الباب الثانى والعشرون
مقاومة الضغوط على النبات
Stress Resistance

يمكن أن يتعرض الإنسان لظروف قاسية فيصبح غير طبيعى بدرجة بسيطة أو متوسطة أو كبيرة تبعاً لنوع الظروف وشدتها فيوصف هذا الإنسان أنه مضغوط عليه أو أنه تحت ضغط. نفس الشئ بالنسبة للنبات فكثيرا ما يتعرض النبات لظروف غير طبيعية تختلف فى درجة قسوتها وشدتها وتوثر عليه وفى هذه الحالة يوصف النبات بأنه تحت ضغط .

توجد حالات وأنواع كثيرة من الضغط يتعرض لها النبات وأهمها ما يأتى :

١ – ضغوط بيئية environmental stresses :

وهى ضغوط نتيجة لوجود عوامل بيئية غير ملائمة منها درجة الحرارة والرطوبة والإشعاع والغازات والجفاف وتركيز الأملاح.

٢ – ضغوط مرضية plant disease stresses :

وهى ضغوط نتيجة أصابة النبات ببعض مسببات أمراض النبات.

٣ – ضغوط ميكانيكية mechanical stresses:

وهى ضغوط نتيجة لعوامل ميكانيكية مثل الجروح الناتجة عن الرياح والأعاصير فالعمليات الزراعية وتغذية الحشرات والأكاروس والفيران آلخ.

الضغوط البيئية Environmental Stresses

من المعروف أن النمو والتكاثر فى النبات هى صفات وراثية ولذلك فأنها تخضع أيضا للعوامل البيئية. حيث أن أى صفة وراثية فى النبات يتحكم فيها نوعين من العوامل وهما العوامل الوراثية والعوامل البيئية. ولذلك فأن العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة والأشعاع والعناصر المغذية والغازات وماء الرى وغيرها تؤثر بدرجة كبيرة على نمو وتكاثر النبات أيجابيا أو سلبيا تبعا لدرجتها أو نوعها أو تركيزها. يمكن أيضا أن توثر هذه العوامل بدرجة شديدة على النبات فتسبب له ضرر أو حتى موت.

وفى قوانين الطبيعة فأن القوة force ينتج عنها قوة مضادة counter force فى النبات وهذه الأخيرة هى عبارة عن الضغط على النبات stress .

ويمكن شرح ما سبق بتعبير آخر هى أن لكل فعل رد فعل مساو له فى القوة ومضاد له فى الأتجاه، ولكن فى حالة النبات فأن رد الفعل قد يكون غير مساو فى القوة للفعل أو فى الأتجاه، ولكن فى النبات يكون لكل فعل (الظروف البيئية الغير ملائمة) رد فعل وهذا الأخير أى رد فعل النبات هو عبارة عن الضغط stress أى أن النبات مضغوط كما يمكن أن يكون الإنسان مضغوط. يمكن قياس الضغط stress كميا وذلك بقياس مقدار القوة لكل وحدة مساحة the force per unit area وهكذا يمكن حساب أبعاد الضغط من حيث شدته ومساحة التأثير نتيجة للضغط stress تحدث تغيرات غير طبيعية فى النبات undergoes a strain مثل زيادة فى الطول أو القصر أو التغير فى الحجم أو المساحة آلخ. يمكن أن تكون التغيرات الغير طبيعية strain غير عكسية elastic أو تكون عكسية . ومن وجهة النظر الفسيولوجية فأن الضغط stress عبارة عن قوة ضارة للنبات أو ضغط pressure يؤثر على النبات وذلك يؤدى إلى تغيرات غير طبيعية عكسية أو غير عكسية.

In the physiological sense, a stress is a potentially injurious force or pressure acting on the plant that may lead to a reversible strain or to on irreversible strain (injury or death).

حيث أن النبات معرض دائما للضغوط نتيجة للظروف البيئية القاسية فأنه لكى ينجو من هذه الضغوط لابد وأن يتأقلم معها، وتسمى عملية التأقلم باللغة الأنجليزية adaptation.

يوجد نوعين من التأقلم وهما :

١- التأقلم فى نطاق قدرة النبات Capacity adaptation : وهو تأقلم النبات على المعيشة والنمو والتكاثر فى ظروف بيئية قاسية تسبب ضرر للنبات حيث أنها تسبب نمو غير طبيعى ومعيشة غير طبيعية للنبات العادى الغير متأقلم ومنها درجة حرارة صغرى minimum أو درجة حرارة عظمى maximum. حيث أن درجة الحرارة الصغرى أو العظمى للنبات الغير متأقلم تؤثر على نموه وتكاثره أما فى النبات المتأقلم فأنها لا تؤثر أطلاقا أو تؤثر تأثير طفيف. قد يحدث فى هذه الحالة موت للنباتات الغير متأقلمة ولكن بعد فترة زمنية طويلة جدا كافية لحدوث تغيرات جوهرية فى عمليات التحول الغذائى فى النبات.

