

التقسية أو الأقامة على شدِّ التجمد

تكتسب عديد من النباتات العشبية القدرة على تحمل التجمد إذا عرضت للبرودة لفترة قصيرة (أيام أو أسابيع قليلة) قبل تعرضها للصقيع، فيما يعرف بعملية الأقامة acclimation؛ وهى العملية التى تعرف فى المجال البستانى التطبيقى باسم التقسية hardening. ويؤدى تعرض النباتات للحرارة العالية بعد تعرضها للحرارة المنخفضة إلى زوال أثر الأقامة، فيما يعرف بعملية الـ deacclimation. وتؤثر عمليتا الـ acclimation والـ deacclimation على كل من ظاهرتى القدرة على تحمل التجمد freezing tolerance (القدرة على تحمل تكون البلورات الثلجية بين الخلايا)، والقدرة على تجنب التجمد freezing avoidance (القدرة على تجنب تكوين البلورات الثلجية خارج الخلايا وداخلها (Palta ١٩٩٢)).

ويُستدل من الدراسات الحديثة أن جانبًا كبيرًا من قدرة نباتات المناطق الباردة على تحمل البرودة يُستحث من خلال عملية التقسية أو الأقامة acclimation التى تربها تلك النباتات جراء تعرضها لحرارة منخفضة بصورة تدريجية ومنتزيدة. تحدث خلال التقسية عديدًا من التغيرات الفسيولوجية الجزيئية، ولعل من أهمها تنشيط وتثبيط عمل جينات مختلفة بفعل الحرارة المنخفضة.

وبصفة عامة.. فإن التقسية بالبرودة تؤدي إلى حماية الأغشية الخلوية وثباتها، وتحفيز آليات مضادات الأكسدة، وزيادة محتوى الخلايا من السكر، وتراكم حافظات أخرى ضد التجمد cryptoprotectants، متضمنة متعددات الأمين التى تحمى البروتينات التى توجد خارج الخلية بحثًا نشاط الجينات التى تشفر لتكوين كاسحات (كانسات) chaperons جزيئية. وتعمل جميع هذه التحورات على مساعدة النبات على تحمل الجفاف dehydration الشديد الذى يكون مصاحبًا لشدِّ التجمد.

وتعد الوظيفة الرئيسية لأقلمة البرودة cold acclimation هي تثبيت الأغشية البلازمية ضد أضرار التجمد، حيث ينتج عن الأقلمة زيادة في نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ ومن ثم انخفاضاً في حرارة تحولها. وتعمل الأقلمة على منع التحلل الخلوي الناشئ عن تمدد الخلايا، كذلك تؤدي إلى تكوين بروتينات أخرى غير إنزيمية تخفف من درجة تجمد الماء.

ومن بين التحورات الأخرى التي تُحدثها الحرارة المنخفضة في مكونات الخلية - غير زيادة نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة - تركيب الـ glycerolipids، وتغيرات في تركيب البروتين والركبات الكربوهيدراتية، وتنشيط قنوات الأيونات ion channels. كما أن تراكم السكروز وغيره من السكريات البسيطة أثناء تأقلم البرودة يُسهم في ثبات الأغشية البلازمية؛ نظراً لأن تلك المركبات يمكنها حماية الأغشية انبلازمية من أضرار التجمد (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).

ويمكن تلخيص أهم التغيرات التي تحدث خلال فترة تأقلم النباتات على تحمل أضرار التجمد فيما يلي:

- ١- حدوث تحورات في مكونات الأغشية من الدهون، حيث تزداد نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة.
- ٢- حدوث تراكم للمركبات الأسموزية، وخاصة المركبات العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض.
- ٣- تمثيل البروتينات المضادة للتجمد.
- ٤- تمثيل بروتينات تحمي الأغشية وعضيات الخلية من أضرار فقد الرطوبة.
- ٥- تُطور معظم الأشجار قدرة على التبريد الفائق supercooling.
- ٦- يتم تمثيل عديد من البروتينات التي تعمل كمضادات أكسدة أو يكون لها علاقة بالأمراض PR proteins.

وتظهر كثير من تلك التغيرات - كذلك - كاستجابة لحالات شدِّ الجفاف وشدِّ الملوحة، لكن التغيرات في درجة عدم تشبع دهون الأغشية، وتمثيل مضادات التجمد والتبريد الفائق تقتصر على حالة التأقلم على التجمد فقط.

هذا.. ويزداد تركيز حامض الأبسيسك في عصير الخشب بالنباتات خلال فترة تأقلمها على البرودة، ويصل التركيز أقصاه قبل اكتمال التأقلم مباشرة. كذلك فإن المعاملة بحامض الأبسيسك في الجو الدافئ (٢٠ - ٢٥ م) يُكسب النباتات تأقلمًا على التجمد (Srivastava ٢٠٠٨).

ولقد أمكن عزل جليكوبروتين (٧ كيلو دالتون) من أوراق الكرنب التي أُقلمت على البرودة بالتقسية - وليس من الأوراق التي نمت في ظروف طبيعية - كانت له القدرة - بعد تنقيته - على حماية الـ thylakoids - المأخوذة من نباتات سبانخ غير مؤقلمة - ضد أضرار التجمد (Sieg وآخرون ١٩٩٦).

أضرار شدِّ التجمد

فسيولوجيا الضرر وكيفية حدوثه

يؤدي انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى إلى تكوين بلورات ثلجية في المسافات الموجودة بين الخلايا (المسافات البينية)، وكذلك داخل الخلايا نفسها. فالماء يوجد في المسافات البينية على شكل غشاء مائي رقيق يغطى الأسطح الخارجية لجدر الخلايا، وكذلك في صورة بخار ماء. وهذا الماء يكون نقيًا بدرجة عالية وذا درجة تجمد قريبة من الصفر المئوى. كذلك يوجد الماء في الفجوات العصارية داخل الخلايا في صورة محلول مذاب فيه عديد من المركبات والأملاح، وهذا الماء يكون ذا درجة تجمد أقل من الصفر المئوى بدرجات قليلة.

وفي حالة انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى بقليل يبدأ الماء الموجود في المسافات البينية في التجمد (لقلة محتواه من المواد المذابة، مع زيادة محتواه من