سبيل المثال، توجد أشرطة من السكليرانشيم بين طبقة تحت البشرة وطبقة البرانشيم العمادي. ويمتد النسيج اليخضوري التمثيلي مابين هذه الأشرطة متصلا بالخارج عن طريق الثغور لضمان التبادلات الغازية. ودور هذه الأشرطة من نسيج السكليرانشيم، هو التقليل من عملية النتح من جهة، ومن جهة ثانية ضمان الدعامة الميكانيكية عند تعرض النبات للجفاف. وتسمى النباتات التي تتكيف بهذه الطريقة، نباتات الجفاف متصلبة الأوراق.

ثالثا- وفرة الشعيرات:

تكون كثير من نباتات الجفاف شعيرات كثيفة على السطوح السفلية للأوراق أو على الثغور، فتتكون بذلك شبكة متماسكة، تستطيع أن تحتفظ بالهواء المحيط بالثغر، يكون في درجة عالية من الرطوبة. وبهذه الوسيلة تقل سرعة الهواء المتاخم لسطح الورقة وبالتالي ينعدم التبخر السريع للماء من الثغور، ومن أمثلتها: أوراق نبات الدفلة(*Nerium oleander*)، أوراق نبات قصب الرمال(*Calamafrostis arenaria*) وأوراق نبات بانكاسيا؛ وتسمى النباتات في هذه الحالة أي تلك التي تستخدم الشعيرات السطحية في مقاومة ظروف الجفاف، بنباتات شعيرية الأوراق.

رابعا- انطواء الأوراق:

تستطيع أوراق بعض نباتات الجفاف، أن تقوم بعملية انطواء محكم عندما يشتد الجفاف، وخاصة لدى بعض نباتات الفصيلة النجيلية. وتعزى القدرة على الانطواء في الجفاف والانبساط في الظروف العادية أو الرطبة، إلى وجود نوع من الخلايا

يمتد طوليا مع الاتجاه الطولي للورقة على البشرة العلوية فقط من الورقة أو البشرة البطنية تتميز هذه الخلايا بكبر حجمها ورقة جدرها وتأثرها السريع بالرطوبة والجفاف، فعندما يجف الهواء المجاور للورقة، تفقد هذه الخلايا بعض مائها وتنكمش وبذلك تنطوي الورقة، فينعزل سطحها العلوي تماما عن الجو الخارجي. وعندما تعود الرطوبة إلى الارتفاع تمتص هذه الخلايا الماء وتنتفخ وعندئذ تنبسط الورقة، وتمسى الخلايا التي تتحكم في آلية الانطواء، بالخلايا المحركة أو الخلايا المفصلية.

خامسا- خصائص الثغور من حيث تركيبها وموضعها:

تعتبر الثغور الممر الرئيسي لخروج الماء من داخل جسم النبات، ولذلك فان وجود عدد كبير منها يؤدي بلا شك إلى فقدان سريع للمحتوى المائي من خلال عملية النتح، وعكس ذلك ما يمتلكه النبات من احتفاظه بكمية مرتفعة من الماء عند وجود قلة من الثغور على سطحه أو إذا كانت الثغور مصانة بطريقة أو بأخرى من التعرض المباشر للهواء الخارجي. وفي بعض الحالات تنتظم الثغور في عمق تجاويف مشتركة تنتشر في سطح الورقة، كما في أوراق نبات الدفلة، فتحتفظ هذه التجاويف بهواء عالي الرطوبة، مما يقلل من عملية النتح.

سادسا- اختزال سطح الورقة:

تلجأ بعض نباتات الجفاف إلى تخفيض معدل النتح بها عن طريق تقلقل السطح الناتح، وذلك حملها لأوراق صغيرة، وتسمى هذه النباتات، نباتات الجفاف صغيرة الأوراق، ومن أمثلتها نبات ذيل الخيل (*Equisetum*)، والهليون (*Asparagus*). تشترك العديد من نباتات الجفاف بتكوين أشواك وهي ذات أصول مختلفة: تحورات جزئية أو كلية للأوراق، تحورات للساق. تختلف أشواك نباتات المناطق الجافة عن مناطق نباتات البيئية الوسطية، حيث أن بعض أنواع نباتات الجفاف المحتوية على الأشواك، عندما تنقل إلى بيئة رطبة، تفقد قدرتها على تكوين الأشواك. إذن توجد علاقة دون شك بين كثافة الأشواك وجفاف الوسط.

معاملة البذور لزيادة المقاومة للجفاف

1- التنبيه الكاذب للإنبات Seed Priming

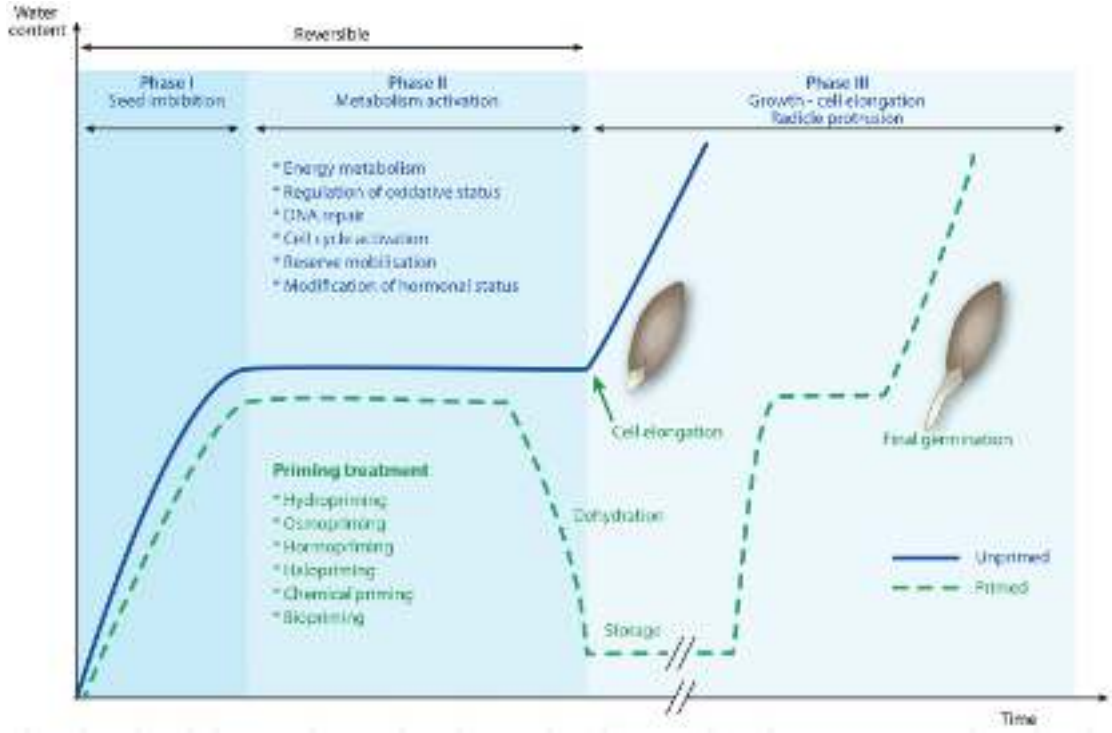
يحقق الـ Seed Priming الإنبات الفعال للبذور وهو مهم للزراعة، ويقصد بالانبات الفعال تأسيس ناجح في وقت مبكر وهذا يعني ان البادرات تظهر سريعا وبنمو موحد ونمو جذري جيدا.

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 للانبات.

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).

فوائد التحفيز الكاذب للإنبات Seed Priming (Meena وآخرون، 2013):

1- زيادة Seed Vigor.

2- زيادة نسبة الانبات الحقلي والمختبري.

3- تقليل فترة التأسيس والترسيخ Seedlings Establishments وبالتالي يقلل من فشل نمو البادرات وتحسين المنافسة مع الادغال لصالح النباتات المزروعة.

4- النمو المنتظم والمتناسق Uniform Growth.

5- زيادة كفاءة استخدام المياه بسبب تقليل فترة الترسيخ Seedlings Establishments.

6- زيادة الحاصل.

عيوب التحفيز الكاذب للإنبات Seed Priming:

1- تحتاج تقنيات عالية للسيطرة.

2- صعوبة معاملة كميات كبيرة من البذور في وقت قصير.

طرائق الـ Seed Priming: هنالك أربعة طرق لمعاملة البذور وهي

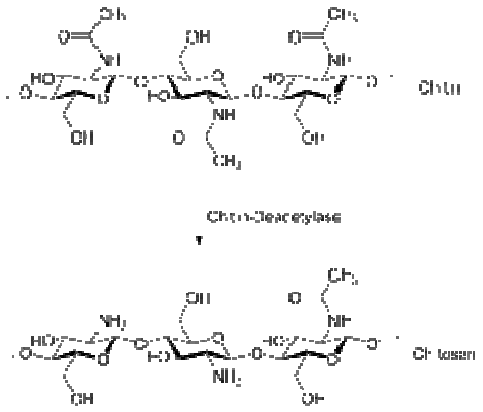
1. التحفيز الكاذب للإنبات بالماءHydro-Priming: يشمل التحضير المائي أي دورات من النقع في الماء و التجفيف مرة أخرى ثم في الختام يتم التخفيض إلى الرطوبة الملائمة لتخزين البذور(Taylor وآخرون،1998).
2. التحفيز الكاذب للإنبات بالمحاليل الازموزية Osmotic Priming: يتم نقع البذور في محاليل ذات اثر ازموزي وبدورات من النقع والتجفيف ثم الخزن على الرطوبة الملائمة للخزن، ومن المواد الازموزية (Boudet وآخرون، 2006):
   a. المنيتول mannitol.
   b. نترات البوتاسيوم (KNO3).
   c. كلوريد البوتاسيوم (KCl).
   d. البولي اثلين كلايكول (PEG).
   e. 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).

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، 2013).

5- المعاملة بالشيتوزان Chitosan: عبارة عن مركب عديد السكاريد الخطي يتكون من D-glucosamine (وحدة منزوعة الأسيتيل) و N-acetyl-D-glucosamine (وحدة أسيتيل) موزعة عشوائيًا (الشكل 2). يتم تصنيعه عن طريق معالجة قشور الكيتين في الجمبري والقشريات الأخرى بمادة قلوية ، مثل هيدروكسيد الصوديوم . يستخدم الشيتوزان في معاملة البذور لحمايتها من الإصابات الفطرية وكمادة حاملة للمواد الفعالة في عملية تغليف البذور كما انها لا تحتاج الى حرارة عالية خلال عملية تغليف البذور (Stoner، 2006).



الشكل2: تشكيل الشيتوزان عن طريق نزع الأسيتيل الجزئي من الكيتين.

7- مغنطة البذور: ويتم ذلك بنقع البذور بالماء وتعريضها للمغنطة وبشدة تقاس بوحدة الكاوس ولها تأثيرات معنوية على النباتات (كمال وآخرون، 2013) (Lawlor و Leahy، 1998) واثبتت نتائج التجارب ان البذور الممغنطة وكذلك مياه الري, تساعد على سرعة الانبات وانضاج وزيادة المحصول وجودة الانتاج في مدة زمنية تقل بنسبة تتراوح ما بين 20 الى 30% عن الظروف العادية لزراعة ذات المحصول.

8- المعاملة بالماء المؤكسج والاوزون: من خلال زيادة نسبة الاوكسجين في الماء عبر إضافة O_3 او زيادة BDO للماء فان ذلك يحسن من تشرب البذور للماء خاصة البذور المغلفة والبذور الساكنة (Pandiselvam وآخرون، 2020).

شد الضوء

ينشا شد الضوء اما نتيجة لنقص الاضاءة ويسمى شد الظل

او نتيجة لزيادة الاضاءة

نقص الاضاءة:

اذا نقصت الاضاءة عن النقطة الحرجة للضوء يصبح معدل التنفس اعلى من معدل البناء الضوئي وتصبح محصلة البناء بالسالب .

ويتعرض النبات للمجاعة عند استمرار وجوده في شدة الاضاءة اقل من النقطة الحرجة للضوء لفترة زمنية طويلة تختلف النقطة الحرجة من نوع نبات لنوع اخر ولكنها اقل من 2% من اقصى ضوء شمس.

شد زيادة الضوء: ينشا شد زيادة الضوء من زيادة كمية الضوء الساقط على الاوراق عن كمية الضوء المستخدمة في عملية البناء الضوئي لسببين:

1- زيادة كمية الضوء الساقطة على الاوراق.

2- نقص معدل البناء الضوئي عند كمية ثابتة من الضوء الساقط كما يحدث عند تعرض النبات الى شد جفاف او برد.

من اهم التاثيرات على النبات:

1- يزداد معدل اختزال co_2 مع زيادة كمية الضوء الممتصة بواسطة الكلورفيل الى ان يصل الى التشبع.

2- زيادة كمية الضوء الممتص على كمية الضوء المستخدم في البناء الضوئي تسبب تحطم ضوئي لاصباغ البناء الضوئي وتسمى العملية (الاكسدة الضوئية) وتعتمد هذه العملية على الضوء والاكسجين .

كما يسبق هذه العملية بفترة من الزمن تثبيط للبناء الضوئي, ان تثبيط البناء الضوئي يحدث نتيجة اضرار تحدث في جهاز البناء الضوئي وليس نتيجة نقص اصباغ البناء الضوئي .

تتكون عوامل مؤكسدة قويه جدا مثل فوق أكسيد الهيدروجين وتسبب أضرار للنبات .

طرق الحماية من زيادة الضوء:

1- التبديد الحراري للطاقه (تفاعل غير مضر)

2- طرق دورة الزانثوفيل ويصاحبها تبديد حراري للطاقه , تحدث في أغشية الثيلاكويد , وفيها يتحول ثلاث مركبات زانثوفيليه الى زيازانثين .

3- تغير وضع الاوراق بحيث تكون موازيه لاشعة الشمس فيقل امتصاصها للضوء .

4- تغير وضع البلاستيدات في الخليه ,ففي نبات الـ Elodea تتجمع البلاستيدات عند الجدار الخلوي لتقليل امتصاص الضوء , وهذا الوضع لايمنع التثبيط الضوئي عند التعرض الى ضوء شمس كامل لفترة طويله .

5 - استمرار أيض الكبريت مهم لمنع أو تقليل التثبيط الضوئي .

التلوث البيئي أنواعه و **أضراره**

تعريف التلوث:
-ما هو التلوث؟ بالتأكيد يسأل كل إنسان نفسه عن ما هية التلوث أو تعريفه.

فالتعريف البسيط الذي يرقي إلي ذهن أي فرد منا: *كون الشيء غير نظيفاً* والذي ينجم عنه بعد ذلك أضرار ومشاكل صحية للإنسان بل وللكائنات الحية، **والعالم** بأكمله ولكن إذا نظرنا لمفهوم التلوث بشكل أكثر علمية ودقة :
هو إحداث تغير في البيئة التي تحيط بالكائنات الحية بفعل الإنسان وأنشطته اليومية مما يؤدي إلي ظهور بعض الموارد التي لا تتلائم مع المكان الذي يعيش فيه الكائن الحي ويؤدي إلي اختلاله .

والإنسان هو الذي يتحكم بشكل أساسي في جعل هذه الملوثات إما مورداً نافعاً أو تحويلها **إلي موارد ضارة ولنضرب مثلاً لذلك :**

نجد أن الفضلات البيولوجية للحيوانات تشكل مورداً نافعاً إذا تم استخدامها مخصبات للتربة الزراعية، إما إذا تم التخلص منها في مصارف المياه ستؤدي **إلي انتشار الأمراض والأوبئة .**

-ما هي أسباب تلوث البيئة؟

الإنسان هو السبب الرئيسي والأساسي في إحداث عملية التلوث في البيئة وظهور جميع الملوثات بأنواعها المختلفة وسوف نمثلها علي النحو التالي :
الإنسان = التوسع الصناعي - التقدم التكنولوجي -سوء استخدام الموارد - الانفجار السكاني.
-فالإنسان هو الذي يخترع .
-وهو الذي يصنع .
-وهو الذي يستخدم .
-وهو المكون الأساسي للسكان .

<u>*أنواع التلوث:</u>

-تلوث الهواء: نقصد بتلوث الهواء وجود المواد الضارة به مما يلحق الضرر **بصحة** الإنسان فى المقام الأول ومن ثَم البيئة التي يعيش فيها ويمكننا تصنيف ملوثات الهواء إلى قسمين...

-التلوث بالنفايات: من أنواع التلوث البيئى التلوث بالنفايات والتى تشتمل على: القمامة - النفايا الإشعاعية ...

-التلوث البصرى: هو تشويه لأي منظر تقع عليه عين الإنسان يحس عند النظر إليه بعدم ارتياح نفسي، ويمكننا وصفه أيضاً بأنه نوعاً من أنواع انعدام التذوق الفني، أو اختفاء الصورة الجمالية لكل شئ يحيط بنا من أبنية ... إلي طرقات ... أو أرصفة...

-تلوث المياه: يشتمل تلوث المياه على أولاً تلوث المياه العذبة، ثانياً تلوث البيئة البحرية ...

-التلوث السمعى: يرتبط التلوث السمعى أو الضوضاء ارتباطاً وثيقاً بالحضر وأكثر الأماكن تقدماً وخاصة الأماكن الصناعية للتوسع في استخدام الآلات ووسائل التكنولوجيا الحديثة...

-تلوث التربة: إن التربة التي تعتبر مصدراً للخير والثمار، من أكثر العناصر التي يسئ الإنسان استخدامها فى هذه البيئة. فهو قاسٍ عليها لا يدرك مدى أهميتها فهي مصدر الغذاء الأساسي له ولعائلته، وينتج عن عدم الوعي والإدراك لهذه الحقيقة إهماله لها ...

<u>التلوث بالنفايات</u>

*التلوث بالنفايات:
-من أنواع التلوث البيئى التلوث بالنفايات والتى تشتمل على:
-1القمامة.
-2النفايا الإشعاعية .

-التلوث بالنفايات:
-1القمامة:
والمقصود بها هنا القمامة ومخلفات النشاط الإنسان في حياته اليومية. ونجد أن نسبتها تتزايد فى البلدان النامية وخاصة فى ظل التضخم السكاني .

-وقد تؤدي هذه النفايات مع غياب الوعي الصحي إلى جانب ضعف نظم جمعها والتخلص منها إلى الأضرار الجسيمة الآتية :
-انتشار الروائح الكريهة .
-اشتعال النيران والحرائق .
-بيئة خصبة لظهور الحشرات مثل الذباب والناموس والفئران .
-تكاثر الميكروبات والتي تسبب الإصابة ب:
-1الإسهال .
-2الكوليرا .
-3الدوسنتريا الأميبية .
-4الالتهاب الكبدي الوبائي .
-5التيتانوس.
-6السل .

-7الاضطرابات البصرية .
-8انتشار أمراض جراثيم الماشية .

-2النفايات الإشعاعية:

-1النفايا العسكرية:
ما زال النقاش يدور حول كيفية التعامل والتخلص من النفايا الإشعاعية التي لم يتم الوصول إلى حل مرضى بصددها على الرغم من إيقاف البرامج النووية الخاصة بدول العالم ولم تعد هناك دولة ما تخفى نشاطها الإشعاعي، فالأمر لم يعد سراً لكن ما زال هناك من التحديات التي نراها جميعاً واضحة جداً، فالمشكلة لا تكمن في صناعة المزيد من الأسلحة النووية وإنما في طريقة التخلص منها الذي يزيد الأمور تعقيداً ويضيف بعداً آخر للمشكلة، أو استخدام الطرق الصحية في تخزينها إلي جانب المشاكل المالية الضخمة المتطلبة في تغطية تكاليف إزالة التلوث التي بدأت تحدثه بالفعل هذه النفايات .