٢- **التأقلم المقاوم** Resistance adaptation : وهو تأقلم النبات على المعيشة والنمو والتكاثر فى بيئة تسبب موت النباتات العادية أى الغير متأقلمة. وفى هذه الحالة يكون تأثير الضغط مباشر وسريع.

تم دراسة النوع الأول من التأقلم بالتفصيل فى الحيوان بينما تم دراسة النوع الثانى بالتفصيل فى النبات ولذلك سيتم شرح النوع الثانى بالتفصيل. توجد حالات عديدة من الضغوط البيئية وكل حالة لها نوعها من التغيرات الغير طبيعية الغير عكسية عادة.

١- **ضغط الحرارة** Temperature Stress

توجد أنواع عديدة من ضغوط الحرارة وهى ما يأتى :

أ - تموت كثير من النباتات فى المناطق الباردة أو القارصة البرودة نتيجة لإنخفاض درجة الحرارة تحت الصفر وحدوث التجمد. وحتى النباتات الساكنة فى الشتاء يمكن أن تتأثر بالضرر ويسمى الضرر فى هذه الحالة freezing or frost injury .

ب - بعض النباتات وخاصة فى المناطق الأستوائية يمكن أن تتأثر بالضرر أو تموت عندما تكون درجة الحرارة أعلى بقليل من درجة حرارة التجمد وتسمى ضرر البرودة chilling injury .

جـ - درجة الحرارة المرتفعة نسبيا بالنسبة لكل نوع من النبات قد تسبب ضرر للنبات يسمى ضرر الحرارة heat injury .

٢- **ضغط الرطوبة** Moisture Stress

تسبب زيادة الرطوبة ضرر أو موت للنباتات ويكون ذلك نتيجة لنقص الأوكسجين ويسمى ذلك ضرر الغمر flooding injury وحيث أن غمر الجذور بالماء لمدة طويلة يسبب موت النباتات. تسبب نقص الرطوبة أى نقص ماء الرى ضرر للنبات يسمى ضرر الجفاف drought injury .

٣- **ضغط الأشعاع** Radiation Stress

قليل ما تسبب أشعة الشمس العادية ضرر للنبات ولكن أحيانا تسبب ضرر للنبات وأحتراق لبعض أجزاؤه ويسمى ضرر الشمس sun injury .

٤- **ضغط الملح** Salt Stress

يحدث ضغط الملح نتيجة لوجود تركيزات عالية من كثير من الأملاح مثل أملاح الكالسيوم

وأملاح الصوديوم. وتعتبر أملاح الصوديوم هامة فى هذا الصدد حيث توجد كثير من الأراضى ملحية ومنها الأراضى فى مصر. تسمى التربة التى فيها الملح بتركيز عال أى كلوريد الصوديوم بتركيز عال تربة ملحية saline soil تسمى النباتات التى تتحمل الملوحة العالية halophytes.

٥- ضغط الغاز Gas Stress

نتيجة لأنتشار المصانع فى كثير من المناطق فأن الجو يصبح ملوث بالغازات الضارة للإنسان والحيوان والنبات. تسبب هذه الغازات ضغط على النبات وضرر له.

أنواع المقاومة للضغوط Kinds of Stress Resistance

بالرغم من وجود حالات وأنواع عديدة من الضغوط فأنه يوجد نوعين فقط لمقاومة الضغوط وهما :

١- أستبعاد وأستئصال الضغط من أنسجة النبات وتسمى هذه الحالة تلافى الضغط stress avoidance.

٢- يمكن للنبات أن يعيش بالرغم من حدوث وتأثير الضغط على أنسجته وتسمى هذه الحالة تحمل الضغط stress tolerance كما تسمى أيضا بالتقسية hardiness.

ولذلك فأن الكائنات التى تتلافى ضغط البرودة cold - avoiding organism تظل محتفظة بحراراتها المتوسطة بالرغم من أنخفاض درجة الحرارة بدرجة كبيرة. أما الكائنات التى تتحمل ضغط البرودة cold - tolerant organism فأنها تنخفض درجة حرارتها وتصبح مماثلة لدرجة حرارة الجو المنخفضة ولكنها لا تتأثر تأثير ضار بالبرودة وتعتبر نباتات متحملة للبرودة. وفيما يلى جدول يوضح الفرق بين تلافى الضغط وتحمل الضغط بالنسبة للعوامل المختلفة (جدول ٢٧).