-2نفايا المدنيين:
لا تقتصر النفايا الإشعاعية على العسكريين فقط وأسلحتهم المدمرة لكنها تمتد أيضاً للمدنيين حيث تتمثل في:

توليد الكهرباء التي تصدر نفايا إشعاعية من الصعب التعامل معها وغيرها من الوسائل السليمة التي لا تستخدم في الحروب، كما يسئ المدنيين إلي البيئة من خلال طريقة التعامل مع النفايا الإشعاعية عن طريق *الدفن* وينظرون إليها علي أنه الخيار الوحيد أمامهم للتخلص منها، لأنه بالرغم من محاولة كافة الدول لإيجاد مخرج آمن، فقد فشلوا في تحقيقه. ولا تقتصر حجم الكارثة على دفن هذه النفايا لأنها ستمتد إلي البيئة المحيطة بها وخاصة الأطعمة التي يتم زراعتها في هذه الأرض الملوثة والتي ستؤثر بالطبع على جودة حياة الإنسان وتدمر جيناته أي أن آثارها ستدوم وتستمر ولا يمكن محوها ولن يكون ذلك حلاً على الإطلاق بل إضافة مشكلة جديدة لمشاكل تلوث البيئة .

<u>تلوث المياه</u>

*يشتمل تلوث المياه على:
أولاً تلوث المياه العذبة.
ثانياً تلوث البيئة البحرية.

*تلوث المياه:
أولآ تلوث المياه العذبة وأثره على صحة الإنسان :

-ما هي العناصر التي تسبب تلوث المياه العذبة؟
المياه العذبة هي المياه التي يتعامل معها الإنسان بشكل مباشر لأنه يشربها ويستخدمها في

طعامه الذي يتناوله. وقد شاهدت مصادر المياه العذبة تدهوراً كبيراً في الأونة الأخيرة لعدم توجيه قدراً وافراً من الاهتمام لها .ويمكن حصر العوامل التي تتسبب في حدوث مثل هذه الظاهرة :

-1استخدام خزانات المياه في حالة عدم وصول المياه للأدوار العليا والتي لا يتم تنظفيها بصفة دورية الأمر الذي يعد غاية في الخطورة .

-2قصور خدمات الصرف الصحي والتخلص من مخلفاته .

-3التخلص من مخلفات الصناعة بدون معالجتها، وإن عولجت فيتم ذلك بشكل جزئي .

أما بالنسبة للمياه الجوفية، ففي بعض المناطق نجد تسرب بعض المعادن إليها من الحديد والمنجنيز إلي جانب المبيدات الحشرية المستخدمة في الأراضي الزراعية .

-آثار تلوث المياه العذبة على صحة الإنسان :

أبسط شئ أنه يدمر صحة الإنسان علي الفور من خلال إصابته بالأمراض المعوية ومنها:

-1الكوليرا .

-2التيفود .

-3الدوسنتاريا بكافة أنواعها .

-4الالتهاب الكبدي الوبائي .

-5الملاريا .

-6البلهارسيا .

-7أمراض الكبد .

-8حالات تسمم .

-9كما لا يقتصر ضرره على الإنسان وما يسببه من أمراض، وإنما يمتد ليشمل الحياة فى مياه الأنهار والبحيرات حيث أن الأسمدة ومخلفات الزراعة فى مياه الصرف تساعد على نمو الطحالب والنباتات المختلفة مما يضر بالثروة السمكية لأن هذه النباتات تحجب ضوء الشمس والأكسجين للوصول إليها كما أنها تساعد على تكاثر الحشرات مثل البعوض والقواقع التي تسبب مرض البلهارسيا علي سبيل المثال .

ثانياً تلوث البيئة البحرية وأثره :

-مصادر التلوث:

-إما بسبب النفط الناتج عن حوادث السفن أو الناقلات .

-أو نتيجة للصرف الصحي والصناعي .

-الآثار المترتبة على التلوث البحري:

-1تسبب أمراضاً عديدة للإنسان:

-الالتهاب الكبدي الوبائي .

-الكوليرا .

-الإصابة بالنزلات المعوية .

-التهابات الجلد .

-2تلحق الضرر بالكائنات الحية الأخرى :
-الإضرار بالثروة السمكية .
-هجرة طيور كثيرة نافعة .
-الإضرار بالشعب المرجانية، والتي بدورها تؤثر علي الجذب السياحي وفي نفس الوقت علي الثروة السمكية حيث تتخذ العديد من الأسماك من هذه الشعب المرجانية سكناً وبيئة لها....

تلوث الهواء

*تلوث الهواء:
-إذا أراد الإنسان أن يحافظ على صحته فلابد من السيطرة على تلوث الهواء لأنة أكسير الحياة الذي نتنفسه .

وتتسبب ملوثات الهواء فى موت حوالي 50.000 شخصاً سنوياً (أي تمثل هذه النسبة حوالي 2 % من النسبة الإجمالية للمسببات الأخرى للموت .(

ومن أكثر العناصر المزعجة فى هذا المجال هو الدخان المنبعث من التبغ أو السجائر والذي يقتل حوالي 3 مليون شخصاً سنوياً ومن المتوقع أن تزيد هذه النسبة إلى 10مليون شخصًا سنوياً فى الأربعة عقود القادمة إذا استمر وجود مثل هذه الظاهرة .

ونقصد بتلوث الهواء وجود المواد الضارة به مما يلحق الضرر بصحة الإنسان فى المقام الأول ومن ثَم البيئة التي يعيش فيها ويمكننا تصنيف ملوثات الهواء إلى قسمين :
-1القسم الأول: مصادر طبيعية أي لا يكون للإنسان دخل فيها مثل الأتربة ... وغيرها من العواصل الأخرى .
-2القسم الثاني: مصادر صناعية أي أنها من صنع الإنسان وهو المتسبب الأول فيها فاختراعه لوسائل التكنولوجيا التي يظن أنها تزيد من سهولة ويسر حياته فهي على العكس تماماً تزيدها تعقيداً وتلوثاً: عوادم السيارات الناتجة عن الوقود، توليد الكهرباء ... وغيرها مما يؤدي إلي انبعاث غازات وجسيمات دقيقة تنتشر فى الهواء من حولنا وتضر ببيئتنا الطبيعية الساحرة. ونجد أن المدن الصناعية الكبرى فى جميع أنحاء العالم هي من أكثر المناطق تعرضاً لظاهرة التلوث، بالإضافة إلي الدول النامية التي لا تتوافر لها الإمكانيات للحد من تلوث البيئة.

-ومن أكثر العناصر انتشاراً والتي تسبب تلوث الهواء :
-الجسيمات الدقيقة:
وهي الأتربة الناعمة العالقة فى الهواء والتي تأتي من المناطق الصحراوية .أو تلك الملوثات الناتجة من حرق الوقود ومخلفات الصناع ، بالإضافة إلي وسائل النقل .

-ثاني أكسيد الكربون :
المصدر الرئيسي لهذا الغاز الضار هي الصناعة .

-أكاسيد النيتروجين :
تنتج من حرق الوقود .

-الأوزون :
ويأتي نتيجة تفاعل أكاسيد النيتروجين مع الهيدروكربون في وجود أشعة الشمس وهو أحد مكونات الضباب الدخاني .(Smog)

-أول أكسيد الكربون :
يوجد بتركيزات عالية وخاصة مع استعمال الغاز فى المنازل .

-دخان السجائر:
وهو أقرب الأمثلة وأكثر شيوعاً فى إحداث التلوث داخل البيئة الصغيرة للإنسان (المنزل - المكتب .(

-الرصاص :
حيث أوضحت بعض القياسات أن نسبة الرصاص فى هواء المنازل تصل من 6400 - 9000جزء فى المليون في الأتربة داخل بعض المنازل مقارنة ب 3000 جزء في المليون في الهواء الخارجي فى الشارع .

والجدول التالي يوضح الأضرار الصحية التي من الممكن أن تلحق بصحة الإنسان عند التعرض لهذه الملوثات: الملوثات
الضرر

-1أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين
-أمراض الرئة .
-إلحاق الضرر بالحيوان والنبات .
-تعمل علي تآكل المواد المستخدمة فى الأبنية .

-2الجسيمات العالقة
-تسبب الأمراض الصدرية .

-3أول أكسيد الكربون
-يؤثر علي الجهاز العصبي .
-يحدث قصور في الدورة الدموية .

4-الرصاص
-يسبب أمراض الكلي .
-يؤثر علي الجهاز العصبي وخاصة فى الأطفال .

5-الضباب الداخلي
-التهابات العين .
-تأثير سلبي علي الرئة والقلب

الشد الملحي

المقدمة

تعاني اكثر من 7% من مساحة اليابسة واكثر من 15% من نسبة الاراضي الصالحة للزراعة في العالم من التملح , وهذه الزيادة في نسبة الاملاح في التربة وفي مياه الري , تؤدي إلى حدوث شد ملحي على النباتات وهذا الشد يؤدي إلى انقاص كمية المحاصيل الزراعية كما يؤدي كذلك إلى تقزم النبات أو بطىء نموه وذلك لان ازدياد مستوى ايون الكلور والصوديوم في عصارة النبات تؤدي إلى حدوث اضطراب في التوازن الايوني داخل الخلية النباتية . ويؤدي ازدياد تركيز الاملاح في التربة إلى جفاف الجذور لان املاح التربة تقوم بسحب الماء من هذه الجذور , ويزداد تأثير الاملاح على النبات خلال الأجواء الجافة والحارة . وفي الاشجار المتساقطة الاوراق يظهر تأثير الاملاح غالبا في اواخر فصل الصيف اما في الاشجار الدائمة الخضرة فان تاثير الاملاح قد يظهر في اواخر الشتاء وبدايات الربيع . وغالبا فان التملح لايحدث في الاراضي التي تزيد معدلات الامطار عن 450 ملي متر سنويا ما لم يتم استخدام مياه جوفية مالحة في ري هذه الاراضي , وما لم يتم الافراط في استخدام الاسمدة الكيميائية , اما الاسمدة العضوية والخضراء فانها تقي الارض من اخطار التملح .

الملوحة

هي زيادة تركيز الاملاح في منطقة جذور النبات وتصل هذه التركيزات إلى الحد الذي يؤثر على نمو النباتات ونقص في المحصول وتكون اعراض مشابهة لاعراض الجفاف لنقص الري مثل جفاف الاوراق او ظهور اللون الداكن الاخضر المزرق عليها ويزداد تركيز الاملاح في العمق نتيجة امتصاص النبات للمياه في القدر القليل من الماء الباقي حول جذور النبات وتغسل الريات المتعاقبة الاملاح إلى اماكن اعمق من الجذور وتظل تتجمع الاملاح ما لم يحدث الغسيل لها وللحصول على محصول جيد يجب الحفاظ على وجود مياه متاحة للنبات بدرجة كافية وكذلك الغسيل للاملاح المتجمعة في منطقة نمو الجذور قبل ان يزيد تركيزها عن قدرة النبات عن قدرة النبات عن تحمل الملوحة ويؤدي ارتفاع منسوب الماء الارضي يعتبر مصدر اضافيا لاملاح نتيجة لحركة الماء الارضي لاعلى ووصوله لمنطقة نمو الجذور وذلك لزيادة محتواه من الاملاح الذائبة فيه .

وينعكس تأثير كل من ملوحة الارض والجفاف في نقص الماء المتاح للنبات وبالتالي نقص المحصول وتحدث اعراض كثير على النبات نتيجة لزيادة الملوحة في الارض مثل احتراق الاوراق وتبقعها وتقزم النبات وزيادة الضرر مع زيادة مدة تعرضه للملوحة وتتفاوت النباتات فيما بينها في درجة تحملها للأملاح وذلك لأسباب فسيولوجية خاصة بالنبات , تؤثر ملوحة التربة على فسيولوجة النبات بواحدة او اكثر من الطرق التالية :

1 - التأثير الايوني : وهو تراكم الاملاح في انسجة النبات المختلفة بتركيزات عالية زائدة عن حاجة النبات والذي يؤدي إلى اعاقة نمو النبات وموته .

2 - تأثير تداخل الايونات : احتواء التربة على تركيزات مرتفعة من الاملاح يؤدي إلى اعاقة امتصاص المغذيات النباتية (العناصر المعدنية الضرورية للنمو) وهو واضح بشدة بين البوتاسيوم والصوديوم فكلما زاد احدهما قلت قدرة النبات على امتصاص الاخر .
3 - التأثير الاسموزي : يميل الماء للتحرك من المناطق ذات الجهد المائي المرتفع إلى الجهد المائي المنخفض وزيادة تركيز الاملاح في التربة يخفض الجهد المائي لمحلول التربة مقابل خلايا الجذر مما يشكل صعوبة في امتصاص الماء في النبات .

العوامل المؤثرة على استجابة النبات للملوحة

هناك نوعين من العوامل المؤثره على استجابة النبات إلى الملوحه احدهما تتعلق بالتربة والاخرى بالنبات نفسه

اولا: عوامل التربة : من الاسباب التي تؤدي إلى استجابة النباتات وتعاملها مع الملوحة هي:-

1 - خصوبة التربة : حيث تظهر اثار الملوحة بوضوح في الاراضي الغير خصبة وذلك نتيجة لقلة العناصر المعدنية مثل البيئات الصحراوية .
2 - محتوى التربة من الرطوبة : حيث يقل تركيز الاملاح كلما زادت رطوبة التربة وبعد تبخر الماء وامتصاصه من قبل النبات تتراكم الاملاح بتراكيز مرتفعه .
3 - درجة حرارة التربة : حيث تؤدي الحرارة المرتفعه إلى تبخير الماء وتراكم الاملاح .
4 - تهوية التربة : يزداد التاثير السلبي للاملاح في الاماكن المغمورة بالماء نتيجة لنقص التهوية.
5 - نوعية الماء: وذلك لاختلاف مصادر المياه من مكان إلى اخر حيث تنقسم المياه من حيث كمية الاملاح الذائبة بها إلى اربعة اقسام :
أ - الماء العذب (الحلو) : وهو الذي يكون توصيله الكهربائي اقل من 250 ميكرو مولز /سم ويتوفر في الابار والعيون الحلوة وهو ماء صالح للشرب والزراعة .
ب - ماء معتدل الملوحة وتوصيله الكهربائي بين 250 - 750 ميكرو مولز /سم و يوجد في الكثير من الابار والانهار وهو صالح للشرب .
ج - ماء به نسبة مرتفعه من الملوحه : توصيله الكهربائي بين 750 - 2250 ميكرو مولز/ سم ويوجد في الناطق الساحلية وبعض المياة الجوفية وهو غير صالح للشرب او الزراعه.
د - الماء المالح : توصيله الكهربائي اكثر من 2250 ميكرو مولز /سم ويمثل مياة البحار والمحيطات وهو غير صالح اطلاقا للشرب او الزراعه اذا استخدمه على حاله (دون تحليله) .

ثانيا : عوامل النبات : وهي على نوعين
1 : اختلاف الاصناف حيث تختلف استجابة النباتات للملوحه من نبات إلى اخر .
2 : مرحلة النمو : تؤثر الملوحه في جميع مراحل النمو للنبات وتختلف حساسيا كل نبات ومقاومته او استجابته للملوحه من مرحله إلى اخرى ولا يمكن ان تتساوى في جميع

المراحل مثال نجد ان الذرة والشعير حساسه في مرحلة البادرة والرز مقاوم في مرحلة الانبات .

تأثيرات الملوحة على النباتات :

اولاً : التاثير على الانبات : يعتبر الانبات من اهم مراحل عمر النبات وهي مرحلة حرجه خاصه في البيئات المعرضه للشد المائي كالبيئات المالحه حيث يعتبر توفر الماء بكميات كافيه ومتاحه من اهم ضروريات الانبات فتركيز الملوحه الزائد في الخارج يعطل قدرة حبيبات النشاء والبروتين للبذرة على امتصاص الماء الخارجي فلا يحدث انبات لو يحدث بنسبة ضعيفه .

ومن التاثيرات السلبية للملوحه في هذه المرحله :

1 - التاثير السمي للاملاح على الجنين : يدخل مع الماء كمية من الاملاح التي تؤدي إلى موت الجنين

2 - تعطيل بناء البروتين وزيادة تحلله وهذا يؤدي إلى موت الجنين

3 - عدم قدرة البذرة على تشرب الماء الكافي للإنبات وفي هذه الحاله تلجئ البذور إلى فترة السكون والسكون هي فترة ميكانيكية تمنع الانبات في الظروف الغير مناسبة .

ثانيا : تاثير الاملاح على النمو والانتاجية :

1 - تقزم النبات

2 - تقلل مساحة الورقه ,

3 - تقلل من انتاجية النبات سواء الازهار او الثمار او البذور

4 - تخفض من قطر ساق النبات

5 - تقلل من النمو الجذري وتفرعاته .

6 - تقلل من عدد الافرع والاوراق واوزان النبات الرطبة والجافة

7 - تقلل من حجم البذور وصفاتها

8 - تغير في التركيب الداخلي للبلاستيدات الخضراء وتسبب خللا في تحويل الطاقه الضوئية او تقلص حجم البلاستيدات والكرانا .

9 - زيادة نمو الطبقة الشمعية المحيطه بالساق من الخارج وتقلل من فعالية نسيج الكامبيوم للاقسام

10 - حدوث التصلب اللكنيني مبكرا .

11 - تسرع الملوحة من دخول الاوراق إلى مرحلة الشيخوخه ويزداد فيها مستوى ABA وقد لوحظ فيها ايضا نقص مستوى السايتوكاينين حيث تؤثر الملوحه على نشاط انزيم Mail dehyagenase وهو ما يوثر على نشاط المركبات الوسطية لدورة السترات .

تكيف النباتات للبيئات المالحة :

تنقسم النباتات حسب استجابتها إلى الملوحة إلى نوعين :

اولا : نباتات غير ملحية : وهي نباتات لا تملك اليات او تكيفات خاصة بتعامل مع الملوحة وتختلف حساسيتها إلى الملوحة من نباتات حساسه إلى الملوحة إلى شديدة الحساسية للملوحة وفي الغالب لا يزيد تحملها إلى الملوحة عن 1.5 % ل Nacl ويندرج تحت هذا النوع نباتات المحاصيل الزراعية وتنظم هذه النباتات الملوحة الداخلة بانسجتها بثلاث طرق:

1- توزيع الايونات الضارة على جميع اجزاء النبات حتى لا يتاثر نسيج دون اخر

2 - احتجاز هذه الايونات في اماكن معينة كالفجواة العصارية او المسافات البينية

3 - اعادة تصدير او طرح هذه الايونات الممتصمة عن طريق الجذور

ثانيا : النباتات الملحية وهي النباتات التي تمنو في تركيزات مرتفعه من الملوحة وتوجد هذه النباتات في المنطق التاثرة بالاملاح مثل سواحل البحار .

مقاومة الملوحة في النباتات الملحية :

مقاومة النباتات للملوحة عي قدرتها على تحمل تركيزات عالية من املاح NACL وغيرها دون اضطراب خطير في الوظائف الاساسية للنبات وتكون المقاومة بطريقتين الاولى بتحمل الملوحة والثانية عن طريق التنظيم

اولا : تحمل الملوحة : ويعرف على انه خاصيه البروتوبلازم التي تمكنه من تحمل تغيرات في نسب الايونات والتاثيرات السمية المرتبطة بزيادة الايونات داخل الخلايا ويتم التحمل بطريقتين

1 - نوع الايون : حيث يمتص النبات نوع واحد من الايونات ويراكمه داخل الخلايا مثل الصوديوم (يستفيد منه في خفض الجهد المائي إلى الخلايا للحصول على الماء)

2 - يحافظ على نسب ثابته ومعينه من تركيزات الايونات داخل الخلايا في السايتوبلازم والفجوة العصارية .

ثانيا : عن طريق التنظيم وهي الخاصية التي تعمل بموجبها بعض النياتات الملحية لتفادي زيادة الاملاح داخل الخلايا والانسجة ويتم هذت النتظيم بعدة طرق :

1 - التخفيف : عن طريق زيادة العصارية فكلما زادة كمية الاملاح الممتصه زادة كمية الماء الممتصة ليقلل من تركيز الملاح لذلك تظهر الاوراق متضخمة في هذا النوع من النباتات .

2- التحاشي و هي محاولة النبات لابعاد الايونات عن المناطق الخضرية التي بها النشاط الحيوية لبنات ويتم هذا التحاشي بطريقتين :

أ - الترشيح والامتصاص المحدد لبعض الايونات عن طريق الجذور حيث يمتص ما يحتاجه فقط من الاملاح تاركا غيرها

ب - منع انتقل الاملاح داخل النباتات : يمتص الجذر الاملاح ويراكمها داخل الجذر حيث يساعد هذا على خفض الضغط الاسموزي في الجذر فيتمكم النبات من امتصاص الماء ولكن لا تصعد هذه الاملاح إلى المجموع الخضري ابدا .

3 - الابعاد وهو ابعاد الايونات التي دخلت إلى النبات بوسائل وطرق مختلفة :

أ - نقل الاملاح مرة اخرى

ب - الافراز عن طرق الغدد او الشعيرات

ج - الافراز عن طريق سطح الساق او الجذور

د - التخلص من الاجزاء الممتلئ بالملح مثل الاوراق

الشد الحرارى

الحرارة عامل بيئى له تاثير مباشر وغير مباشر على جميع العمليات الحيوية وهناك نوعان من الاجهادات الحرارية :

1- اجهاد الحرارة المرتفعة

2- اجهاد الحرارة المنخفضة:

الحرارة المرتفعة: درجة حرارة النبات غير ثابته تتغير مع تغير درجة الحرارة المحيط حول النبات.

العامل المحدد لدرجة حرارة النبات هو درجة حرارة المحيط الملامس له:

1- درجة حرارة النباتات المائية (قريبة من درجة حرارة الماء الملامس)

2- درجة حرارة الجذور (قريبة من درجة حرارة التربة الملامسة)

3- درجة حرارة الاوراق والاحزاء الخضرية (قريبة من درجة حرارة الهواء الملامس).

تعتمد درجة حرارة النبات على :

- كمية الطاقة الساقطة عليها

1- جزء يمتص يستخدم في تفاعلات البناء الضوئي والتفاعلات الحراريه

2- جزء يفقد بواسطة النفاذ أو الأنعكاس

- الاتزان بين كمية الحرارة المتصة وكمية الحرارة المفقودة.

تعتمد اضرار الحرارة المرتفعة على الفترة الزمنية للتعرض ومن اهم الاعراض : ظهور بقع ميتة , فقد اللون الاخضر, ظهور بقع ملونة.

تاثيرات الحرارة المرتفعة على النبات:

1- استهلاك النبات للكربوهيدرات المخزنة (انخفاض معدل البناء وارتفاع معدل التنفس).

2- نقص البروتين نتيجة التكسير او فقده شكله الطبيعي.

3- التسمم نتيجة تراكم المواد السمية.

4- زيادة سيولة الدهون وخاصة دهون الاغشية.

5-التغير في طبيعة الاحماض النووية .

6- تعرض النبات الى الشد الجفافي نتيجة ارتفاع معدل النتح

7 - تثبيط النمو.

الحرارة المنخفضة:

تسبب درجة الحرارة المنخفضة اضرار قد تؤدى الى موت النبات:

1- اذا تعرض النبات الى درجة حرارة منخفضة اعلى من درجة حرارة التجمد يسمى اجهاد البرد (يسبب اختلال في التفاعلات الكيميائية).

2- اذا تعرض النبات الى درجة حرارة منخفضة اعلى تصل الى التجمد يسمى**شد التجمد عند التعرض لدرجة حرارة اقل من 15م او 10م وقد تصل الى الصفر(موت الانسجة بسبب** تكون البلورات الثلجية في انسجة النبات خاصة اذا تكونت داخل الخلايا).

يؤدي تكوين الثلج داخل الخلايا الى موتها بسبب:

1- خلل في التركيب الطبيعي لمكونات الخليه وهو غير عكسي .

2- تجفيف الخليه بسبب تكوين البلورات

3- زيادة تركيز بعض المواد السامه في الخلية

لايؤدي تكوين الثلج خارج الخلايا الى موتها , وان **ماتت** الخلايا فذلك راجع الى :

1- تجفيف البروتوبلازم

2- الضغط الميكانيكي الذي تحدثه بلورات الثلج على الخلية

3- زيادة تركيز بعض المواد السامه

4- عند ذوبان البلورات الثلجيه في خارج الخليه ,تسبب سرعة إنتفاخ الجدار الخلوي مقارنه بالبروتوبلازم تموت الخلية بسبب التمزق .

تاثيرات الحرارة المنخفضة على النبات

1- بعد ساعات من التعرض لدرجة الحرارة المنخفضة تظهر بقع متبقعة نتيجة لموت السيتوبلازم.

2- توقف حركة السيتو بلازم في الشعيرات الجذرية (كما في شعيرات الخيار والطماطة **عند** تعرضها لدرجة 10-12م).

3- زيادة نفاذية الاغشية وتسرب المواد المذابة في الخلايا كما في **البطاطا**.

4- ظهور البلزمة الكاذبة في بعض الخلايا مثل السبيروجيرا **مسبب بلزمة كاذبة عند درجة** 5 **م**. الزيادة المفاجئة في نفاذية الاغشية .

5- زيادة معدل التنفس على معدل البناء الضوئي يسبب المجاعة.

6- نقص البناء الضوئي نتيجة تضرر اغشية البلاستيدات.

7- تثبيط النقل مثل توقف النقل في نبات قصب السكر عند (5م).

8- اختلال في عملية التنفس.

9- **تراكم المواد السامة** (الاسيتالدهيد والايثانول).

10- زيادة معدل هدم البروتين وتراكم الامونيا السامة.

11- تعرض النبات الى اجهاد جفاف نتيجة نقص امتصاص الجذور للماء من **التربة الباردة**.

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.

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.

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

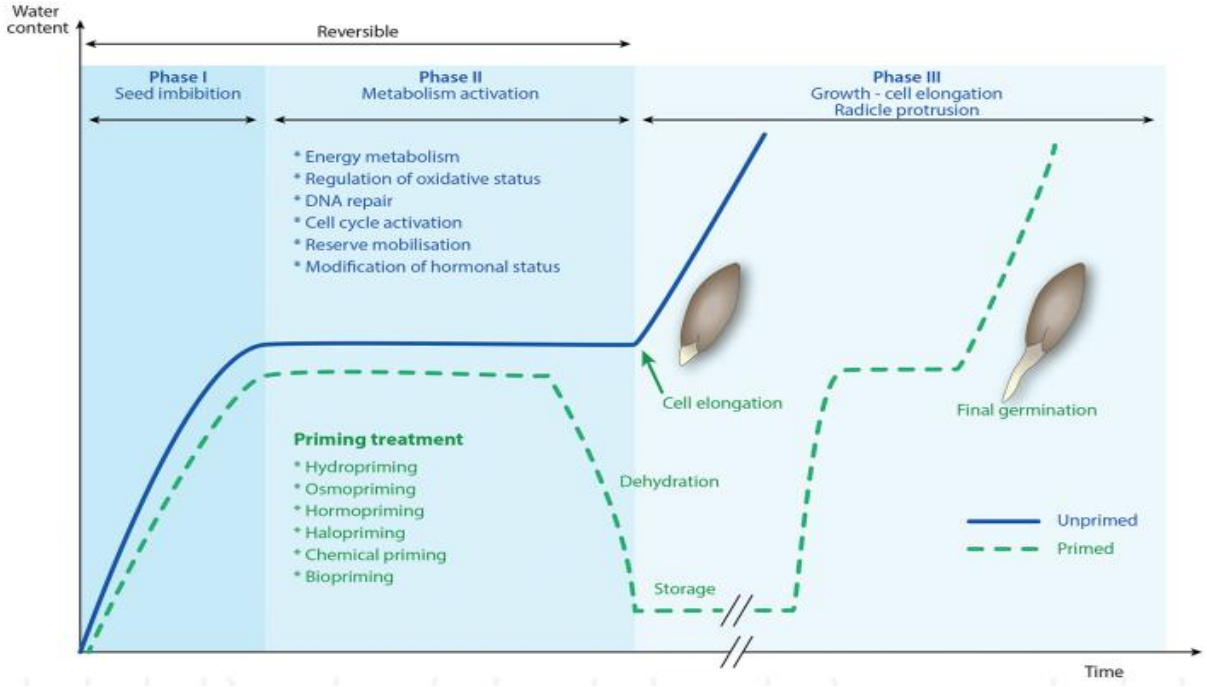
أوراق نبات ألIcale-Brassila Olerace Var. Fruticosa والتي تتفتح خلال فترة الجفاف يمكن ان تبقي حية وتتحمل اكثر ظروف الجفاف اكثر من تلك التي تفتحت بينما النبات يروي بصفة دائمة . وبالرغم من ان ألWater Stress يقلل من النمو فانه لوحظ ان النباتات التي تتعرض لmoderate Water stress في بعض الأحيان يكون نموها اكثر 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.

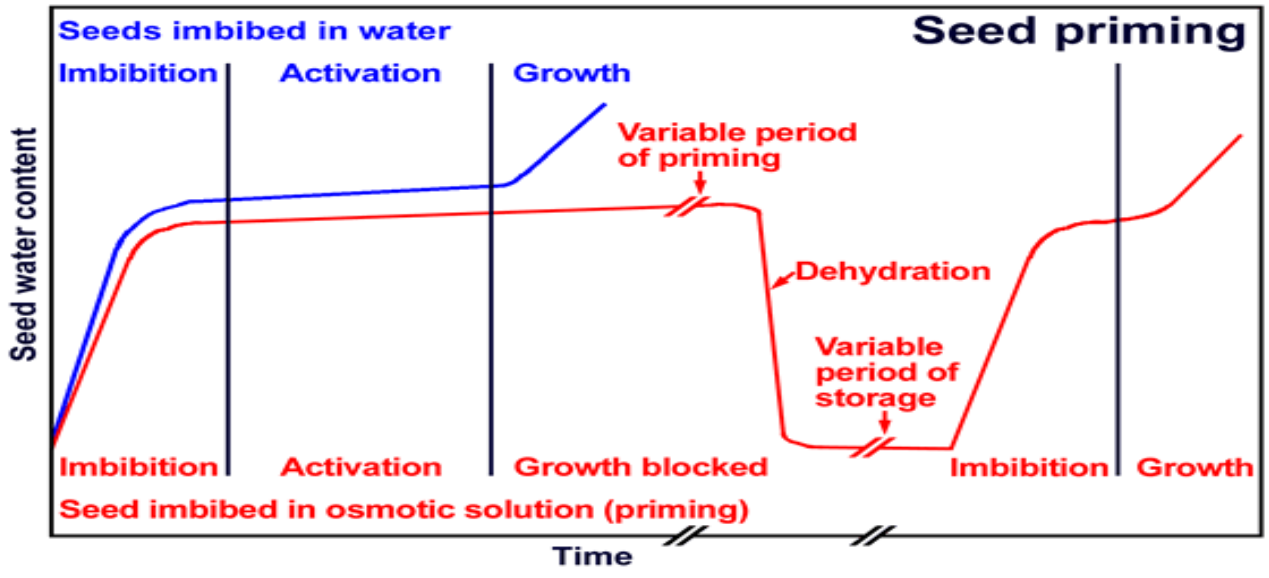
المعاملات التي تطبق خلال او اثناء مرحلة الإنبات القابلة للعكس (المرحلة الثالثة Phase III)، ومدتها تختلف حسب القدرة التناضحية بين المحلول والبذور ودرجة الحرارة ووجود المركبات الكيمائية، في المرحلة المرحلة الثانية Phase II يحدث تنشيط لعمليات التمثيل الغذائي وإصلاح للأضرار في البذور ويتم ايقافها بإرجاع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

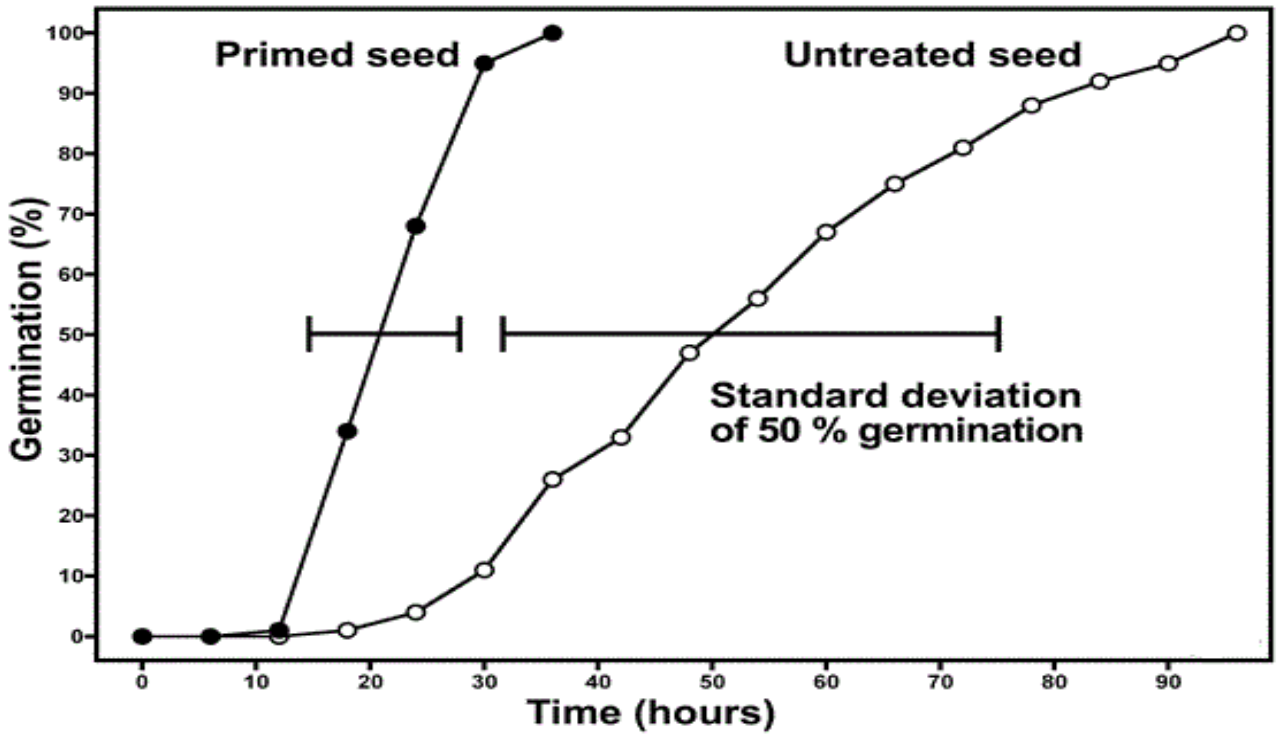
الـ seed Priming يساعد على نمو النباتات في ظروف بيئية واسعة ومقاومة الاجهاد البيئي (Zhang وآخرون، 2015)، ان الـ seed Priming مشابه لما يحدث لبذور بعض النباتات الصحراوية والتي بذورها تحتفظ بحيوتها لفترات طويلة ؛ اذ تتعرض بذورها لدورات من الجفاف والترطيب دون حدوث الانبات وبالتالي هذا يعزز الانبات اللاحق 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

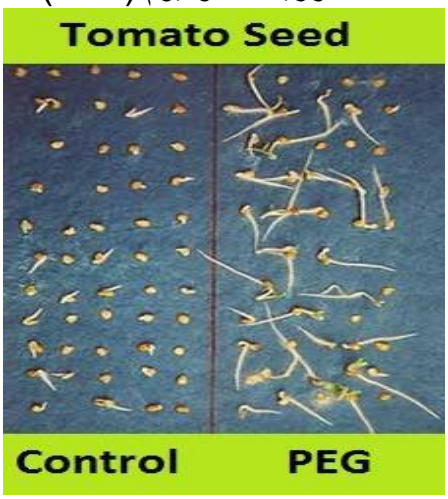
البذور الغير جيده
يكون انباتها غير منتظم وغير متناسق

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):

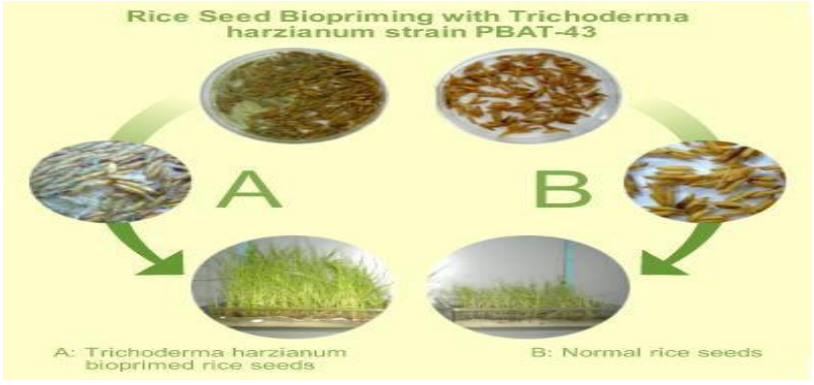
1. المنيتول mannitol.
2. نترات البوتاسيوم (KNO3).
3. كلوريد البوتاسيوم (KCl).
4. البولي اثلين كلايكول (PEG).
5. كلوريد الصوديوم (NaCl).



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؟

اعراض الجفاف على النباتات
المحاضرة الثامنة
الجزء العملي

تجربة:

تعريض النباتات الاتية للشد المائي:

١- نبات حولي في مرحلة النمو الخضري.

٢- نبات حولي في مرحلة النمو الثمري.

٣- نبات معمّر في مرحلة النمو الخضري.

٤- نبات معمّر في مرحلة النمو الثمري.

ويتم تسجيل التغيرات على النباتات:

عند تعريض النباتات الحولية في مرحلة النمو الخضري الى شد مائي معتدل الشدة نلاحظ الاتي:

١- ذبول الأوراق خاصة العليا.

٢- تغير لون الأوراق.

٣- سقوط بعض الأوراق.

٤- سرعة التحول من النمو الخضري الى الثمري في تعرض النبات الى شد مائي معتدل.

٥- انخفاض في الوزن الجاف (النمو).

اذا تعرض النبات الى شد كبير الشدة نلاحظ الأجزاء الخضرية تبدء بالموت من الجزء العلوي الى ان يبقى فقط الجذر.

عند تعريض النباتات الحولية في مرحلة النمو الثمري الى شد مائي معتدل الشدة نلاحظ الاتي:

١- ذبول الأوراق خاصة السفلى.

٢- تغير لون الأوراق السفلى ثم العليا.

٣- انفصال الأوراق السفلى.