(جدول٢٧) : يوضح أنواع مختلفة لمقاومة الضغط

ضغط بيئى	نوع مقاومة الضغط على النبات	
	تلافـــى	تحمـــــل
ضرر البرودة	دفء	برودة
ضرر التجمد – ضرر الصقيع	غير متجمد	متجمد
ضرر الحرارة المرتفعة	بارد	ساخن
ضرر الجفاف drought	ضغط بخارى عال	ضغط بخارى منخفض
ضرر الاشعاع	أمتصاص منخفض للأشعة	أمتصاص عال للأشعة
ضرر الملح (الملوحة)	تركيز ملح منخفض	تركيز ملح مرتفع
ضرر الغمر flooding	تركيز عال للأوكسجين	تركيز منخفض للأوكسجين

وجد أيضا أن معظم مقاومة النباتات لضغط الصقيع أى ضرر الصقيع هو من نوع المتحمل وأيضا نفس الشئ بالنسبة لضرر الحرارة العالية والعكس صحيح فى حالة ضرر الجفاف حيث أن الغالبية تكون من نوع تلافى الضرر وليست تحمله.

ضرر الصقيع (التجمد) ومقاومته

Frost (Freezing) Injury and Resistance

يمكن أن يعيش بروتوبلازم النبات حتى درجة صفر مئوية بشرط عدم تكون ثلج فى أنسجة النبات. حيث أنه لا يوجد نبات يمكن أن يعيش عند تكون بلورات ثلج يمكن رؤيتها بالميكروسكوب فى داخل خلاياه الحية. يمكن للنبات أن يعيش عند تكون بلورات ثلج صغيرة جدا لا يمكن رؤيتها بالمجهر العادى ولكن يمكن الأستدلال على وجودها بأشعة X . يمكن للنبات أن يعيش فى وجود بلورات ثلج فى المسافات البينية أى بين الخلايا الحية وفى هذه الحالة يسمى النبات متحمل لضرر الصقيع frost injury tolerance . ولذلك فأن جميع حالات مقاومة ضرر الصقيع عادة تكون حالات مقاومة من نوع المتحملة tolerant وليست من نوع التلافى avoidance حيث أن النباتات فى درجات حرارة منخفضة بشدة تحت للصفر لابد أن

يحدث لها تجمد freezing فعلا ولذلك تكون المقاومة فى هذه الحالة من نوع المتحملة.

حيث أن التجمد الذى يحدث للماء خارج الخلايا أى فى المسافات البينية بين الخلايا يسبب سحب الماء من الخلايا تدريجيا ولذلك فأن الخلية تصبح تدريجياً أكثر جفافاً أى أقل فى كمية الماء وذلك بزيادة الإنخفاض فى درجة الحرارة وخاصة تحت الصفر. ولكن فى كثير من النباتات لا يحدث ذلك إلا عندما تتراوح درجة الحرارة بين −٢٠ إلى −٣٠ مئوية وفى هذه الحالة يتم أزالة ٩٥٪ من ماء الخلايا وإذا لم تقاوم الخلايا هذا الإنخفاض الشديد فى جفاف الخلايا فأنها تموت. ولذلك عند حدوث تجمد للماء فى المسافات البينية خارج الخلايا وتكوين بلورات الثلج فأن أى ضرر للخلايا هو نتيجة لجفاف الخلايا. وفى حالة تجمد تقريباً جميع ماء الخلية عند حوالى −٣٠ مئوية بدون ضرر فأنها يمكن أن تقاوم الغمر فى هواء سائل liquid air وأيضاً نيتروجين سائل ولذلك فأنها يمكن أن تعيش على درجة صفر مطلقة absolute.

تختلف درجة المقاومة للصقيع بأختلاف الموسم ومثال ذلك أن النباتات التى تقاوم درجة الحرارة المنخفضة عند −٥٠ درجة مئوية أثناء منتصف الشتاء وحتى −١٩٠ درجة مئوية فى ظروف صناعية غير طبيعية فأنها تموت عند −٥ درجة مئوية فى الربيع المبكر. تفسير ذلك أن أثناء الخريف يحدث تقسية hardening للنبات وكلما حدث ذلك ببطء كلما كانت درجة التجمد أو التقسيةكبيرة وحتى نصل إلى النهاية العظمى لذلك فى منتصف الشتاء ثم يحدث عكس التقسية dehardens ببطء حتى الوصول إلى النهاية الصغرى فى الربيع. يمكن عمل التقسية أى أستحثاث حدوثها وذلك بالتعريض لدرجة حرارة منخفضة تتراوح من صفر إلى ٥ درجة مئوية أما عكس التقسية بالتعريض لدرجة حرارة أعلى من ١٠ مئوية.