٤- انخفاض فترة النمو الثمري.

اذا تعرض النبات الى شد كبير الشدة نلاحظ الأجزاء الخضرية تبدء بالموت من الجزء السفلي الى ان تبقى فقط الثمار والبذور.

عند تعريض النباتات المعمرة في مرحلة النمو الخضري الى شد مائي معتدل الشدة نلاحظ الاتي:

١- ذبول الأوراق.

٢- تغير لون الأوراق.

٣- انفصال الأوراق.

اذا تعرض النبات الى شد كبير الشدة نلاحظ ان النبات يدخل في السكون.

عند تعريض النباتات المعمرة في مرحلة النمو الثمري الى شد مائي معتدل الشدة نلاحظ الاتي:

١- ذبول الأوراق خاصة السفلى.

٢- تغير لون الأوراق السفلى ثم العليا.

٣- انفصال الأوراق السفلى.

٤- انخفاض فترة النمو الثمري.

اذا تعرض النبات الى شد كبير الشدة نلاحظ الأجزاء الخضرية تبدء بالموت من الجزء السفلي الى ان تبقى فقط الثمار والبذور (اذا كان النبات ثنائي الحول).

الإسموزية Osmosis

الإسموزية هى إنتشار المواد (المذيب) خلال غشاء شبه منفذ نتيجة لإختلاف الضغط الإنتشارى لهذه المـــادة (المذيب) على جانبى الغشاء. وتحدث الإسموزية حينما يكون هناك محلولين فيهما المذيب مشـــترك وضـــغط الإنتشار للمذيب فى كلا الجانبين والمحلولين منفصلين عن بعضهما بواسطة غشاء شبه منفذ.

فمثلاً عند مليء غشاء شبه منفذ (على شكل كيس) بمحلول ملحى أو سكرى ثم ربط هذا الكيس ووضعه فى ماء نقى يلاحظ بعد فترة إمتلاء هذا الكيس ويحدث هذا الإنتفاخ ضغطاً على جدار الكيس من الداخل. وهـــذا الضغط ينشأ نتيجة لدخول الماء إلى المحلول عن طريق الإسموزية. وفى هذه الحالة يجب مراعاة أن غشاء الكيس لابد وأن يكون شبه منفذ أى يكون منفذاً للماء دون المادة المذابة.

وتنقسم الأغشية تبعاً لخاصية النفاذية إلى:

١ ــ أغشية منفذه: أى تسمح لكل من المذيب والمذاب بالنفاذ خلالها مثل ورق الترشيح.

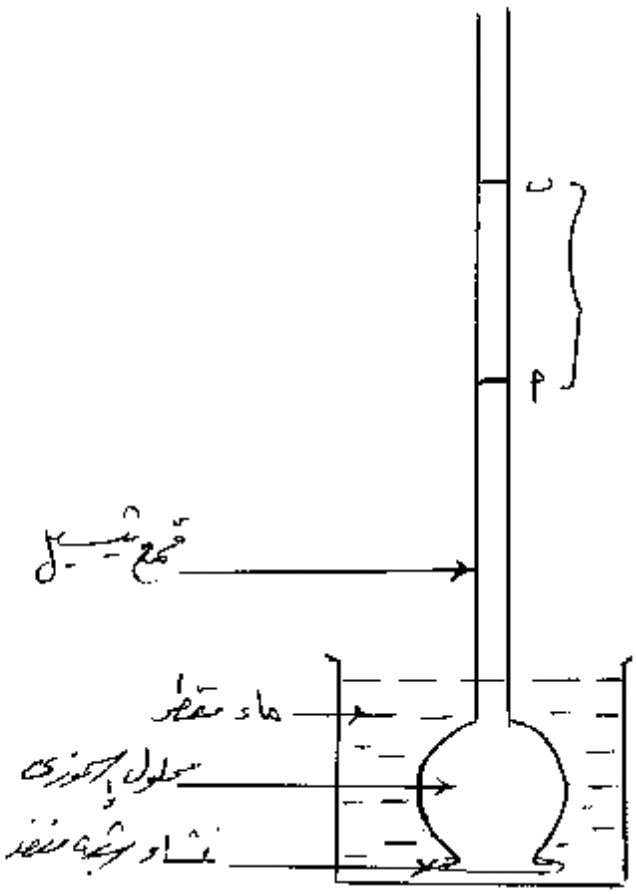
٢ ــ أغشية غير منفذه: لا تسمح لأى من المذاب والمذيب بالنفاذ مثل الزجاج.

٣ ــ أغشية شبه منفذه: تسمح للمذيب فقط دون المذاب بالنفاذ خلالها.

إذا ما وضعنا محلولاً في قمع ثيسيل المغطى بغشاء شبه منفذ ووضع القمع فى كأس به ماء فإننـــا نلاحـــظ إرتفاع عمود الماء فى ساق القمع ويثبت الإرتفاع بعد فترة عنـــد حـــد معـــين (أى يرتفـــع عـــن العلامـــة أ ←——— ب). والإرتفاع عمود المحلول من أ ←——— ب (ثقل عمود المحلول) يساوى مقدار الضغط الـــلازم وضعة على جدران الغشاء الداخلى لمعادلة قوة دخول الماء إلى داخل القمع. وهذه القوة تســـاوى الضـــغط الإسموزى للمحلول.

ويعرف الضغط الإسموزى بأنه "يساوى كمية قيمة أعلى ضغط ناتج عن ثقل عمود المحلول ويلزم إســـتمرار حدوث الإسموزية خلال غشاء شبه منفذ.

الأسموزية



طرق تقدير الضغط الإسموزى للمحاليل:

١ ــ الطريقة المانومترية: وفيها يقاس الضغط الإسموزى بقياس إرتفاع عمود السائل فى جهـــاز الأزمـــوميتر Osmometer وذلك بمعلومية محلول إسموزى أخر معروف اسموزيته.

٢ ــ طريقة قياس الإنخفاض فى نقطة التجمد وتسمى Cryoscopy، وفى هذه الطريقة يقاس مقدار الإنخفاض فى نقطة تجمد المحاليل (المراد قياس ضغوطها الإسموزية) عن نقطة تجمد الماء. وهذا الإنخفاض يسمى Freezing point depression وبإعتبار المحاليل المتساوية التركيز بالمولال ذات ضـــغوط إســـموزية متساوية وأن المحلول المولال لأى مادة غير اليكتروليتية ذو ضغط إسموزى يساوى ٢٢.٤ ض ج علـــى درجة الصفر المئوى ومثل هذا المحلول يحدث إنخفاضاً فى نقطة التجمد قدرها ١.٨٦ ْم.

$$\frac{\text{الضغط الإسموزى للمحلول المراد قياسه}}{\text{مقدار الإنخفاض فى نقطة التجمد التى يحدثها هذا المحلول (}\Delta\text{)}} = \frac{٢٢.٤}{١.٨٦}$$

$$\text{أى} \quad \frac{٢٢.٤}{\text{ض}} = \frac{١.٨٦}{\Delta}$$

$$\text{إذن} \quad \text{ض} \times ١.٨٦ = ٢٢.٤ \times \Delta$$

$$\text{إذن} \quad \text{ض} = \frac{٢٢.٤ \times \Delta}{١.٨٦}$$

وبمعرفة قيمة Δ (معملياُ) يمكن حساب قيمة الضغط الإسموزى لأى محلول بالضغط الجوى.

ومن أحسن الأغشية الشبه منفذه غشاء حديد وسيانور البوتاسيوم وكبريتات النحاس فى إناء مسامى حيـــث يترسب الغشاء داخل مسام الإناء مكتسباً بذلك صلابة ودعامة الإناء المسامى.

العوامل التى تؤثر على الضغط الإسموزى للمحاليل:

١ ــ التركيز:

تتوقف قيمة الضغط الإسموزى على عدد دقائق المادة المذابة بالنسبة لعدد جزيئات المذيب. وعلى ذلك فـــإن الضغط الإسموزى للمحاليل الغروية (الجيلاتين) تكون قليلة جداً حيث الدقائق تكون كبيرة وعددها قليل فـــى

(الوزن الثابت) وبالعكس فى حالة المحاليل الإليكتروليتية (المتأينة) مثل كلوريد الصوديوم حيث يصبح عـدد الدقائق أكبر من عدد الجزيئات نتيجة لحدوث التأين وذلك عند تساوى التركيز فى الحالتين. أما فى المحاليل الغير متأينة مثل محلول السكروز فإن قيمة الضغط الإسموزى لمحلول منها فى نفس درجـة التركيـز يقـع وسطاً بين الحالتين السابقتين.

ولما كان الوزن الجزيئى لآى مادة يحتوى على عدد ثابت من الجزيئات (رقم أفوجـادرو = ٦.٠٢ × ١٠ ^{٢٣} جزئ) فإن إذابة هذه الجزيئات فى لتر من الماء لتعطى محلول مولال فإنه فى هذه المحاليل يكون عدد دقائق المادة المذابة ثابت وكذلك عدد دقائق المذيب ثابت (لتر من الماء فى جميع الحـالات) وعلـى ذلـك تكـون الضغوط الإسموزية للمحاليل المتساوية التركيز بالمولال متساوية (طالما كانت هذه المحاليل حقيقية وغيـر متأنية). ولذلك يعتبر التركيز بالمولال هو المقياس الصحيح للتركيز فى حالة الإسموزية وليس المـولار لأن الأخير عبارة عن الوزن الجزيء بينما يكون عدد جزيئات الماء مختلفة وتتوقف على نوع المـادة المذابـة (أى تكون أقل كثيراً أو قليلاً من اللتر حسب نوع المادة) وعلى ذلك لا يكـون الضـغط الإسـموزى واحـد للمحاليل المتساوية التركيز بالمولار.

وأى محلول غير اليكتروليتى ذو تركيز يساوى مولال ذو ضغط إسموزى يساوى ٢٢.٤ ض ج على درجـة الصفر المئوى (قانون فانت هوف) وهذا بالنسبة للمحاليل التى لا تحتوى على مـاء تـأدرت وهـذا الـرقم (٢٢.٤) مشتق من قانون بويل Boyles low حيث أن الوزن الجزيئى لأى غاز يشغل حجم قدرة ٢٢.٤ لتر على درجة الصفر المئوى وضغط جوى يساوى الوحدة.

فإذا ضغط هذا الغاز ليشغل حجماً قدرة لتر واحد فإنه يصبح ذو ضغط يسـاوى ٢٢.٤ ض ج علـى درجـة الصفر المئوى. وبما أن المحاليل المولال تحتوى على الوزن الجزيئى للمادة فى حجم لتر مـن المـذيب إذاً ينطبق عليها نفس القانون.

٢ ــ مادة التأدرت:

وماء التأدرت هو كمية الماء المرتبط حول جزيئات المادة الذائبة مثل السكروز وهى قد تكون كثيرة أو قليلة حسب نوع المادة ومثل هذا الماء لا يحتسب ماء حر. وعلى ذلك تبدو محاليل هذه المواد كما لو كانت أكثـر

تركيزاً عما يساويه تركيزها الظاهرى بالمولال وبالتالى يكون ضغطها الإسموزى أعلى وعلى ســبيل المثــال فإن الضغط الإسموزى لمحلول مولال من السكروز = ٢٤.٨ بدلاً من ٢٢.٤ على درجة الصفر المئوى وهذه القيمة تصل إلى ٢٧ ض ج على درجة ٢٥ ْم.

٣ ــ درجة الحرارة:

يرتفع الضغط الإسموزى بإرتفاع درجة الحرارة المطلقة (قانون جاى لوساك).

الخلية النباتية وعلاقتها بالماء:

تمتاز الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بوجود جدار خلوى يحيط بالغشاء البلازمـــى شـــبه المنفـــذ مـــن الخارج. وبذلك تنفرد الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بمميزات أهمها:

١ ــ يمكن للخلية النباتية أن تحتفظ بحياتها إذا وضعت فى مجال واسع مــن التركيــزات بعكــس الخليــة الحيوانية التى يجب أن توضع فى محاليل فسيولوجية لكى تحتفظ بحياتها.

٢ ــ إذا وضعت الخلية النباتية فى ماء مقطر فإنها تنتفخ نتيجة لدخول الماء ونــادراً جــداً مــا تتعــرض للإنفجار.

٣ ــ يتولد فى الخلية النباتية عند الإمتلاء ضغط يسمى ضغط الإمتلاء أو ضغط الإنتفاخ **Tuger pressure** وهو يساوى فى القيمة ويضاد فى الإتجاه ضغط الجدار **Wall pressure**.

وعموماً تنقسم المحاليل بالنسبة لتركيز العصارة الخلوية إلى:

- § محاليل ناقصة التركيز **Hypotonic solutions**: أى أنها محاليل ذات ضغط إســموزى أقــل مــن الضغط الإسموزى فى العصير الخلوى وعند وضع الخلية النباتية فى مثل هذه المحاليل فإنها تنتفخ وتسمى فى هذه الحالة خلية منتفخة أو ممتلئة **Turgid cell** نظراً لدخول الماء إلى داخل بمعــدل لأكبر من خروجه.
- § محاليل زائدة التركيز أو زائدة الإسموزية **Hypertonic solutions**: وهــى محاليــل ذات ضــغط إسموزى أعلى من الضغط الإسموزى للعصير الخلوى وعند وضع خلية نباتية فى مثل هذه المحاليل فإنها تتبلزم نتيجة خروج الماء منها ونقص حجمها. وتسمى فــى هــذه الحالــة خليــة متبلزمــة **Plsmolyzed cell**.
- § محاليل سوية التركيز أو سوية الإسموزية **Isotonic solutions**: وهــى محاليــل متســاوية فــى ضغطها الإسموزى مع العصارة الخلوية. وعند غمر خلية نباتية فى مثــل هــذه المحاليــل فإنــه لا يعتريها أى تغيير أى تصبح فى حالة لإتزان ديناميكى مع المحلول منذ لحظة وضعها فيه ولذا تكون سرعة دخول الخلية تساوى تماماً سرعة خروجه فلو تصورنا أن هناك خليــة حيــه (ذات غشــاء بروتوبلازمى شبه منفذ) وموضوعة فى ماء وأن هذه الخلية تحتوى على عصارة خلوية بها محلول ملحى وسكرى. فلو افترضنا أن تركيز العصارة الخلوية يساوى ٥% والماء الخارجى = ١٠٠.

إذا يكون للماء الخارجى ضغط إنتشارى للداخل قيمته تساوى ١٠٠ وللماء الداخلى ضغط إنتشارى للخارج قيمته تساوى ٩٥ وعلى ذلك تحدث إسموزية وينتشر الماء من الخارج إلى الداخل بقوة إنتشارية تساوى ٥ ويترتب على ذلك زيادة حجم الخلية من الداخل يسمى ضغط الإنتفاخ Turgor pressure ويقاوم هذا الضغط ضغط أخر مساوى له فى القيمة ومعاكس له فى الإتجاه (من الخارج إلى الداخل) ويسمى ضغط الجدار Wall pressure وعند ترك الخلية فى الماء فترة طويلة لتصل إلى حالة الإتزان فإنها تصبح منتفخة Turgid وقوة الإمتصاص النهائية للخلية عادة تساوى الضغط الإسموزى لمحلول هذه الخلية ــ ضغط الإنتفاخ المتولد داخلها. وهذه الحالة تمثل بالمعادلات التالية:

ص = ض ــ ت .D.P.D. (S.F.) = O.P. – T.P

حيث ص (D.P.D. or S.F.) = قوة الإمتصاص الإسموزية.

ض (O.P.) = الضغط الإسموزى للعصير الخلوى.

ت (T.P.) = ضغط الإنتفاخ.

مثال: خلية ذات ضغط أسموزى يساوى ١٢ ض ج وضعت فى ماء فتكون قيمة ص لها فى بداية التجربة ص = ض – ت إذاً ص = ١٢ ــ صفر = ١٢ ض ج.وبدخول الماء إلى الخلية تنتفخ ويتولد داخلها ضغط لإنتفاخ يتزايد تدريجياً بإستمرار الإسموزية، بينما قيمة ص تتناقص بإستمرار حتى تصل إلى الصفر وذلك عند حالة الإتزان فى نهاية التجربة وبعد أن تصل الخلية إلى أقصى إنتفاخ لها وهنا يقف دخول الماء إليها وتتساوى قيمة ض & ت (كل منها تساوى ١٢ ض ج).

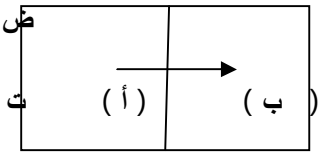
إذاً ص = ض ــ ت إذاً ص = ١٢ ــ ١٢ إذاً ص = صفر ض ج

وفعلاً تكون قوة الإمتصاص فى هذا الوقت تساوى صفر حيث أن الإمتصاص يقف تماماً. والشكل البيانى التالى يبين العلاقة بين قيمة كلمن ص ، ض ، ت قبل وبعد التجربة وواضح من هذا المثال أن دخول الماء إلى الخلية يتوقف على قوة الإمتصاص وليس على قيمة الضغط الإسموزى للعصارة بها والمثال التالى يوضح ذلك.

الخلية (أ) لها القيم الإسموزية التالية: ض = ١٢ ت = ٦ ص = ١٠

الخلية (ب) لها القيم الإسموزية التالية: ض = ١٠ ت = ٢ ص = ٨

فبالرغم من أن الضغط الإسموزى فى الخلية (أ) أعلى منه فى (ب) إلا أن الماء ينتقل من (أ) إلى (ب) متوقفاً على قيمة ص لكل من **الخليتين** ض = ١٠ ت= ٢ ص = ٨



وفى الأنسجة النباتية تكون ص = ض ــ ت ناقص ضغط الخلايا المجاورة حيث يؤدى الضغط الأخير إلى الحد من تمدد الخلية نتيجة لدخول الماء إليها وبالتالى فإنه يقلل من قيمة ص.

وكثيراً ما تكون جدر الخلايا النباتية مرنة وقابلة للمطاطية بدرجة معينة وفى هذه الحالة تتمدد جدر الخلية نتيجة لإمتصاصها للماء وتزداد فى الحجم وبالتالى يقل تركيز العصير الخلوى داخلها كما فى المثال التالى:

خلية تسمح جدرها بالتمدد بنسبة ٢٥% من الحجم الأصلى وضغطها الإسموزى قبل بدء التجربة = ٢٠ ض ج وضعت فى محلول خارجى ذو ضغط أسموزى = ١٢ ض ج وبذلك يصبح التركيز بعد التمدد: الحجم الأصلى × التركيز فى بداية التجربة = الحجم النهائى × التركيز فى نهاية التجربة

إذن: ١٠٠ × ٢٠ = ١٢٥ × س

$$\text{إذن: س} = \frac{١٠٠ \times ٢٠}{١٢٥} = ١٦ \text{ ض ج}$$

وعند حالة الإتزان يقف دخول الماء إلى الخلية وتصبح قيمة ص لها مساوية لقيمة الضغط الإسموزى للمحلول (١٢) وحيث ص = ض ــ ت

إذن: ١٢ = ١٦ ــ ت

ت = ٤ ، ص = ١٢ ، ض + ١٦ عند الإتزان.

وعند افتراض عدم سماح جدر الخلية للتمدد فإن المعادلة الإسموزية عند الإتزان تصبح ص = ض – ت.

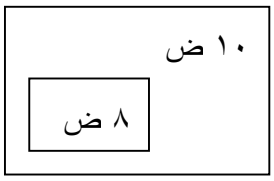
١٢ = ٢٠ ــ ت إذاً ت = ٨ ، ص = ١٢ ض = ٢٠

أى يمكن القول بأن قيمة ضغط الإنتفاخ (ت) ، الضغط الإسموزى (ض) تصبح أقل عندما تكون جدر الخليــة مرنه.

وفى حالة وضع الخلية فى محلول زائد التركيز كما فى الرسم فإن القيم الإسموزية تصبح ص = ض ــ ت

١٠ = ٨ ــ ت

إذاً ت = -٢



أى أن ضغط الإنتفاخ يصبح بالسالب (-٢) وهذا يعنى أن الخلية فى حالة بلزمة وذلك حتى يخرج الماء مــن الخلية بدلاً من أن ينفذ إليها، والخلية المتبلزمة إذا لم يحدث لها ضرر ميكانيكى نتيجة للبلزمة (مثل تقطــع الأغشية البلازمية) ووضعت بعد ذلك فى ماء نقى فإنها تستمد حالتها الأولى وتأخذ فــى إمتصــاص المــاء تدريجياً وتنتفخ مرة أخرى وتسمى هذه الحالة بالشفاء من البلزمة.

تقدير قوة الإمتصاص الإسموزية

هناك عدة طرق لتقدير قوة الإمتصاص الإسموزية نلخصها فى الآتي:

- عند وضع قطع أو شرائح معينة من نسيج نباتى معلومة الوزن (أو الحجم) فــى محاليــل مختلفــة التركيز (معلومة الإسموزية) مثل محاليل السكروز وتركها مده فإنه يمكن تحديد المحلــول الــذى لا يتغير فيه وزن (أو حجم) هذه القطع النباتية. ويكون تركيز هذا المحلول مقدراً على صــورة ضــغط إسموزى يساوى متوسط قوة الإمتصاص الإسموزية لخلايا النسيج (أى المحلول الذى يكــون فيــه النسيج فى حالة أتزان دون أن يطرأ علية أى تغيير) أى أن ص تتغير عندما تكون قيمة ت ثابتة لم يطرأ عليها أى تغير، ص تساوى قيمة الضغط الإسموزى للمحلول الخــارجى الــذى يتعــادل فيــه النسيج.

- وتتلخص كالسابقة فى تحديد المحلول الذى لا يتغير فيه طوال شرائح نباتية معلومة أو طول خـيط من الطحلب وتجرى بطريقة القياس تحت الميكروسكوب بدلاً من الوزن وتجب ملاحظـة أن عمليـة القياس تتم والشريحة النباتية مغمورة فى زيت برافين لمنع حدوث تغير فى الطول أثنـاء القيـاس الأمر الذى يحدث عند غمر العينة النباتية فى الماء.
- طريقة الإنحناء (يرجع للعملى) أن تقدير قوة الإمتصاص الإسموزية يتم على النسيج وخلايـاه فـى حالة إمتلاء كما هى وذلك عندما يتعادل خروج ودخول الماء من وإلى النسيج.
- طريقة شارداكوف: يتم تحضير محاليل سكروز متدرجة التركيز من 0,15 ⟵ 0.40 مولال كما فى الشكل التوضيحى. ثم يوضع كل تركيز فى أنبوبتى إختبار يوضع النسيج النباتى المتجانس فـى أنبوبة من كل تركيز وتترك الأنبوبة الأخرى من كل تركيز للمقارنة. توضع نقطة من صـبغة أزرق المثيلين فى كل أنبوبة من أنابيب المقارنة ثم ترج لمزج الصبغة بمحتوياتها.

تترك التجربة لمدة ٣٠ ق ثم تنزع الأنسجة النباتية من الأنابيب ثم توضع نقطة من أنبوبة المقارنة بهـدوء شديد فى الأنبوبة المقابلة لها والمساوية لها فى التركيز ويكرر ذلك مع باقى الأنابيب. فإذا صـعدت النقطـة الملونة لأعلى فهذا يعنى أن النقطة أخف والمحلول المختبر أكثر تركيزاً. أى أن ماء هذا المحلول قـد دخـل الأنسجة النباتية تاركاً السكروز الذى يزداد تركيزه بالطبع.

وبالعكس لو أن النقطة سقطت إلى أسفل فى قاع الأنبوبة أى أن المحلول أصبح مخففاً لخروج المـاء مـن الأنسجة إلى المحلول الخارجى. أما إذا كانت كثافة المحلول مشابهة لكثافة النقطة المضافة فإنهـا لا تصـعد ولا تهبط وهذا يدل على أن الجهد المائى للنسيج والمحلول الذى وضعت فيه متساويان.

ومن الممكن إستخدام جهاز الرفراكتوميتر بدلا من نقطة السقوط وعدم التغير فـى التركيـز يـدل علـى أن المحلول له نفس الجهد المائى لذلك الذى يوجد فى النسيج النباتى وهذه الطريقة أدق فى النتائج.

العوامل التى تؤثر فى الضغط الإسموزى لخلايا النبات

من الطبيعى أن أى عامل من شأنه أن يؤثر فى المحتوى المائى أو تركيز الأملاح فى عصارة النبات فإن هذا العامل يلعب دورا مباشرا فى التأثير على الضغط الإسموزى للخلايا النباتية ومثل ذلك عملية النتح (فقد النبات للماء) أو إمتصاص النبات للماء وعموما ما يمكن إضافة العوامل التالية إلى العوامل السابقة.

- **الضغط الإسموزى لمحلول التربة:** حيث وجد أن هناك علاقة طردية بين تركيز محلول التربة وبين الضغط الإسموزى لخلايا النبات النامى فى هذه التربة.

فالنباتات التى تتحمل درجة عالية من الملوحة **Halophytes** ذات ضغوط إسموزية عالية فى عصارتها الخلوية قد تصل أحيانا إلى ٢٠٠ ض ج كما فى نباتات **Atriplex** وكذلك النباتات التى تعيش فى المناطق الجافة **Xorophytes** بينما تتراوح قيمة الضغط الإسموزى لمعظم نباتات البيئة المتوسطة بين ٥ ــ ٣٠ ض ج.

- **نوع النبات:** فمثلا الأشجار تحتوى عصارتها على ضغوط إسموزية أعلى من النباتات العشبية.
- **موضع الخلية فى النبات:** فمثلاً عصارة أنسجة الأوراق العليا ذات ضغوط إسموزيه أكبر من عصارة الأنسجة السفلى للنبات ويتبين ذلك من الجدول التالى:ــ

تأثير محتويات مختلفة من الرطوبة فى التربة على الضغط الإسموزى فى نبات الذرة

نسبة الرطوبة فى التربة	الضغط الإسموزى لخلايا قمة النبات	الضغط الإسموزى لخلايا الجذر
%٣٠	٢٢.٠٦	٥.٩١
%١٦	٢٤.٣٦	٧.٧٩
%١٣	٢٥.٤٧	١١.٣٤

- **عمر الخلية:** فمن المعلوم أن الضغط الإسموزى للخلية يزداد بتقدمها فى العمر.
- يتوقف الضغط الإسموزى للعصير الخلوى فى النبات على وقت أخذ العينة. ففى الصباح الباكر يكون منخفضا نظرا لنقص نسبة السكر الذائب فى النسيج بينما فى المساء (قبل غروب الشمس) حيث تكون

نسبة السكريات الذائبة فى العصارة الخلوية عالية نتيجة لعملية البناء الضوئى فإن الضغط الإســموزى للعصارة الخلوية فى النبات يكون عالياً.

تقدير الضغط الإسموزى للأنسجة النباتية

عادة ما يقدر الضغط الإسموزى لعصارة الأنسجة النباتية بطرق عديدة سنكتفى بذكر الطــريقتين التــاليتين منها:

q طريقة البلزمة Plasmolytic method

وهذه الطريقة تتلخص فى وضع شرائح من النسيج النباتى فى عدد من محاليل قياســية مختلفــة التركيــز (السكروز مثلا) وتترك مدة كافية لحدوث حالة الإتزان الديناميكى بين العصارة الخلوية والمحلول الخــارجى (أى إلى أن تقف عملية الإسموزية) ثم تفحص هذه الأنسجة ميكروسكوبيا ويحدد المحلول الذى تكون فيــه نصف خلاياه تقريباً فى حالة بلزمة بينما النصف الآخر من الخلايا لم يتبلزم بعد. ويكون متوســط الضــغوط الإسموزية للعصارة الخلوية فى النسيج تساوى الضغط الإسموزى للمحلول الخارجى المغمورة فيه ويســمى الضغط الإسموزى التحصل علية بواسطة هذه الطريقة "الضغط الإسموزى عند البلزمة"

Osmotic Pressure at incipient plasmolysis

وقيمتها عادة تكون أكبر قليلاً من الحقيقة لآن الخلية قبل أن تبدى حالة البلزمة يعتريها إنكماش قليــل فــى الحجم. ومثل هذا الإنكماش يمكن معه تقدير الضغط الإسموزى بدقة أكثر وذلك بتطبيق المعادلة التالية:ــ

ح × ت = ح‘ × ت‘

أى أن الحجم × التركيز عند بدء البلزمة = الحجم × التركيز فى حالة إمتلاء الخلية.

$$ت' = \frac{ح \times ت}{ح'}$$

وبإختصار فإنه لتقدير الضغط الإسموزى بهذه الطريقة تقدر قوة الإمتصاص للنسيج عندما تكون قيمة ت له تساوى صفر (وهى حاله بدء البلزمة).

طريقة تقدير الإنخفاض فى نقطة التجمد Cryoscopic method

ويتم ذلك بتقدير مقدار الإنخفاض فى درجة التجمد للعصير النباتى ثم تطبيق المعادلة:ـــ

$$\text{الضغط الإسموزى} = \frac{\Delta \times ٢٢.٤}{١.٨٦}$$

وهذه الطريقة سبق شرحها عند تقدير الضغط الإسموزى للمحاليل.

طرق أحداث الشد المائي في النباتات

هناك أربعة طرق مختلفة لغرض أحداث الشد المائي في النباتات، وان لكل طريقة محاسنها ومساوئها وهي كما يلي:

١) حجب الماء عن التربة:

أن حجب الماء عن التربة من الطرق الأكثر وضوحاً وهي طريقة طبيعية في أحداث الشد المائي في النباتات تحت ظروف البيت الزجاجي أو حاضنات النمو. كما يمكن استعمال هذه التقنية في الحقل ولكن يجب تنمية النباتات تحت مسقفات خاصة لمنع سقوط المطر لغرض السيطرة الدقيقة على مستويات رطوبة التربة، أ أن أحداث الشد المائي بهذه الطريقة من العمليات الصعبة وذلك أن النباتات تعاني من نزع سريع أو بطيء للماء ويعتمد ذلك على ظروف النمو وحجم ونوع حاويات النمو فضلاً عن الأنواع والأصناف النباتية المدروسة أن هذه الطريقة تمتاز بأنها تخلو من تأثير الملوثات التي عادة تصاحب استخدام المركبات الكيمياوية ذات الفعل ا زموزي، أ أن هناك مساوئ يمكن أدراجها كالأتي:

أ) صعوبة تحديد الجهد المائي بصورة دقيقة عند سطح الجذور.

ب) صعوبة الحفاظ على الجهد المائي المطلوب في كافة أجزاء التربة.

ت) نوعية التربة تؤثر كثيراً في دراسات الشد المائي.

٢) استعمال مركبات ازموزية:

يمكن استعمال مركبات عديدة لغرض أحداث الشد المائي مثل كلوريد الصوديوم والسكروز والمانوز والدكستران والمانتول والسوربتول أ أن استعمال كلايكول متعدد ا ثيلين (PEG) اكتسب أهمية كبيرة في دراسات الشد المائي. وهذه المادة خاملة غير متأينة وهي بوليمر ذو سلسلة طويلة. أ أن استعمال كلوريد الصوديوم يمكن اعتباره مناسباً لدراسات الشد المائي وذلك لأنه يسبب تأثيراً سمياً وهذا قد يسبب عدم وضوح في تفسير النتائج. أن مركبات (PEG) تمتاز بأنها تعطي دقة كبيرة في تحديد مستوى عجز الماء في النبات وذلك لأنها تنفذ بسهولة خلال الأغشية الخلوية أو البلازمية، أ أنها قد تسبب تأثيرات سمية. وقد عزيت هذه التأثيرات إلى وجود عناصر معدنية ثقيلة مثل الألمنيوم والمنغنيز. كذلك قد تسبب تأثيرات فسلجية أخرى مثل اختزال في امتصاص وانتقال الفسفور داخل النبات واختزال في محتوى الأوكسجين في المحلول المغذي وظهور تلف ظاهري في الورقة وغيرها. أن مركبات (PEG) تمتاز بأنها ذات مدى واسع من حا ت المادة والوزن الجزيئي والخصائص الفيزيائية. وقد ينطوي على هذا صعوبات تحديد الجهد المائي لوسط النمو باستعمال هذه المركبات الذي يحتاج اهتماماً خاصاً.

١) امتصاص PEG: حيث يعتقد أن هذه المركبات قد تسبب تأثيرات سمية أ أن هناك جد ً حول كيفية حدوث مثل هذه التأثيرات فأما أن يكون ذلك بسبب المركبات الموجودة كشوائب. أو يكون تأثيرهما السمي بسبب تراكم PEG نفسه في أنسجة النبات.

٢) طريقة تحديد الجهد ا زموزي لوسط النمو: ليس هناك اتفاق واضح بين الطرق المعتمدة في قياسات الجهد ا زموزي للمحاليل الحاوية على PEG. أ أن الطرق التي يمكن ا عتماد عليها هو قياس ا نخفاض في درجة ا نجماد أو الطريقة السايكرومترية. أما تحديد الجهد ا زموزي حسب معادلة فانته وف فأنها تختلف لدرجة كبيرة عن الطريقة الأولى واستعما تها حيث قد تقتصر على التجارب البسيطة وباستخدام مادة ازموزية واحدة.

٣) استعمال النظام الغشائي في أحداث الشد المائي:

تستعمل هذه الطريقة للتخلص من مشكلات السمية باستعمال PEG حيث يوضع النظام الجذري داخل غشاء شبه منفذ ومن ثم تنمية النبات في محاليل مغذية حاوية على مادة ازموزية مثل PEG.

٤) تنظيم التوصيل الهيدروليكي للوسط الموصل:

وهي من الطرق البسيطة والدقيقة في مجال دراسة تأثيرات الشد المائي في نمو النبات. وقد صممت هذه الطريقة من اجل التغلب على الصعوبات التي تواجه الباحثين عند استعمال الطرق المذكورة سابقاً، كما أنها أكثر دقة لغرض الحصول على الجهد المائي الواطئ. وتعتمد هذه الطريقة على حقيقة أن الجهد المائي عند أسطح الجذور يتحدد بعدة عوامل هي:

أ) المسافة بين الجذور إلى عمود الماء.

ب) التوصيل الهيدروليكي للوسط الموصل.

ت) معدل النتح.

الضوء Light :
تعتبر الشمس المصدر الرئيسي للطاقة إلى الأرض ويخترق الإشعاع الشمسي الكون الخارجي في شكل موجات كهرومغناطيسية وتقوم طبقة الأوزون المغلفة للكرة الأرضية بامتصاص الإشعاعات الضارة للنبات والإنسان وتمتص السحب جزءاً من الإشعاعات ليصل الباقي إلى النبات الذي يستفيد بحوالي 1 – 2 % فقط من الطاقة الشمسية للقيام بعملياته الحيوية التي تحتاج إلى ضوء (ومن مجموع الطاقة الشمسية الممتصة ما بين 75 – 80 % يستعمل لتبخير الماء و 5 – 10 % طاقة تخزن في التربة).والضوء الذي يمتصه النبات هو الضوء المنظور وهو الجزء من الإشعاع الشمسي الذي تدركه الأبصار وتحول النباتات هذه الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في عملية التمثيل الضوئي ويمتص كلوروفيل النبات (أ و ب) الألوان – الزرقاء (بواسطة كلوروفيل ب) والحمراء (بواسطة كلوروفيل أ) وتعكس باقي الألوان ولا يستفيد النبات إلا بجزء ضئيل من هذه الألوان. والضوء له تأثيرات عديدة على النبات توجزها فيما يلي:

1- تكوين المادة الخضراء وإكتمال تكوين البلاستيدات الخضراء.
2- يدخل في عملية التمثيل الضوئي كمصدر للطاقة.
3- يتزايد نمو النباتات نتيجة للضوء الأزرق والأحمر.
4- تؤثر الموجات الضوئية في توزيع الأوكسينات وبالتالي يؤثر ذلك في عملية النمو والانتحاءات وتكوين هرمونات الأزهار.
5- يؤثر الضوء في فتح وغلق الثغور (عملية النتح).
6- يتأثر التركيب التشريحي للنبات باختلاف شدة الضوء. فالنباتات المحبة للشمس تتميز بوجود طبقات من النسيج العمادي وأديم أكثر سماكة (Epiderm) مع تواجد شعيرات أو زغب على السطح الخارجي عن النباتات المحبة للظل.

ويختلف تأثير الضوء من حيث النوع Quality ، وشدة الإضاءة Light Intensity ومدة الإضاءة Duration.

أ- نوع الضوء :
يختلف تأثير الضوء من حيث نوعية الضوء بالإضافة إلى مكوناته من الألوان المختلفة ويختلف النوع من حيث الموسم والموقع الجغرافي فيؤثر كل من الموسم والموقع على زاوية سقوط الضوء على سطح الأرض فزاوية السقوط تكون عمودية على خط الاستواء وتكون بزاوية أكبر كلما اتجهنا شمالاً (القطب الشمالي مثلاً).أما نوعية الضوء فان الإشعاعات القصيرة تمتص بطقبة الأوزون والإشعاعات الطويلة تمتص من خلال السحب وبخار الماء. كما تؤثر الأتربة والدخان على باقي الموجات الضوئية كذلك أن الضوء ذو اللون الأزرق أو الأحمر أهم الألوان التي تمتصها البلاستيدات الخضراء في حين تعكس الألوان الأخرى ويلاحظ أن ألوان الضوء تؤثر على الأكسينات فاللون الأحمر يزيد من إنبات بعض البذور مثل بذور الخس. كذلك نجد أن الأشعة فوق البنفسجية والزرقاء تساعد في تكوين اللون الأحمر في ثمار التفاح أما بالنسبة للنمو فالأشعة فوق البنفسجية تعتبر ضارة وتؤدي إلى تقزم النباتات ولها تأثير على النباتات

النامية على قمم الجبال في حين أن الأشعة الحمراء تسرع من إنبات بعض البذور بينما الإشعاع الأحمر البعيد له تأثير سلبي على إنبات البذور.