عملية تجمد الماء فى الأنسجة هامة فى دارستها ونشأ عنها علم لدراسة التجمد يسمى cryobiology. يشمل هذا العلم فروع مختلفة ومنها حالات cryosurgery وفيها حالة الجراحة التى تجرى على الأنسجة لأزالتها وحالات cryopreservation وفيها حفظ الأنسجة الحيوانية أو النباتية أو مزارع الكائنات الحية الدقيقة فى درجة حرارة التجمد وأقل منها وذلك للمحافظة على المزارع لمدد طويلة حية وذلك دون أحتياج مستمر لتجديد مزارع الكائنات الحية الدقيقة وحالات cryobiophysics وفيها حالة الأهتمام بدراسة طبيعة حالة التجمد وحالات cryobiochemistry وفيها دراسة تأثير التجمد على سرعة وأنواع التفاعلات الكيماوية.

الفيزياء الحيوية للتجمد

Cryobiophysics

تعتبر دراسة الفيزياء الحيوية لتجمد الماء فى النبات من الدراسات الهامة والمستفيضة وفيما يلى شرح تفصيلى عن كيفية تجمد الماء فى خلايا النبات وأمثلة مختلفة لهذه الحالات.

من المعروف أن بعض أنواع معينة من النبات، وكذلك بعض أصناف من النوع الواحد، تتوافر لها صفات ملائمة للنمو فى الأجواء الدافئة، وأن بعضا آخر منها يتميز بصفات معينة تناسب النمو مع الأجواء الباردة. فقد يقاوم بعض منها الدرجات المنخفضة والصقيع، ويكون البعض الآخر منها أكثر قابلية للتأثر بها. وتعتبر الذرة من نباتات الأجواء الدافئة، والكرنب من نباتات الأجواء الباردة. والمحصولات المدادة مثل الخيار والبطيخ، تكون عادة شديدة التأثر لدرجات التجمد، أما القرنبيط والكرنب المشرشر، فتكون أكثر تحملا لمثل هذه الظروف. وكثيرا ما تتعرض كثير من نباتات المناطق المعتدلة، إلى درجات الحرارة المنخفضة، وتبعا لذلك إلى أضرار الصقيع.

وتعتبر الأضرار الناجمة عن انخفاض درجة الحرارة إلى ما فوق درجة التجمد بقليل، أمراضا هامة غير طفيلية. فينتج عن انخفاض درجة الحرارة، إلى ما قبل درجة التجمد، تأثير ضار لبعض سلالات معينة من الذرة، كما يحدث تلون غير طبيعى فى الأنسجة الداخلية لدرنات بعض أصناف البطاطس، عندما تكون درجات الحرارة فى أثناء التخزين ما بين صفر وخمسة مئوية. هذ وتظهر أيضا فى درنات البطاطا المخزونة. فى درجات الحرارة المذكورة آنفا، وغير المعالجة ، مناطق ملونة ومبرقشة، يزداد تركيز الإيثلين فى هذه النباتات فى هذه الحالات.

وقد يحسن أن ندخل فى الاعتبار جميع التغيرات التى تحدث فى أنسجة النبات عندما تنخفض الحرارة إلى ما دون نقطة التجمد، قبل أن نصف التأثير الضار الذى يحدثه التجمد عادة فى النبات. فيوجد عادة فى أنسجة النباتات المعرضة لدرجات التجمد، ماء فى المسافات البينية للخلايا على حالة بخار أو غشاء مائى على السطح الخارجى لجدر الخلايا،، يكون عادة نقيا، ونقطة تجمده قريبة من درجة الصفر المئوى، فى حين يكون الماء الموجود فى الفجوة العصارية الوسطى داخل الخلية، فى حالة محلول يعمل على خفض نقطة التجمد إلى ما تحت الصفر المئوى بقليل. فضلا عن ذلك، فيما أن انخفاض درجة الحرارة عن درجة الصفر المئوية، لا ينتج عنه عادة اضطراب فى داخل الخلية، فقد تنخفض الحرارة عدة درجات تحت درجة الصفر المئوى دون أن تتكون بلورات داخل الخلية. وحقن بلورة واحدة فى محلول مبرد حرارته دون الصفر، ينتج عنه تبلور تام لكل المكونات. ولذلك فأنه ينتظر عند انخفاض درجة حرارة أنسجة النبات، الحصول على