ب- شدة الإضاءة :

وهي كمية الضوء الساقط على مساحة معينة خلال فترة زمنية معينة وتقاس بوحدات مختلفة أقدمها شمعة ضوئية وهي تعادل كمية الضوء الساقط على السطح من شمعة قياسية على بعد 1 قدم. وهناك وحدات أخرى أحدث مثل : اللكس Lux = كمية الضوء المنظور الساقط على مساحة 1م2 ويبعد 1م عن مصدر الضوء ، وهي تساوي (0.093 من شمعة 1 قدم) ويحتاج الإنسان للقراءة إلى حوالي 20 شمعة. وتختلف شدة الضوء باختلاف الموقع و علاقته بخطوط العرض على سطح الكرة الأرضية. فزاوية سقوط الاشعاع الشمسي رأسية على خط الأستواء و تميل كل ما أبتعدنا شمالاً أو جنوباً وبالتالي يتوزع الشعاع على مساحة أكبر من سطح الارض . كذلك توثر سماكة الغلاف الجوي على إمتصاص و تشتت الاشعة الضوئية، حيث تقل سماكة الغلاف فوق خط الإستوى وتزداد عند القطبين. لذا تكون مسافة الكتلة الهوائية التي تخترقها الأشعة عند القطبين أطول بكثير من المسافة التي تقطعاها الأشعة فوق المنطقة الاستوائية مما يزيد الفقد.وتحتاج النباتات على الأقل من 100 – 200 شمعة لكي تنمو ولهذا تزداد كمية المواد الكربوهيدراتية المتكونة في النباتات بزيادة شدة الضوء حتى تصل إلى حد أقصى. وتتراوح شدة الضوء ما بين 8.000 – 10.000 شمعة قدم في فصل الصيف.ويعرف هذا الحد الأقصى بنقطة تشبع الضوء Light Saturation Point وهي كمية الضوء التي لا يحدث بعدها أي زيادة في كمية المواد الكربوهيدراتية ، وتختلف نقطة التشبع الضوئي من محصول إلى آخر وتتراوح ما بين 5.000 – 10.000 شمعة قدم.

وعلى هذا يمكن تقسيم النباتات من حيث إستجابتها إلى شدة الضوء إلى :

أ- نباتات محبة للضوء : وتحتاج على الأقل إلى 3.000 وحدة شمعية ضوئية ومعظم المحاصيل الإقتصادية تنتمي إلى هذه المجموعة.

ب-نباتات محبة للظل : وتحتاج إلى كمية ضوء أقل ومن أمثلتها نباتات الزينة.وإذا قلت شدة الإضاءة عن 100 – 200 شمعة يؤدي هذا إلى تقليل التمثيل الضوئي بحيث تقل نواتج التمثيل الضوئي عن المستهلك بواسطة التنفس ويصبح النبات شاحباً فيستطيل النبات ويقل سمك الساق ويتحول لونه إلى اللون الأبيض.كذلك تؤثر شدة الإضاءة على الإنتحاء الضوئي فتحلل الأوكسينات المسببة للنمو وتتحرك نحو الجزء المظلم وبالتالي تؤدي إلى إستطالة الخلايا البعيدة عن الضوء مما يؤدي إلى إنتحاء النبات نحو الضوء. ويزيد الضوء من نسبة الإنبات في بعض النباتات مثل الخس

ج- مدة الإضاءة :

المقصود بها عدد ساعات الإضاءة في اليوم وتختلف من موقع إلى آخر ومن موسم إلى آخر.فعند خط الاستواء فإن عدد ساعات النهار 12 ساعة طول العام أما عند خط عرض 25 ° مثلاً تتراوح عدد ساعات النهار من 10.5 ساعة شتاءاً إلى 13.75 ساعة صيفاً وعند خط عرض 45° تتراوح ما بين 8 ساعات شتاءاً إلى 16 ساعة صيفاً وعند القطب الشمالي تتراوح ما بين صفر شتاءاً إلى 24 ساعة صيفاً.. ويطلق على ظاهرة اختلاف استجابة النباتات للطول

النسبي لكل من الليل والنهار بظاهرة التأقت الضوئي Photoperiodism. ويؤثر إختلاف طول الفترة الضوئية بالنهار في النباتات عن طريق التأثير في العمليات الحيوية مثل نشوء البراعم و وسكونها و النشوء الزهري. وتنقسم النباتات من حيث إستجابتها لمدة الإضاءة إلى تأثيرها على نشوء الأزهار ويمكن تقسيمها:

1- نباتات محايدة Neutral: وهذه لا تتأثر بعدد ساعات النهار مثل : القطن– زهرة الشمس.
2- نباتات النهار الطويل : وهذه تحتاج لنشوء الأزهار إلى عدد ساعات إضاءة تزيد عن حد معين من الساعات على الأقل وأن ساعات الإضاءة تتزايد في أثناء فترة نشوء التزهير مثل: الحنطة ، الشعير ، البرسيم ، الكتان.
3- نباتات النهار القصير : وهذه تحتاج إلى ساعات إضاءة أقل من حد معين ويجب أن تتناقص ساعات النهار باستمرار مثل: االرز ، الذرة الصفراء ، الذرة البيضاء ، فول الصويا.

فإذا نقلنا نبات نهار قصير من المنطقة الإستوائية إلى المنطقة المعتدلة يؤدي هذا إلى عدم إزهار النباتات وتستمر في النمو الخضري. والعكس عند زراعة محاصيل النهار الطويل في موسم نهار قصير يؤدي هذا إلى تقصير فترة النمو الخضري. وتختلف الأصناف المختلفة لمحصول ما في إستجابتها لساعات الإضاءة.

الحرارة Temperature
من أهم العوامل البيئية التي تؤثر على الكائنات الحية. وتلعب الحرارة دوراً رئيسياً في كثير من العمليات الطبيعية والكيمائية والتي تؤثر بدورها في التفاعلات الحيوية. فتؤثر الحرارة على عمليات إنتشار الغازات والسوائل وكذلك على عمليات إذابة الأملاح كما تؤثر على التفاعلات الإنزيمية في الخلايا.
وتختلف درجات الحرارة من يوم إلى آخر حسب الموسم ومن مكان إلى آخر.
وقد حدد لكل عملية حيوية ثلاث درجات حرارية مميزة هي القصوى (الحد الأعلى) الصغرى أو الدنيا (الحد الأدنى) وبينهما المثلى وهي أكفئ درجة حرارة لحدوث التفاعل.
وتختلف الدرجات الحدية من محصول إلى آخر ويمكن للنباتات عموماً أن تحيى بين درجة حرارة صفر مئوي إلى درجة حرارة 55° م ولكن عموماً لا تنمو النباتات إذا قلت درجة الحرارة عن 5^0م ويمكن تقسم النباتات من حيث إستجابتها للحرارة إلى :
1 - محاصيل المناطق المعتدلة : وهذه تنمو بين درجات حرارة 5 – 30^0م ، درجة الحرارة المثلى لها بين (15 – 25^0م) مثل القمح – الشعير – الشوفان.
2 - محاصيل المناطق الدافئة : وهذه تنمو ما بين درجة حرارة 10 – 40^0م والمثلى ما بين (30 – 38^0م) ولا تنمو إذا قلت درجة الحرارة عن 10^0م. وأهم هذه المحاصيل الذرة الصفراء والبيضاء، القطن ،الرز ،فول الصويا.
الوحدات الحرارية التراكمية : (العلاقة بين دراجات الحرارة والنضج)
بالنسبة للمحاصيل المحايدة لطول النهار فإن العامل المحدد لتمام النضج هي درجات الحرارة التي يتعرض لها هذا المحصول. ولكل محصول حد أدنى من درجات الحرارة – إذا قلت عنه – لا ينمو هذا المحصول ويعرف بالحد الأدنى باسم صفر النمو grow zero وهي أقل درجة حرارة لازمة لنمو المحصول.
أما درجات الحرارة التراكمية (المجمعة) فهي عبارة عن مجموع درجات الحرارة التي تزيد عن صفر النمو والتي يحتاجها المحصول من الزراعة حتى النضج .
وعلى هذا كلما أرتفعت درجة الحرارة كلما زادت عدد الوحدات الحرارية التراكمية ويقل موسم النضج .
ويفيد حساب عدد درجات الحرارة التراكمية في الآتي :
أ- تحديد أنواع المحاصيل التي يمكن زراعتها وكذلك الأصناف وتحديد موعد الزراعة المناسب.
ب-تحديد موسم النمو وبالتالي ميعاد النضج بدقة وسهولة وذلك لتجهيز الحصاد في الوقت المناسب وخصوصاً للمحاصيل الحقلية.
ج- تحديد مواعيد الزراعة إذا زرع في الحقل أكثر من صنف ويراد التلقيح بينهما (التوافق بينهما في مواعيد التلقيح) كما في حالة إنتاج الذرة الهجين.

الأضرار الحرارية :
يؤدي اختلاف درجات الحرارة عن الحرارة المثلى إلى حدوث بعض الأضرار وهذه الأضرار تنشأ أما نتيجة ارتفاع درجة الحرارة عن الحرارة القصوى أو انخفاضها عن الحرارة الدنيا.
أضرار ارتفاع الحرارة :

1- قتل البروتوبلازم: يتلف البروتوبلازم إذا ارتفعت درجة الحرارة عن 54^{0}م ويبدأ فقد صفاته الطبيعية ويقاوم النبات الوصول إلى هذه الدرجة عن طريق تكون Epiderm الواقي أو زيادة المساحة الورقية التي تعمل على تظليل النبات.
2- حدوث ضربة الشمس: وتنشأ عن موت الخلايا الإنشائية (الكمبيوم) المواجهة لجهة الشمس. وتحدث في الأشجار الحديثة حيث تكون خلايا القلف رقيقة فيموت نسيج الكمبيوم ويتلف الخشب.
3- التأثير المجفف: يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تزايد معدل النتح. وكذلك يقل نشاط الجذور ويقل امتصاصها للماء ويبدأ النبات في الذبول والذي ينتهي بالموت نتيجة للجفاف. وهذا ما يعرف بإسم التوازن المائي السالب. وتتأثر النموات الحديثة وكذلك الأزهار والثمار الصغيرة بدرجة أكبر من ارتفاع درجة الحرارة.
4- تعمل درجات الحرارة المرتفعة إلى تقليل التمثيل الضوئي وزيادة معدل التنفس وتفقد النباتات مخزونها من الغذاء.
5- يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى تساقط الأزهار والثمار الصغيرة.
6- يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى قتل الجذور السطحية.
7- يؤثر ارتفاع الحرارة على حيوية حبوب اللقاح ويقلل من نسبة إنباتها ويقلل من نسبة الإخصاب (إذا إرتفعت عن 40^{5}م).

أضرار انخفاض الحرارة :
يؤدي إنخفاض درجة الحرارة إلى إبطاء معدلات العمليات الحيوية التي تجري داخل النبات ويؤدي انخفاض درجة الحرارة عن الصفر المئوي إلى حدوث التجمد. ويؤدي هذا التجمد إلى حدوث الأضرار التالية:

1- تجمد البروتوبلازم ويؤدي إلى موت البروتوبلازم فيترسب البروتين وتموت الخلية. (تجمد سريع)
2- الجفاف الخلوي وينشأ عند تجمد الماء الموجود بين الخلايا في حين أن الماء داخل الخلايا لم يتجمد بعد. لهذا يخرج الماء من داخل الخلايا إلى خارجها ويحدث الجفاف. (تجمد بطيء وتدريجي)
3- الصقيع (أضرار ميكانيكية نتيجة الصقيع): والمقصود بالصقيع هو تجمد الماء وتحوله إلى بلورات ثلجية

تلوث المـــــــاء

يعتبر تلوث الماء من أوائل الموضوعات التي اهتم بها العلماء والمختصون بمجال التلوث ،وليس من الغريب أن يكون حجم الدراسات التي تناولت هذا الموضوع أكبر من حجم تلك التي تناولت باقي فروع التلوث .
ولعل ذلك مرده إلى سببين :
الأول : أهمية الماء وضروريته ، فهو يدخل في كل العمليات البيولوجية والصناعية ، ولا يمكن لأي كائن حي –مهما كان شكله أو نوعه أو حجمه – أن يعيش بدونه ، فالكائنات الحية تحتاج إليه لكي تعيش ، والنباتات هي الأخرى تحتاج إليه لكي تنمو ، (وقد أثبت علم الخلية أن الماء هو المكون الهام في تركيب مادة الخلية ، وهو وحدة البناء في كل كائن حي نباتً كان أم حيواناً ، وأثبت علم الكيمياء الحيوية أن الماء لازم لحدوث جميع التفاعلات والتحولات التي تتم داخل أجسام الأحياء فهو إما وسط أو عامل مساعد أو داخل في التفاعل أو ناتج عنه ، وأثبت علم وظائف الأعضاء أن الماء ضروري لقيام كل عضو بوظائفه التي بدونها لا تتوفر له مظاهر الحياة ومقوماتها) .
الثاني : أن الماء يشغل أكبر حيز في الغلاف الحيوي ، وهو أكثر مادة منفردة موجودة به ، إذ تبلغ مسحة المسطح المائي حوالي 70.8% من مساحة الكرة الارضية ، مما دفع بعض العلماء إلى أن يطلقوا اسم (الكرة المائية) على الارض بدلا من من الكرة الأرضية . كما أن الماء يكون حوالي(60-70% من أجسام الأحياء الراقية بما فيها الانسان ، كما يكون حوالي 90% من أجسام الاحياء الدنيا) وبالتالي فإن تلوث الماء يؤدي إلى حدوث أضرار بالغة ذو أخطار جسيمة بالكائنات الحية ، ويخل بالتوازن البيئي الذي لن يكون له معنى ولن تكون له قيمة إذا ما فسدت خواص المكون الرئيسي له وهو الماء .
مصادر تلوث الماء:-
يتلوث الماء بكل ما يفسد خواصه أو يغير من طبيعته ، والمقصود بتلوث الماء هو تدنس مجاري الماء والأبار والانهار والبحار والامطار والمياه الجوفية مما يجعل ماءها غير صالح للإنسان أو الحيوان أو النباتات أو الكائنات التي تعيش في البحار والمحيطات ، ويتلوث الماء عن طريق المخلفات الإنسانية والنباتية والحيوانية والصناعية التي تلقي فيه أو تصب في فروعه ، كما تتلوث المياه الجوفية نتيجة لتسرب مياه المجاري إليها بما فيها من بكتريا وصبغات كيميائية ملوثة ، ومن أهم ملوثات الماء ما يلي :

1. مياه المطر الملوثه:-

تتلوث مياه الأمطار – خاصة في المناطق الصناعية لأنها تجمع أثناء سقوطها من السماء كل الملوثات الموجودة بالهواء ، والتي من أشهرها أكاسيد النتروجين وأكاسيد الكبريت وذرات التراب ، ومن الجدير بالذكر أن تلوث مياه الامطار ظاهرة جديدة استحدثت مع انتشار التصنيع ، وإلقاء كميات كبيرة من المخلفات والغازات والاتربة في الهواء أو الماء ، وفي الماضي لم تعرف البشرية هذا النوع من التلوث ، لان ماء

المطر الذي يتساقط من السماء ينزل خالياً من الشوائب، لقد امتلئ الهواء بالكثير من الملوثات الصلبة والغازية التي نفثتها مداخن المصانع ومحركات الآلات والسيارات وهذه الملوثات تذوب مع مياه الأمطار وتتساقط مع الثلوج فتمتصها التربة لتضيف بذلك كماً جديداً من الملوثات إلى ذلك الموجود بالتربة ، ويمتص النبات هذه السموم في جميع أجزائه ، فإذا تناول الإنسان أو الحيوان هذه النباتات ادى ذلك الى التسمم كما أن سقوط ماء المطر الملوث فوق المسطحات المائية كالمحيطات والبحار والانهار والبحيرات يؤدي إلى تلوث هذه المسطحات وإلى تسمم الكائنات البحرية والأسماك الموجودة بها ، وينتقل السم إلى الانسان إذا تناول هذه الأسماك الملوثة ، كما تموت الطيور البحرية التي تعتمد في غذائها على الاسماك . إنه انتحار شامل وبطيء يصنعه البعض من بني البشر ، والباقي في غفلة عما يحدث حوله ، حتى إذا وصل إليه تيار التلوث أفاق وانتبه ن ولكن بعد أن يكون قد فاته الأوان .

2. مياه المجاري:-

وهي تتلوث بالصابون والمنظفات الصناعية وبعض أنواع البكتريا والميكروبات الضارة ، وعندما تنتقل مياه المجاري إلى الأنهار والبحيرات فإنها تؤدي إلى تلوثها هي الأخرى .

3. المخلفات الصناعية:-

وهي تشمل مخلفات المصانع الغذائية والكيمائية والألياف الصناعية والتي تؤدي إلى تلوث الماء بالدهون والبكتريا والاحماض والقلويات والأصباغ والنفط ومركبات البترول والكيماويات والأملاح السامة كأملاح الزئبق والزرنيخ ، وأملاح المعادن الثقيلة كالرصاص والكادميوم .

4. المفاعلات النووية:-

وهي تسبب تلوثً حرارياً للماء مما يؤثر تأثيراً ضاراً على البيئة وعلى حياتها ، مع احتمال حدوث تلوث إشعاعي لأجيال لاحقة من الإنسان وبقية .

5. المبيدات الحشرية:-

والتي ترش على المحاصيل الزراعية أو التي تستخدم في إزالة الأعشاب الضارة ، فينساب بعضها مع مياه الصرف المصارف ، كذلك تتلوث مياه الترع والقنوات التي تغسل فيها معدات الرش وآلاته ، ويؤدي ذلك إلى قتل الأسماك والكائنات البحرية كما يؤدي إلى نفوق الماشية والحيوانات التي تشرب من مياه الترع والقنوات الملوثة بهذه المبيدات ، ولعل المأساة التي حدثت في العراق عامي 1971 –1972م أو ضح دليل على ذلك حين تم استخدام نوع من المبيدات الحشرية المحتوية على الزئبق مما أدي إلى دخول حوالي 6000شخص إلى المستشفيات ، ومات منهم 500.

6. التلوث الناتج عن تسرب البترول إلى البحار المحيطات:-

وهو إما نتيجة لحوادث غرق الناقلات التي تتكرر سنوياً ، وإما نتيجة لقيام هذه الناقلات بعمليات التنظيف وغسل خزاناتها وإلقاء مياه الغسل الملوثة في عرض البحر . ومن أسباب تلوث مياه البحار أيضاً بزيت البترول تدفقه أثناء عمليات البحث والتنقيب عنه ، كما حدث في شواطئ كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية في نهاية الستينيات ، وتكون نتيجة لذلك بقعة زيت كبيرة الحجم قدر طولها بثمانمائة ميل

على مياه المحيط الهادي ، وأدى ذلك إلى موت أعداد لا تحصى من طيور البحر ومن الدلافين والأسماك والكائنات البحرية نتيجة للتلوث .

3- تلوث الأرض :-

يتلوث سطح الأرض نتيجة التراكم المواد والمخلفات الصلبة التي تنتج من المصانع والمزارع والنوادي والمنازل والمطابع والشوارع ، كما يتلوث أيضاً من مخلفات المزارع ورماد احتراقها .

4-المبيدات الحشرية :-

والتي من أشهرها مادة د .د.ت ، وبالرغم من أن هذه المبيدات تفيد في مكافحة الحشرات الضارة ، إلا أنها ذات تأثير قاتل على البكتريا الموجودة في التربة ، والتي تقوم بتحليل المواد العضوية إلى مركبات كيميائية بسيطة يمتصها النبات ، وبالتالي تقل خصوبة التربة على مر الزمن مع استمرار استخدام هذه المبيدات ، وهذه مشكلة كبرى ، وخاصة إذا أضفنا إلى ذلك المناعة التي تكتسبها الحشرات نتيجة لاستخدام هذه المبيدات والتي تؤدي إلى تواجد حشرات قوية لا تبقى ولا تذر أي نبات أخضر إذا هاجمته أو داهمته .

إن مادة الـ د .د.ت تتسرب إلى جسم الانسان خلال الغذاء الذي يأتيه من النباتات والخضروات ، وتتركز خطورة مادة الـ د .د.ت في بقائها بالتربة الزراعية لفترة طويلة من الزمن دون أن تتحلل ، ولهذا ازدادت الصيحات والنداءات بضرورة عدم استعمال هذه المادة كمبيد .