درجات معينة أكثر انخفاضا فى البرودة. وتتكون البلورات الثلجية أولا، فى الماء الموجود فى المسافات البينية، وبذلك يصبح ضغط البخار داخل الخلية أعلى منه فى المسافات البينية، ويستمر الماء فى الانتشار نحو الخارج فيزيد الكتلة البلورية فى المسافة بين الخلايا، وتميل الخلية تبعا لذلك إلى الإنكماش وتنخفض نقطة تجمد مكوناتها. وعليه فأن أول ما يحدث فى النسيج هو تكون بلورات من الثلج فى المسافات البينية، دون الإضرار بمكونات الخلية، ويستمر ذلك عند هبوط درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى لعدة درجات. وينتج عن إرتفاع درجة الحرارة بعد ذلك إلى ما فوق درجة الصفر المئوى، ذوبان بلورات الثلج الموجودة فى المسافات البينية واستمرار عملية انتشار الماء داخل الخلية، دون حدوث اضرار لها. ويتبع استمرار عملية التجمد تكوين بلورات من الثلج داخل الخلية. وتبعا لذلك الأضرار بالبروتوبلاست، فيتمزق عادة الغشاء البلازمى وتموت الخلية. ويعمل اختلاف خصائص النسيج النباتى على تباين الخلايا والأنسجة فى مقدار تأثرها بنقطة التجمد، الأمر الذى ينتج معه تباين الأضرار الناتجة عن التجمد، فلا تتكون بلورات الثلج فى أنسجة بعض النباتات فى مثل هذه الظروف بغض النظر عما تصل إليه الحرارة من الإنخفاض. وتتمثل هذه الحالة فى الأعضاء النباتية الجامدة التى تتحمل الأجواء التى تنخفض فيها درجة الحرارة إلى درجة التجمد. وينتج عن تكرار تعرض بعض النباتات إلى درجات التجمد أو الدرجات التى دونها بقليل، تكيف لمحتويات الخلية، يجعلها تقدر على مقاومة الحرارة المنخفضة بدرجة أكبر من مثيلاتها التى لم يسبق تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة. ويعرف ذلك عادة بالتقسية أو التخشين hardening، فبعض النباتات، مثل الكرنب، قاسية وخشنة بطبعها، والبعض الآخر مثل الطماطم على عكس ذلك.

وتعرض بروتوبلازم الخلايا إلى درجات التجمد، يعرضها إلى مختلف أنواع الضرر. وينتج عن العملية السابق شرحها، إزالة ماء البروتوبلازم تدريجيا. كما يحدث عند بعض درجات التجمد اخراج للأملاح أو تجمع للمكونات. وقد لا يعود البروتوبلاست إلى حالته الطبيعية، بالرغم من عدم موت الخلية. وقد تحدث أضرار فى أثناء إذابة الثلج، نتيجة لإنتشار الماء إلى داخل الخلية وتمدد البروتوبلاست إلى درجة قد يتسبب عنها تمزق الغشاء البلازمى.

ويتوقف تكوين الثلج فى المسافات البينية، على امكان هبوط نقطة تجمد العصير الخلوى بسرعة مماثلة لهبوط درجة الحرارة، أى تصبح أكثر برودة. ولذلك فإن سرعة التبريد مهمة كأهمية سرعة خروج الماء من الخلية، وما يترتب على ذلك من هبوط فى نقطة التجمد. والتجمد السريع أشد ضررا من التجمد البطئ ما دام لا ينتج عنه تكوين للثلج بالمسافات البينية. وتتفاوت سرعة انتشار الماء خلال البروتوبلازم إلى مراكز تكوين الثلج خارج الخلية باختلاف النباتات وباختلاف الأنسجة فى النبات الواحد. فتنخفض بشدة قدرة نفاذية الخلايا للماء فى النباتات الرهيفة، وتقل

درجة الأسموزية الخارجية عندما تنخفض الحرارة، وتبعا لذلك تقل فرصة انتشار الماء بكثرة عندما يبدأ الثلج فى التكوين فى الأنسجة المبردة جدا. وكثيرا ما يكون النسيج المبرد بشدة أكثر تعرضا لخطورة درجة التجمد من النسيج العادى.

وإذابة الثلج الموجود بالأنسجة المجمدة، أو بالأنسجة التى تحتوى على مزيد من الثلج الخلوى، عملية لها خطورتها. إذ أن الماء الناتج عن ذوبان الثلج يملأ المسافات البينية ويخترق جدار الخلية ويتسبب فى تمدده. وإذا لم يمتص البروتوبلازم هذا الماء بسرعة كافية فإنه يتراكم بين الجدار والبروتوبلاست مكونا طبقة يتبعها تمزق جدار الخلية أو أضراره، ويقل، نوعا ما، الضرر الذى يحدث للنباتات الجامدة عن النباتات الرهيفة، وذلك لأن بروتوبلاستها قادر على التمدد بنفس سرعة تمدد جدرها. وقد تزداد حساسية البروتوبلاست، لمثل هذه العوامل رغم بقائه حيا، بعد تمام ذوبان الثلج، كازدياد حساسيته للتوتر، وقد يصبح، تبعا لذلك، غير متجاوب مع تغييرات الرطوبة، وبالتالى مع تكرار التبريد وإذابة الثلج.

وقد يمكن القول، بصفة عامة، أن أضرار التجمد فى النباتات، هى نتيجة لتكوين الثلج خارج الخلية أو فى داخلها أو فى كليهما. ويتوقف نوع الأعراض المرضية الناتجة على مقدار حساسية الخلايا والأنسجة المختلفة لدرجات التجمد. ويتغير عادة لون الخلايا أو المجموعات الخلوية مكونة مناطق بنية فى نسيج النبات. وتتفاوت الصورة المرضية الناتجة عن هذا الضرر فى النبات أو فى الأنسجة النشيطة النمو فقد يتبع ذلك انقسام غير طبيعى فى الخلية وتكوين للكالوس ولغيره من الاستجابات التى تتميز بها الأنسجة ذات الخلايا المستديرة. هذا وقد يتأثر النشاط الهورمونى أيضا وتتنبه تبعا لذلك مراكز النمو الساكنة.

يعتبر ضرر الصقيع من أمراض النبات. تتأثر النباتات الحساسة للصقيع عندما تقل درجة الحرارة عن صفر درجة مئوية حيث يتكون الثلج فى أنسجة هذه النباتات. تكون كثير من النباتات حساسة للصقيع مثل الموز والطماطم والقرعيات وغيرها كثير. يمكن أن تتكون كميات قليلة من الماء فى أنسجة النبات والتى تنخفض درجة حراراتها إلى −١٠م ناقص عشر درجات مئوية أو أكثر ودون تكوين للثلج ice nucleation حيث أنه لا يوجد نواه تكوين الثلج. وجد أن بعض أنواع البكتريا والتى توجد رمية على سطح النبات مثل *Pseudomonas syringae* و *P. fluorescens* و *Erwinia herbicola* يمكن أن تعمل كمنشط لتكوين نواه الثلج فى درجات حرارة مرتفعة نسبيا بالنسبة لحدوث الصقيع وهى ناقص درجة مئوية −١م. تكون أنواع البكتيريا السابق ذكرها من ٠,١ إلى ١٠٪ من كمية البكتيريا الموجودة على سطح الأوراق. يمكن عزل سلالات من هذه

البكتيريا السابق ذكرها لا تعمل على تنشيط تكوين نواه الثلجnon-ice - nucleation active bacteria وبالتالى إكثار هذه السلالات وإنتاج كميات كبيرة منها ثم رشها على النباتات فإنها بذلك تضاد سلالات البكتيريا المنشطة لتكوين نواه الثلج وبذلك لا يتكون الثلج فى أنسجة النبات وبذلك تقى النبات ضرر الصقيع. يعتبر الأساس فى ضرر الصقيع هو تكوين ثلج فى أنسجة النبات ويسبب الثلج ضرر لخلايا النبات فقد يسبب تمزقها وموتها. حيث أن وجود الثلج قد يسبب تمزيق الخلايا وقد يسبب الصقيع موت لأجزاء من النبات أو حتى أجزاء من الأوراق وقد يسبب موت كامل للنبات. تقى المعاملة السابقة النباتات الحساسة للصقيع وبذلك لا تتأثر بالصقيع والعكس صحيح فى النباتات الغير معاملة حيث أنها تتأثر بشدة بضرر الصقيع وحتى فى درجات الحرارة المرتفعة نسبيا لضرر الصقيع وهى -١م ناقص درجة مئوية.

يمكن تلافى ضرر الصقيع فى بعض الحالات بتدفئة النباتات بتغطيتها بالقش أو بحرق جذوع أشجار حيث يساعد الدخان فى التدفئة أو التعفير بالكبريت.

ضرر الجفاف ومقاومته

Drought Injury And Resistance

يختلف ضرر الجفاف عن ضرر الصقيع فى أن الأول يمكن مقاومته بأحدى حالتين وهما التلافى avoidance أو التحمل tolerance . ففى حالة النباتات العصارية فأنها تعتبر نباتات مخزنة ومدخرة ومحافظة على الماء بدرجة كبيرة أى أقتصادية الماء water savers وأنها يمكنها المعيشة لمدد طويلة فى ظروف بيئية جافة وذلك بتقليل فقد الماء بدرجة كبيرة جدا أو درجة عظمى. يمكن إنجاز ذلك فى وجود كيوتيكل سميك وغير منفذ للماء بدرجة كبيرة وغلق الثغور لفترة طويلة أثناء النهار ولذلك تقوم هذه النباتات بخطوات وعمليات تحول غذائى معينة خاصة بها. توجد نباتات أخرى تعتبر نباتات مسرفة فى الماء water spenders وهى تتميز بأنها ذات قدرة كبيرة جدا على أمتصاص الماء وذلك بالمقارنة بدرجة فقدها للماء ولذلك فأن المحتوى المائى لهذه النباتات يكون مرتفع بأستمرار. يزداد تركيز الإيثلين فى النباتات التى تعانى من الجفاف.