إنه لمن المؤسف أن الاتجاهات الحديثة في مكافحة الحشرات تلجأ إلى استخدام المواد الكيميائية ، ويزيد الطين بلة استخدام الطائرات في رش الغابات والنباتات والمحاصيل الزراعية . إن ذلك لا يؤدي إلى تساقط الأوراق والأزهار والأعشاب فحسب ، بل يؤدي إلى تلوث الحبوب والثمار والخضروات والتربة ، وذلك قد يؤدي إلى نوعين من التلوث :

الأول : تلوث مباشر وينتج عن الاستعمال البشري المباشر للحبوب والثمار الملوثة .

الثاني : تلوث غير مباشر وهذا له صور شتى وطرق متعددة .

1.فهو إما أن يصاب الإنسان من جراء تناوله للحوم الطيور التي تحصل على غذائها من التقاطها للحشرات الملوثة حيث تنتقل هذه المبيدات إلى الطيور وتتراكم داخلها ويزداد تركيزها مع ازدياد تناول هذه الطيور للحشرات فإذا تناولها الإنسان كانت سماً بطيئاً ، يؤدي إلى الموت كلما تراكم وازدادت كميته وساء نوعه .

2.وهو إما أن يصاب به نتيجة لتناوله للحوم الحيوانات التي تتغذى على النباتات الملوثة .

3.كما يمكن أن يصاب به نتيجة لسقوط هذه المبيدات في التربة وامتصاص النبات لها ، ودخولها في بناء خلايا النبات نفسه .

ومن أشهر المبيدات الحشرية التي تضر بصحة الإنسان تلك المحتوية على مركبات الزئبق ولقد سمي المرض الناتج عن التسمم بالزئبق بمرض (الميناماتا) وذلك نسبة إلى منطقة خليج (ميناماتا) باليابان والتي ظهر فيها هذا المرض لأول مرة عام

1953م ، وذلك كنتيجة لتلوث المياه المستخدمة في ري الأراضي الزراعية بمخلفات تحتوي على مركبات الزئبق السامة الناتجة من أحد المصانع وحتى ولو كان بكميات صغيرة على جسم الإنسان حيث ترتخي العضلات وتتلف خلايا المخ وأعضاء الجسم الأخرى ، وتفقد العين بصرها ، وقد تؤدي إلى الموت كما تؤثر على الجنين في بطن أمه

الأسمدة الكيماوية :

من المعروف أن الأسمدة المستخدمة في الزراعة تنقسم إلى نوعين :

الأسمدة العضوية :

وهي تلك الناتجة من مخلفات الحيوانات والطيور والإنسان ، ومما هو معروف علمياً أن هذه الأسمدة تزيد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء .

الأسمدة غير العضوية :

وهي التي يصنعها الإنسان من مركبات كيميائية فإنها تؤدي إلى تلوث التربة بالرغم من أن الغرض منها هو زيادة إنتاج الأراضي الزراعية ، ولقد وجد المهتمون بالزراعة في بريطانيا أن زيادة محصول الفدان الواحد في السنوات الأخيرة لا تزيد على الرغم من الزيادة الكبيرة في استعمال الأسمدة الكيميائية يؤدي إلى تغطية التربة بطبقة لا مسامية أثناء سقوط الأمطار الغزيرة ، بينما تقل احتمالات تكون هذه الطبقة في حالة الأسمدة العضوية .

بعض أساليب مكافحة تلوث الماء :

- التحول من استعمال الفحم إلى استعمال النفط .

لأن احتراق الفحم يسبب تلوثا يفوق ما ينجم عن احتراق النفط إلا أن اتخاذ مثل هذا الإجراء يهدد بإغلاق بعض الناجم وما يترتب علية من ارتفاع نسبة الأيدي العاطلة ومن ناحية أخرى فإنه يهدف إلى حماية البيئة من التلوث إلى حد كبير .

- معالجة مياه المجاري ومياه الصرف الصحي .

حيث إنه من الضروري معالجة مياه المجاري بالمدن وكذلك مياه الصرف الصحي قبل وصولها إلى المسطحات المائية وقد اتخذت خطوات متقدمة في هذا المجال في كثير من الدول المعنية ،إذ اتجه الاهتمام نحو معالجة مياه المصارف وإعادة استخدامها في ري الأراضي الزراعية وكذلك معالجة مياه المجاري بالمدن الكبرى واستخدامها في مشروعات الري .

- التخلص من النفط العائم :

يجب التخلص من النفط العائم بعد حوادث الناقلات بالحرق أو الشفط وتخزينه في السفن أعدت لهذا الغرض مع الحد من استخدام المواد الكيماوية تجنبا لإصابة الأحياء المائية والنباتية .

- الحد من التلوث مياه الصابورة :

ويمكن الحد من مياه الصابوره باتباع إحدى الطريقتين :

- قبل شحن الخزانات بمياه الصابوره تغسل جيدا ويخزن الماء الملوث في خزان خاص ليفصل الماء عن النفط ببطء وقرب موانى الشحن يفرغ الماء المنفصل في البحر ويعبأ النفط الجديد فوق ترسبات السابقة .

2- بناء أحواض في موانئ التصدير تفرغ فيها مياه الصابوره حتى يتم تصفيتها تخليصا للنفط .

- محاولة دفن النفايات المشعة في بعض أراضي الصحاري :

إذا تحاول بعض الدول الصناعية دفن النفايات المشعة في بعض الصحاري ومثل هذه المحاولات إذا تمت فإنها تهدد خزانات المياه الجوفية بالتلوث وإلى تعريض السكان لمخاطر الإشعاع النووي .

- إدخال الأجهزة المضادة للتلوث في المصانع الجديدة :

وفي الدول المتقدمة تفرض الدول على أصحاب السيارات تركيب أجهزة تخفيف التلوث وتنتج المصانع حاليا سيارات ركبت بها مثل هذه الأجهزة

وذلك بالنسبة للتلوث النووي الناجم عن خلل مفاجئ في المفاعلات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية ففي بعض الدول طالبت الهيئات المسؤولة عن سلامة البيئة والشركات صاحبة المفاعلات بوضع خطة لإجلاء السكان في دائرة قطرها 10 أميال عند الضرورة وتنفيذ مثل هذا الإجراء يبدو صعبا لارتفاع التكاليف ،وتكتفي الدول بفرض غرامة كبيرة على الشركات المسؤولة في حالة عجزها عن تنفيذ الإجراء المطلوب .

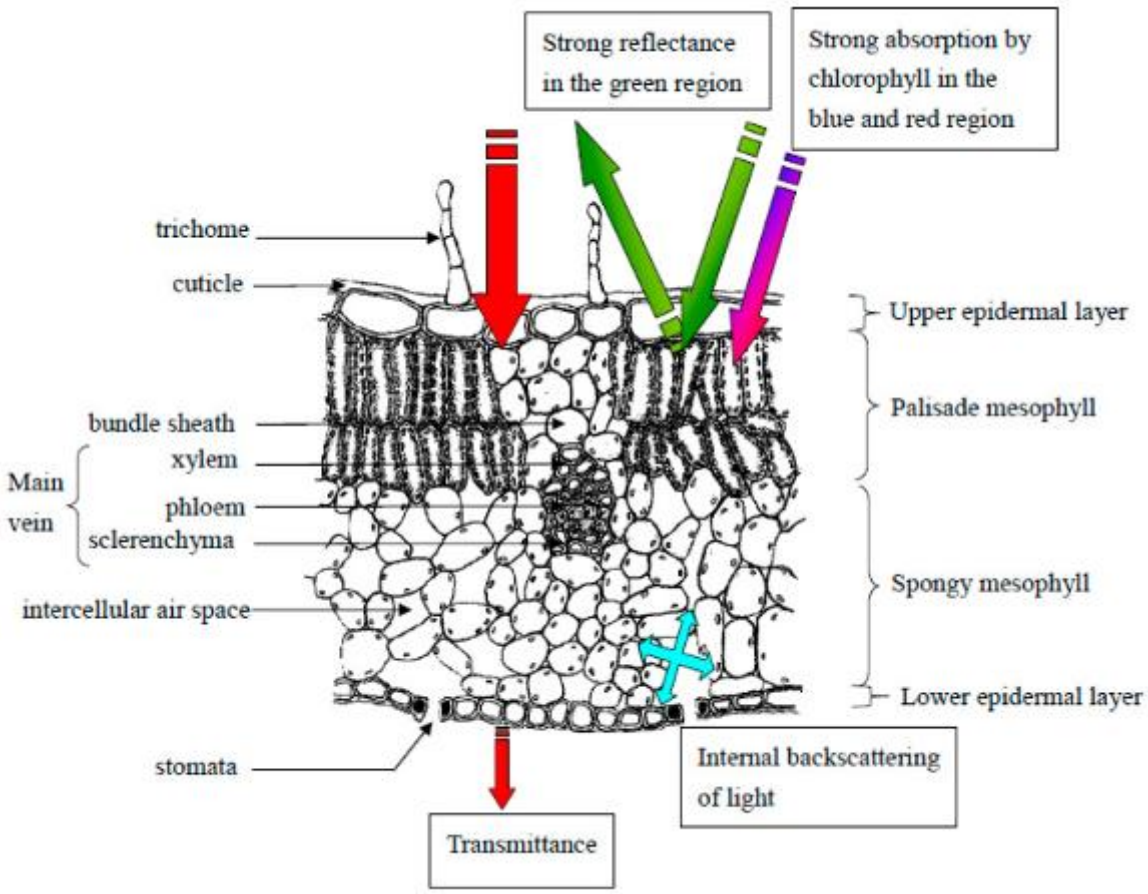
قياسات الاجهاد البيئي

- يمكن لقياس طيف الأوراق قياس سبعة ضغوط شائعة تواجهها المحاصيل.
- إن مسببات ضغوطات أوراق المحاصيل هي الجفاف، ونقص العناصر الغذائية، ودرجة الحرارة، والآفات، والأمراض، والملوحة، ومبيدات الأعشاب.
- يتم استخدام التغيرات الطيفية الناتجة عن التغيرات الفسيولوجية والتشريحية والكيميائية الناجمة عن الإجهاد في قياسها.
- هناك طرق مختلفة للتصوير منها التصوير البصري، والتصوير متعدد الأطياف، والتصوير الطيفي الفائق، والتصوير الحراري، والتفاعل الضوئي.

•

يعتمد المحصول على تراكم الكتلة الحيوية وفقدانها بسبب الضغوط الحيوية وغير الحيوية. من الضروري تجاوز مراقبة التربة لإطعام عدد متزايد من السكان وتقليل الأثر البيئي لاستخدام الكيماويات الزراعية. يمكن لأجهزة الاستشعار غير المدمرة على مستوى النبات توفير معلومات دقيقة آنيًا حول استجابة المحصول للظروف البيئية والضغوط التي لا توفرها الطرق التقليدية. يمكن لمقياس طيف الأوراق المحمول باليد توفير مزيد من التفاصيل حول الضغوط المختلفة.

لماذا يتم استخدام مطيافية الأوراق لقياس الإجهاد؟



الشكل 1: رسم مقطع عرضي لورقة نموذجية مع أنواع خلايا وطبقات مُسمّاة. شرح تفاعلات الضوء الأساسية مع طبقات الورقة. زوبلر ويون (2020

يمكن أن تستكشف تقنية التحليل الطيفي للأوراق الاستجابات الحيوية لأن العديد من الخصائص الفسيولوجية والتشريحية والكيميائية للنبات تؤثر على كيفية امتصاص الأنسجة للضوء أو عكسه أو نقله، انظر الشكل 1.

تستخدم الأدوات الطيفية المحمولة الجديدة، القائمة على التصوير أو تفاعل الضوء مع أنسجة النبات، خصائص مثل الامتصاصية، والنفاذية، والانعكاسية، والفلورية. تستخدم هذه الأدوات نطاقات موجية متنوعة، مثل الأحمر–الأخضر–الأزرق المرئي(RGB) ، والأشعة تحت الحمراء القريبة(NIR) ، والأشعة تحت الحمراء(IR) ، والأشعة فوق البنفسجية .(UV) تستخدم الأجهزة متعددة الأطياف أطوالًا موجية محددة، بينما تستخدم الأجهزة فائقة الطيف نطاقات كاملة من الأطوال الموجية لتوفير معلومات عن الإجهاد. تُدمج النماذج الكيميائية وتقنيات التعلم العميق مع التحليل الطيفي لتقدير الإجهاد.

خصائص النبات المشاركة في قياس الإجهاد هي:

- الأصباغ: يتغير إنتاج أصباغ الأوراق والكلوروفيل والكاروتينات والزانثوفيل، والتي تشارك بشكل كبير في التحليل الطيفي، بسبب الإجهاد مثل نقص المغذيات أو الضغوطات الحيوية.
- التشريح: الخصائص التشريحية للأوراق، مثل سمك البشرة، وملمس السطح، وسمك جدار الخلية، ومرونة جدار الخلية، وتحدب الخلايا البشروية، وكثافة الشعيرات تتغير بسبب الإجهاد وتؤثر على أطياف الورقة.
- الكيمياء الحيوية: تؤثر التغيرات في تركيب الأوراق من السليلوز، والهيميسليلوز، والبروتين، والسكر، والنشا، واللجنين، وتركيزاتها على التحليل الطيفي. كما تُنتج النباتات مواد كيميائية لمقاومة الإجهاد، والتي يُمكن رصدها باستخدام التحليل الطيفي.

تسمح التغييرات في الاستجابة الطيفية للأوراق بالكشف المبكر عن الإجهاد الذي تتعرض له المحاصيل بسبب نقص العناصر الغذائية، ودرجة الحرارة، والمياه، والآفات، والأمراض، والملح، ومبيدات الأعشاب.

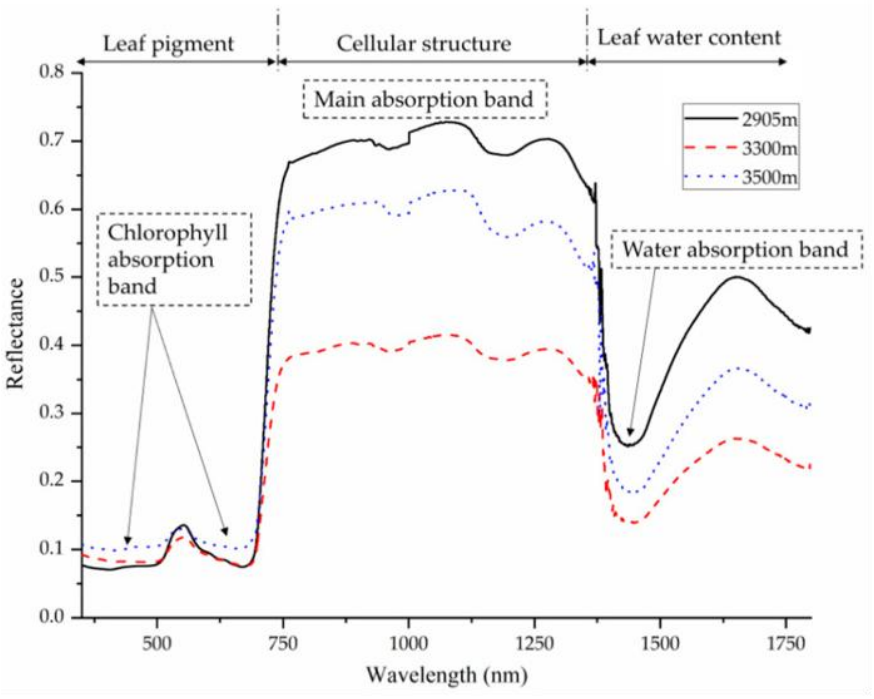
1. نقص المغذيات والإجهاد

من الممكن الكشف عن نقص العناصر الغذائية الكبرى، مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم، والصغرى، مثل الزنك والحديد والمنغنيز. جميع حالات نقص العناصر الكبرى والصغرى تُقلل من تركيز الكلوروفيل، وامتصاص الأوراق، ونفاذية الضوء، مما يؤدي إلى زيادة انعكاس الضوء في الطيف المرئي، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة تحت الحمراء القريبة. كما يُستخدم فلورسنت الكلوروفيل لقياس نقص العناصر الغذائية.

أظهرت دراسة على القمح أن الحافة الحمراء، الناتجة عن امتصاص الكلوروفيل للون الأحمر وانعكاسه في الأشعة تحت الحمراء، تتغير تبعًا للعنصر. ينخفض الانعكاس في منطقة الأشعة تحت الحمراء عند الزراعة بسبب تدمير بنية الورقة بسبب الإجهاد.

ومع ذلك، قد يكون لمكان زراعة المحاصيل تأثيرٌ أيضًا. يُسبب نقص النيتروجين والمغنيسيوم في حقول القمح تحولًا نحو 33% و25% في النطاق المرئي، و86% و53% في طيف الأشعة تحت الحمراء، على التوالي. في الظروف الداخلية، أظهر القمح زيادةً في انعكاسية نقص النيتروجين والمغنيسيوم بنسبة 97% و25% في النطاق المرئي، و20% و30% في طيف الأشعة تحت الحمراء، على التوالي.

لذا، ستؤثر بيئة النمو والأنواع على التغيرات الطيفية الناتجة عن نقص العناصر الغذائية. كما أن معالجة البيانات باستخدام القياسات الكيميائية ضرورية نظرًا لتداخل الأطياف الناتجة عن نقص كل عنصر.



الشكل 2: "أطياف الانعكاس لأوراق البلوط المائي على ارتفاعات مختلفة. تُظهر منحنيات انعكاس الغطاء النباتي، بشكل عام، هذا النمط عادةً، مع انخفاض الانعكاس في المنطقة المرئية (بتأثير أصباغ الأوراق)، و"حافة حمراء" تربط المنطقة المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة(NIR) ، وارتفاع الانعكاس في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة (بتأثير بنية الخلية). بعد 1300 نانومتر، تتأثر خصائص الانعكاس بشكل رئيسي بمحتوى الماء في الأوراق" زوبلر ويون (2020) .(حقوق الصورة: /bios10120193).10.3390

2. إجهاد الماء في الأوراق

يُعدّ الإجهاد المائي للأوراق، الناتج عن نقص مياه التربة، أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على عملية التمثيل الضوئي وإنتاجية النبات. يساعد التنبؤ المبكر بالإجهاد المائي للأوراق على توفير الري قبل أن يؤثر الإجهاد المائي بشكل كبير على النبات. عندما تتعرض الأوراق للإجهاد المائي، ترتخي الخلايا الحارسة وتُغلق الثغور، التي يخرج من خلالها بخار الماء. ومع ذلك، فإن الثغور هي الفتحة التي يدخل من خلالها ثاني أكسيد الكربون المثبت في عملية التمثيل الضوئي إلى الأوراق، وبالتالي فإن انخفاض موصلية الثغور يُقلل من عملية التمثيل الضوئي. كما يُستخدم محتوى الماء في الأوراق لتوجيه عملية إضافة الأسمدة.