يعتبر تلافى الجفاف drought avoidance من أهم آليات المحافظة على الحياة أى آليات المعيشة فى مرحلة النمو والأزهار فى النباتات الزهرية. فى حالة مرحلة النمو فى النباتات الغير راقية وأيضا حتى الأجزاء الساكنة من النباتات الراقية مثل البذور وحبوب اللقاح تعتبر حالة تحمل

الجفاف من أهم آليات المعيشة والمحافظة على الحياة. ومما هو جدير بالذكر فأن الأجزاء الخضرية من النباتات الراقية لابد وأن يكون لها درجة معينة أو حتى بسيطة من تحمل الجفاف drought tolerance. ولذلك فأنه توجد ثلاثة حالات من التلافى والتحمل وهى:

نباتات غير متحملة متلافية	1- intolerant avoiders plants
نباتات متحملة متلافية	2- tolerant avoiders plants
نباتات متحملة غير متلافية	1- tolerant nonavoiders plants

وكما سبق القول فأن تحمل الجفاف وتحمل الصقيع لهما نفس الآلية (الميكانيكية) أو يتشابهان فيها. وأحيانا يكونان مرتبطان ببعضهما ومثال ذلك أنه فى منتصف الشتاء فأن النباتات يكون لها درجة كبيرة من تحمل الصقيع وأحيانا يكون فى بعض حالات من هذه النباتات أيضا تحمل للجفاف. وجد أن الحامض الأمينى برولين عند وجوده بتركيز مرتفع نسبياً فى النبات يجعله متحمل للجفاف وغير معروف آلية ذلك.

ضرر الحرارة المرتفعة والمقاومة لها

Heat Injury And Resistance

يمكن للخلايا المجففة فى الهواء الجاف أن تعيش حتى درجة ١٤٠ مئوية كحد أقصى وذلك فى قليل من الحالات ولكن فى الحالات العادية فإن الخلايا الخضرية العادية تموت بين ٤٠ إلى ٥٠ مئوية. تعتبر المقاومة لدرجة الحرارة العالية هى حالة تحمل tolerence كما فى الصقيع. يوجد حالات نادرة خلاف ذلك فى بعض نباتات صحارى الصحارا Sahara desert حيث أنها تعيش بحالة عادية فى درجة ٥٠ درجة مئوية حيث أنها تمتص وتنتح الماء بسرعة جدا فتسبب خفض درجة حرارة النبات ١٠ مئوية عن الجو العادى. عامة يمكن لبعض الطحالب والبكتريا التى تعيش فى الينابيع الحارة أن تتحمل حتى درجة ٦٠ درجة مئوية.

يمكن أن تسبب إرتفاع درجة الحرارة موت أجزاء من النبات ومثال ذلك موت الأفرع الصغيرة فى العنب وحوامل العناقيد عند تعرضها لدرجة حرارة عالية أثناء فصل الصيف وأيضا درجة الحرارة العالية تسبب موت أجزاء من ثمرة الطماطم وينتج عن ذلك عرض مرضى يسمى لسعة الشمس. يمكن مقاومة ذلك بتظليل الثمار بأوراق النبات أو ما يشابه ذلك.

ضغط أو ضرر الملوحة ومقاومته

Salinity Stress And Resistance

زيادة تركيز الملح فى البيئة يسبب ضرر للنبات وقد يسب وجود بقع بنية على أجزاء السويقة أو الساق عند سطح التربة أو تحت السطح وقد يؤدى أيضاً إلى ضعف نمو النبات أو موته. أهم الأملاح فى ذلك الصدد هو كلوريد الصوديوم.

تختلف النباتات فى مدى تحملها للملوحة حيث قد توجد نباتات متحملة للملوحة ويمكن إنتخاب أو تربية نباتات متحملة للملوحة. ولكن حديثاً يمكن عمل ذلك وبكفاءة عالية بإستعمال مزارع الأنسجة ومنها مزارع الخلية. ويتم عمل ذلك كما تم شرحه فى باب مزارع الأنسجة فى حالة تربية نباتات تبغ مقاومة لمرض wildfire فى التبغ، ولكن توضع فى البيئة تركيزات عالية نسبياً من الملح ثم توضع الخلايا على البيئة فالخلايا التى ستنقسم وتكون نمو ستكون متحملة للملوحة ، وهذه الخلايا يمكن منها تكوين نباتات صغيرة متحملة للملوحة. أما الخلايا الغير متحملة للملوحة لن تنقسم ولن تكون نمو. وقد أمكن إستخدام ذلك بعمل بيئات بها تركيز من الملح ١ ٪ وإنتاج سلالات مقاومة من البرسيم الحجازى. وهكذا يمكن إتباع هذه الطريقة فى نباتات أخرى كثيرة. يستخدم فى ذلك عدد كبير من الخلايا أى بلايين من الخلايا لكى نحصل على الخلايا والنموات المتحملة للملوحة حيث أن نسبة هذه الخلايا تكون منخفضة.