تُعدّ أطوال الموجات المرئية، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة تحت الحمراء القريبة مفيدةً في تحديد مستوى الإجهاد المائي في الأوراق. يمتص الماء الضوء في منطقة الأشعة تحت الحمراء، ويُستخدم هذا التفاعل في مؤشرات الإجهاد المائي لتحديد محتوى الأوراق المائي، انظر الشكل 2. كما تتغير مرونة جدار الخلية، وفي بعض الحالات، يزداد سمك البشرة بسبب الإجهاد الناتج عن الجفاف، مما يُغيّر أيضًا انعكاسية الأوراق. لذلك، يختلف الطول الموجي الدقيق للكشف عن الجفاف باختلاف الأنواع؛ على سبيل المثال، يتراوح بين 500 و850 نانومتر للذرة، و430 و890 نانومتر للشعير، و400 و980 نانومتر للطماطم. تُعد النماذج غير الخطية أكثر نجاحًا من النماذج الخطية في تحليل محتوى الأوراق المائي. ونظرًا لوجود مرونة وراثية، فإن التحليل الطيفي يختار الصنف الذي يحافظ على محتوى أوراقه المائي الأعلى أثناء تربية محاصيل مقاومة للجفاف.

3. الإجهاد الحراري

قد تتأثر النباتات بدرجات حرارة منخفضة أو إجهاد البرد، وكذلك بدرجات حرارة مرتفعة أو إجهاد حراري. التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء هو المعيار لقياس درجة حرارة غطاء النبات.

بسبب الإجهاد البارد، تُنتج النباتات أنواع الأكسجين التفاعلية(ROS) ، مثل بيروكسيد الهيدروجين. وتستجيب النباتات لذلك بإعطاء الأولوية لتراكم مضادات الأكسدة والإنزيمات لتقليل هذه الأنواع على حساب محتوى الماء. لذا، يؤدي الإجهاد البارد إلى انخفاض محتوى الماء في الأوراق، وهو ما يُمكن رصده من خلال تغيرات أطياف الأشعة تحت الحمراء. لذلك، تستجيب العديد من الأشجار لدرجات الحرارة الباردة كما تستجيب للجفاف، حيث يزيد سمك البشرة، وينخفض محتوى الماء في الأوراق.

محاصيل مثل القمح حساسة لدرجات الحرارة المرتفعة، ومن المتوقع أن يؤدي ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة إلى خسارة 6% في المحصول العالمي. في حين أن مرحلة النمو التي يحدث فيها الإجهاد الحراري بالغة الأهمية، إلا أن التعرض ليوم واحد فقط من الإجهاد الحراري قد يؤثر على إنتاجية النبات . فالحرارة الزائدة تقلل من محتوى الماء في الأوراق. ومع ذلك، حتى الحرارة المعتدلة تُغير الاستجابة الطيفية للمنطقة تحت الحمراء عن طريق تغيير التركيب الحيوي للنباتات، وذلك بتغيير مستويات السكريات المتعددة والدهون والهيميسليلوز واللجنين والبكتين. توجد مركبات مثل البكتين واللجنين في جدران الخلايا، وقد تؤثر على مسامية جدار الخلية.

4. إجهاد الآفات

تُستخدم المواد الكيميائية التي تُنتجها النباتات استجابةً بيولوجية لهجمات الآفات لقياس إجهاد الآفات. تُساعد الأدوات المحمولة القائمة على التحليل الطيفي في تحديد ورصد الإجهاد قبل ظهور أعراض مرئية على المحاصيل، مثل الآفات.

إذا استُخدم الكشف المبكر كجزء من الإدارة المتكاملة للآفات، فيمكن أن يُساعد في اتخاذ القرارات اللازمة للقضاء على الآفات قبل أن تزداد أعدادها بشكل حاد. يُعدّ التحليل الطيفي للأوراق أداةً حيويةً للتعامل مع الآفات التي طورت مقاومةً للمبيدات، مثل ديدان جذور الذرة، دون استخدام المواد الكيميائية.

تتسبب الآفات والأمراض في خسارة عالمية تتراوح بين 20 و30 في المائة من غلة المحاصيل سنويًا، ويمكن أن يؤدي تقليل هذه الخسائر إلى تحسين الأمن الغذائي دون الحاجة إلى التزامات إضافية بالأرض أو الموارد.

5. إجهاد المرض

التصوير فائق الطيف ومتعدد الأطياف، بالإضافة إلى مطيافية الفلورسنت، هي أفضل طرق قياس إجهاد المرض. جميع الأمراض تُقلل من الكلوروفيل وتُغير فلورسنتها عند طولي موجيين 686 و735 نانومتر.

كما يُمكن استخدام التغيرات في فلورسنت المركبات الفينولية عند طول موجي 530 نانومتر للكشف عن إجهاد المرض.

هناك نهج آخر يتمثل في تحديد الأطوال الموجية المحددة المرتبطة بكل مرض نباتي. ومع ذلك، يُتوقع وجود اختلافات طفيفة في الأطوال الموجية اللازمة لتحديد نفس العامل الممرض في محاصيل مختلفة. على سبيل المثال، يتطلب الكشف عن مرض البياض الدقيقي في القمح نطاقًا يتراوح بين 350 و1350 نانومترًا، ونطاقًا يتراوح بين 400 و1000 نانومترًا في الشعير باستخدام التصوير الطيفي الفائق.

هناك طريقة ثالثة وغير مباشرة للكشف عن إجهاد مسببات الأمراض، وهي تقدير التغيرات في الأطياف الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة. عندما تدخل مسببات الأمراض، مثل البكتيريا أو الفيروسات، إلى الثغور، تتعرف الأوراق على الأنماط الجزيئية المرتبطة بالميكروبات، وتُقلل من توصيلية الثغور. يُعد النتح وسيلة لتنظيم درجة حرارة الأوراق، ويؤدي إغلاق الثغور إلى زيادة درجة حرارة الأوراق، وهو ما يمكن للأطوال الموجية تحت الحمراء رصده.

في الوقت الحاضر، أصبح من الممكن أيضًا تحديد عوامل الإجهاد التي تحدث في وقت واحد والتمييز بينها. في حال حدوث مرض ونقص في العناصر الغذائية في النبات نفسه، يُمكن استخدام الفلورسنت الأخضر والأزرق والأصفر، بالإضافة إلى الأطوال الموجية الحمراء والأشعة تحت الحمراء، لتحديد عوامل الإجهاد. على سبيل المثال، تم تحديد الإصابة بالعفن البودري وصدأ الأوراق حتى في النباتات التي تعاني من نقص النيتروجين.

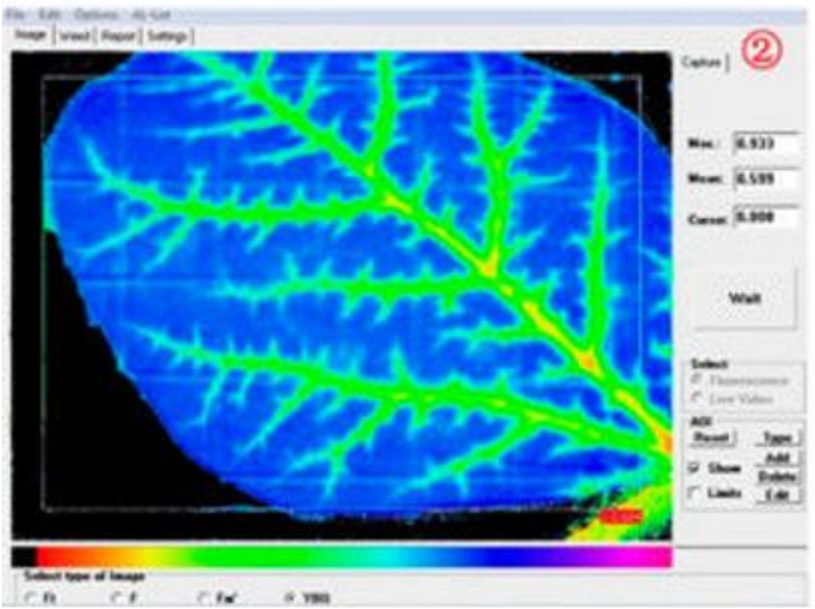
6. إجهاد الملح

تؤثر الملوحة على ما يقرب من 20% من الأراضي الصالحة للزراعة، وتُقلل من نمو النباتات وإنتاجيتها. لذا، لا بد من تطوير أصناف جديدة قادرة على النمو في هذه البيئة المتغيرة. وبدلاً من الطرق التقليدية، يُستخدم التحليل الطيفي للأوراق لتحديد النمط الظاهري للصفات المقاومة للملوحة، وذلك لتقييم المعايير المورفولوجية والكيميائية الحيوية والفسيولوجية. ويمكن للتصوير الطيفي الفائق معالجة كميات هائلة من البيانات، مدعومة بتحليلات البيانات.

يُغيّر الإجهاد الملحي البصمات الطيفية عن طريق إتلاف خلايا النسيج المتوسط في الأوراق، وتغيير التركيب الحيوي لجدار الخلية من حيث عديدات السكاريد والليجنين. يؤدي تشبع الأوراق بالملوحة لعدة أيام إلى ازدياد لونها بسبب تراكم الكلوروفيل، وهو ما يسهل رصده من خلال تحليل الصبغات باستخدام

التحليل الطيفي. يمكن رصد التغيرات في محتوى الكلوروفيل والكاروتينويد والماء في نطاق 380–1030 نانومتر. ينخفض محتوى الماء في الأوراق مع تراكم الماء في التربة ذات المحتوى الملحي العالي.

تؤدي الملوحة إلى تقليل معدل التمثيل الضوئي ، يليه شيخوخة الأوراق وانخفاض الوزن الطازج، والذي يمكن قياسه باستخدام التحليل الطيفي.



الشكل 3: "تمثل البكسلات البنفسجية والزرقاء مساحة الورقة ذات قيم Fv/Fm أعلى، بينما تمثل البكسلات الحمراء مساحة الورقة ذات قيم Fv/Fm أقل. يمثل اللون الأزرق قيم Fv/Fm عالية وأنسجة سليمة، بينما يمثل اللونان الأصفر والأحمر البكسلات ذات قيم Fv/Fm منخفضة وتلف النبات الذي اكتشفه مستشعر فلورسنت الكلوروفيل الميداني." لي وآخرون، 2018) .حقوق الصورة : https://doi.org/10.3390/s18010021)

7. إجهاد مبيدات الأعشاب

مكافحة الأعشاب الضارة باستخدام مبيدات الأعشاب الكيميائية قبل وبعد الإنبات إجراءٌ أساسي. استخدام مبيدات الأعشاب أثناء هطول الأمطار، وانخفاض درجات الحرارة، وظروف التربة غير المواتية، وعدم اختيار التوقيت المناسب والجرعات والخلطات المناسبة قد يضر بالمحاصيل. قد يؤدي ذلك إلى تأخير نمو المحاصيل، وإتلافها، وفي النهاية إلى انخفاض الغلة.

يبحث المزارعون عن أعراض بصرية للتحقق من آثار مبيدات الأعشاب. ومع ذلك، يُمكن لفلورسنت الكلوروفيل الكشف عن إجهاد مبيدات الأعشاب قبل أن يتفاقم، مما يُمكّن المزارعين من تعديل الجرعة والمواد الكيميائية. بعد الاستخدام بفترة وجيزة، تُقلل مبيدات الأعشاب من تفاعلات الضوء في الأنظمة الضوئية، ويُمكن أن يُشير اختلاف فلورسنت الكلوروفيل إلى إجهاد مبيدات الأعشاب، كما هو موضح في الشكل 3.

قياس الإجهاد في الحقل باستخدام مطيافية الأوراق

يُعدّ استخدام مطيافية الأوراق عن بُعد في الزراعة الدقيقة أمرًا شائعًا. في الوقت الحاضر، أصبحت الكاميرات أو أجهزة قياس الطيف الرقمية والحرارية ومتعددة الأطياف وفائقة الطيف مُصغّرة الحجم، وأكثر فعالية من حيث التكلفة ودقة، كما تُوفّر خيارًا سريعًا للكشف عن الإجهاد الحقلي. يُعدّ مطياف الأوراق CI-710s SpectraVue، من شركة CID Bio Science Inc.، إحدى الأدوات التي يعتمد عليها المزارعون والعلماء لقياس إجهاد الأوراق بسرعة وبطريقة غير مُدمّرة. يُقدّر هذا الجهاز نفاذية الضوء وامتصاصه وانعكاسه، ويستخدم مؤشرات مُدمجة لتحليل الصبغات والمغذيات. ستكون أجهزة قياس الطيف المحمولة للأوراق قيّمة في تقليل خسائر غلة المحاصيل، كحل مستدام وفوري وعملي لضمان الأمن الغذائي دون الإضرار بالبيئة.

مقايس الجفاف

أولا: محتوى الماء النسبي في الورقة(RWC)

يُعد محتوى الماء النسبي (RWC) على الأرجح أكثر المقاييس ملاءمةً لحالة الماء في النبات من حيث العواقب الفسيولوجية لنقص الماء على مستوى الخلايا. يعتبر جهد الماء تقديرًا لحالة الطاقة في ماء النبات، ويُستخدم عند التعامل مع حركة الماء في سلسلة التربة–النبات–الغلاف الجوي. ومع ذلك، فإنه لا يأخذ في الاعتبار التكيف الإسموزي .(OA) ويُعد التكيف الإسموزي آلية قوية للحفاظ على ترطيب الخلية أثناء التعرض للإجهاد الناتج عن الجفاف، ويعكس RWC أيضًا تأثير التكيف الإسموزي في هذا السياق. عند نفس جهد ماء الورقة، يمكن أن يكون لصنفين مختلفين من النباتات قيم مختلفة لـRWC، مما يدل على وجود اختلاف في ترطيب الورقة، ونقص الماء، والحالة المائية الفسيولوجية. وبالتالي، فإن RWCهو تقدير مناسب لحالة الماء في النبات من حيث ترطيب الخلايا في ظل التأثير المحتمل لكل من جهد ماء الورقة و.OA

تم استخدام هذه الطريقة منذ فترة طويلة، حتى قبل إعادة تقييمهاBarrs and Weatherley) ، 1962(، عندما كانت تُعرف بـ "الانتفاخ النسبي". وقد ازدادت أهميتها مع مرور الوقت واكتساب الخبرة. يمكن العثور على أمثلة لاستخدامات RWC في أبحاث فسيولوجية وكذلك في الأبحاث الوراثية ضمن قاعدة البيانات المرجعية باستخدام أرقام الهوية 1903، 2181، 3418، 3813، 3883، 3940، و4793. كما أن البحث عن الكلمة المفتاحية "RWC" سيُظهر العديد من الدراسات الحديثة التي استخدمت هذا المقياس.

تُعد الطريقة بسيطة، وهي ميزة إضافية. فهي تُقدِّر محتوى الماء الحالي في نسيج الورقة المُختَبر نسبةً إلى أقصى كمية ماء يمكن أن يحتفظ بها عند التشبّع الكامل. وتتراوح القيم الطبيعية لـ RWCما بين 98٪ في الأوراق المتشبعة بالكامل إلى حوالي 30–40٪ في الأوراق الجافة والمحتضرة، وذلك حسب نوع النبات. في معظم المحاصيل، تكون قيمة RWC عند بداية الذبول عادةً حوالي 60٪ إلى 70٪، مع بعض الاستثناءات.

البروتوكول

جميع مكونات علاقة الماء في الأوراق تتغير على مدار اليوم مع تغيّر شدة الإشعاع ودرجة الحرارة. وخلال ساعتين بعد الظهيرة الشمسية تقريبًا، يكون التغير في RWC ضئيلًا، وهذه هي "نافذة الوقت" المناسبة لأخذ عينات الأوراق، ما لم يكن الهدف هو تتبع منحنى يومي لـ.RWC

عادةً، يتم أخذ 4 إلى 6 عينات (مكررات) من معاملة واحدة أو من صنف نباتي معين. ويفضل أن تمثل كل عينة نباتًا مختلفًا إن أمكن. تُجمع الأوراق العلوية كاملة النمو، ما لم يكن الهدف دراسة أوراق مختلفة على النبات. في النباتات ذات الأوراق العريضة (مثل دوّار الشمس، والقطن)، يتم قطع أقراص ورقية بمساحة إجمالية حوالي 5–10 سم² لكل عينة. لا يشترط أن تكون أحجام العينات متطابقة. ويُفضّل تجنب الأوردة الكبيرة. يجب أن يكون قرص الورقة كبيرًا بما يكفي (حوالي 1.5 سم قطرًا) لتقليل نسبة السطح المقطوع. صممت بعض المختبرات أدوات خاصة لقص الأوراق وقد تتوفر تجاريًا. بديلًا عن ذلك يمكن استخدام أداة قطع حادة على قطعة من المطاط الكثيف. ومن المهم أن تتم عملية الجمع بسرعة. في النباتات الصغيرة المركبة الأوراق (مثل الفول السوداني، البرسيم، الحمص)، تُستخدم عدة وريقات لعينة واحدة. في الحبوب، يمكن أخذ جزء من منتصف الورقة بمساحة 5–10 سم² باستخدام مقص. أما في الأوراق الأكبر (كالذرة الرفيعة والذرة الشامية)، فيمكن قطع شريحة حوالي 1×7 سم من المنطقة الواقعة بين العرق الوسطي وحافة الورقة.

توضع كل عينة في قارورة محكمة الإغلاق (ويُفضل أن تكون قابلة للتسخين) وموزونة مسبقًا. في حالة أوراق الحبوب، يجب أن توضع العينة بوضع مستقيم في القارورة بحيث يكون الطرف القاعدي للأسفل. تُوضع القوارير فورًا في مبرد متنقل بدرجة حرارة 10–15 °C دون أن تُجمَّد. ويجب إيصال العينات للمختبر بأسرع وقت ممكن، لذلك من الضروري تنفيذ الجمع بسرعة وبمساعدة عدد كافٍ من الأشخاص.

في المختبر، يتم وزن القوارير للحصول على وزن العينة الطازجة(W) ، ثم تُرطّب العينة للوصول إلى التشبّع الكامل لمدة 3–4 ساعات تحت إضاءة وحرارة الغرفة العادية. ويفضل البعض ترطيب العينات في رف سفلي لثلاجة المختبر) حوالي 10 .(°C تُرطّب أقراص الأوراق والوريقات الصغيرة عن طريق تعويمها على ماء منزوع الأيونات في طبق بتري مغلق. في حالة الحبوب، يُضاف ماء إلى القارورة إلى ارتفاع 1–2 سم ثم تُغلق. أظهرت أبحاث Arndt وآخرون (2015) أن تعويم الأقراص الورقية قد يُسبب أخطاء في تقدير RWC نتيجة دخول مفرط للماء إلى الفراغات بين الخلايا .(apoplastic water) لذلك يُفضل ترطيب العينات عبر عنق الورقة أو كما هو موصوف أعلاه لعينة أوراق الحبوب لتقليل الخطأ.

بعد الترطيب، تُجفف العينات من الرطوبة السطحية بسرعة وخفة باستخدام ورق ترشيح أو مناديل، ثم تُوزن فورًا للحصول على الوزن عند التشبّع الكامل .(TW) بعد ذلك، تُجفف العينات في فرن بدرجة حرارة 80 °C لمدة 24 ساعة، ثم تُوزن بعد أن تبرد داخل مجفف (desiccator) للحصول على الوزن الجاف .(DW)جميع الأوزان تُسجل بدقة تصل إلى أقرب ميليغرام. ويتم الحساب كالتالي:

الصيغة الحسابية:

$$\mathbf{RWC\ (\%) = [(W - DW) / (TW - DW)] \times 100}$$

حيث:

- **W** = الوزن الطازج للعينة
- **TW** = الوزن عند التشبّع الكامل
- **DW** = الوزن الجاف

مع العمل الجيد والدقيق، يجب أن ينتج عن الطريقة فرق إحصائي معنوي في RWC يتراوح عادةً بين 2٪ إلى 3٪ بين المعاملات المختلفة.