وجد أن التركيز العالى نسبياً من الحامض الأمينى برولين يعطى النباتات تحمل للملوحة وغير معروف حتى الآن آلية حدوث ذلك.

قد أمكن إنتاج نباتات كثيرة مقاومة للملوحة ومنها نبات القمح.

ضغط أو ضرر القلوية ومقاومته

Alkalinity Stress And Resistance

إرتفاع نسبة الكالسيوم فى التربة تسبب قلوية وتسبب أضرار للنباتات ويتم إنتاج نباتات متحملة للقلوية بالطرق العادية بالإنتخاب أو التربية بالتهجين وأيضاً بطرق مزارع الأنسجة كما سبق شرحه فى ضرر الملوحة.

ضغط أو ضرر الغمـــــرومقاومته

Flood Stress And Resistance

رى التربة بغزارة أو سوء الصرف وإرتفاع مستوى الماء الأرضى أو الأمطار الغزيرة أو الفيضانات أو السيول أو تسريب أو رشح الترع وغيرها يمكن أن تسبب للنباتات وللبذور أثناء الإنبات وللبادرات ضرر أو حتى موت وحيث يزداد تركيز غاز الإثيلين فى داخل هذه النباتات. قد أمكن دراسة آلية ذلك الضرر وكيف يمكن للبادرة التغلب عليه وذلك فى حالة بعض النباتات وفيما يلى مثال عن إنبات حبوب الذرة الشامية أثناء الغمر وما يحدث بداخلها بالتفصيل أثناء الغمر.

تم دراسة الجين الخاص بإنتاج إنزيم alcohol dehydrogenase في نبات الذرة الشامية (*Adhl*) . وجد أن هذا الإنزيم فى الذرة يتكون فى بعض الأعضاء وبعض الخلايا دون الأخرى. وفى بعض الأعضاء ينتج هذا الإنزيم فى الظروف العادية وفى أعضاء أخرى فى نفس النبات لابد وأن ينتج تحت ظروف لا هوائية. حيث يتضح أن هذا الجين تحت تأثير أو متأثر بمجموعة أخرى من الجينات والتى تتأثر بالعوامل الداخلية للنبات والظروف البيئية الخارجية.

The Adhl gene is woven into a complicated net of gene circuits that respond both to internal; developmental cues and to external, enivronmentel stimuli.

تحتاج البذور والبادرات أثناء الإنبات فى الذرة الشامية هذا الإنزيم عندما تكون مغطاة بالماء أثناء الإنبات. وعندما تزيد فترة الغمر بالماء لعدة ساعات. عندما تتعرض البادرة لبيئة غير هوائية فإن

تخليق البروتين يتوقف. بعد ساعات قليلة فإنه يتم تخليق بروتين هذا الإنزيم وتسعة بروتينات أخرى رئيسية وعشرة بروتينات صغرى. وهذا يعطى الإنطباع أن هذه البروتينات أو حتى بعض منها له دور هام فى تحمل الغمر flood tolerance ويحتاج ذلك إلى إختبارات على مستوى البيولوجيا الجزيئية.

ولعمل هذه الإختبارات لابد من الحصول على طفرات أو أصناف متحملة للغمرmutants or cultivars that are flood - tolerant ثم نفحص وندرس أى الجينات فى هذه الطفرات أو الأصناف هى المسئولة عن التحمل. وقد أمكن بالفعل من مزارع الأنسجة عزل طفرات فى جين *Adh1* . بعض هذه الطفرات غيرت من تعبير هذا الجين أى ثبات تعبير هذا الجين stability of enzyme expression والطفرات الأخرى غيرت من كمية التعبير أى كمية الإنزيم. بعض هذه الطفرات كان تأثيرها محدود فى عضو واحد فقط وبعض الطفرات وضحت تغييرات فى التعبير الكمى لكثير من الأنسجة وأظهرت تغييرات معقدة فى تركيب النبات. بعض هذه الطفرات ناتج عن المعاملة بالأشعاع والبعض الآخر ناتج عن إدخال جزء من دنا فى داخل تركيب الجين العادى وكان ذلك بواسطة الهندسة الوراثية. أمكن دراسة تركيب هذه الجينات فى الطفرات بالتفصيل ومعرفة تتابع القواعد فيها بالهندسة الوراثية. حالتين من الطفرات الناتجة عن إدخال دنا insertion فى الجين سببت إختلال فى الإنزيم السابق وذلك بمنع تخليق بروتين الإنزيم وإنتاج حالة من شكل شاذ grotesque وهو عبارة عن نمو زائد من الأنسجة الوعائية يتميز بوجود أليل سائد يسمى المتعقد knotted ويوجد هذا الأليل على مسافة أقل من ٠,١ وحدة خريطة map unit من الجين *Adh1* .