• تُخزن البادرات لفترة قصيرة – عادة – قبل زراعتها، ويعد فقد المواد الكربوهيدراتية من البادرات خلال تلك الفترة من أهم العوامل التى تحد من قدرتها على تحمل الشتل. وفى دراسة على البطيخ رُشّت الشتلات – وهى فى صوانى إنتاج الشتلات – بالجلوكوز بتركيز ٣٪ أو ٦٪، ثم خُزّنت فى الظلام لمدة ٦ أيام على ١٥°م قبل شتلها. أدت المعاملة بالجلوكوز إلى احتفاظ الشتلات بكتلتها الجافة وأظهرت تحسنًا فى مُعاودتها للنمو بعد الشتل. وقد تميزت النباتات التى عُوملت بالجلوكوز بمحتوى عالٍ من السكر الذائب والنشا، وبتسرب أقل للأيونات، وبمستويات أقل من الـ malondialdehyde، مقارنة بالنباتات التى لم تُعامل، وذلك خلال أيام التخزين البارد الستة. وكانت تلك الاختلافات أكبر مع زيادة فترة التخزين البارد، ومع زيادة تركيز الجلوكوز المعامل به. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن معاملة الجلوكوز يمكن أن تؤخر من فقد الكربوهيدرات، وتحافظ على سلامة الأغشية البلازمية، وتعمل على تجنب الدخول فى مرحلة الشيخوخة خلال مرحلة التخزين البارد؛ وبذا فهى تحافظ على جودة الشتلات خلال فترة التخزين البارد (Jiang وآخرون ٢٠١٢).

### الفراولة

وجد أن الحرارة المنخفضة وشدّ الجفاف يلعبان – منفردين ومجتمعين – دورًا فعالاً فى تقسية نباتات الفراولة وتحملها للبرودة، وكان التعرض للعاملين – معاً – أكبر تأثيرًا فى تقسية النباتات (Rajashekar & Panda ٢٠١٤).

## مظاهر شدّ التجمد

إن السبب الحقيقى لأضرار شدّ التجمد هو تكوين الثلج وليس الحرارة المنخفضة فى حد ذاتها والدليل على ذلك أن التجميد الفائق – الذى يتجمد فيه الماء دون تكوينه لبلورات ثلجية – يستخدم فى حفظ الجيرمبلازم (مثل البذور والجراثيم الفطرية)، فيما يعرف باسم cryopreservation.

تتضمن كل من أضرار البرودة وأضرار التجمد أضرارًا بالأغشية الخلوية، إلاّ أن أضرار التجمد تتضمن تغيرات أخرى أشد تتعلق بتكوين الثلج. وعلى الرغم من أن تكوين الثلج فى حد ذاته لا يضر بالخلايا، إلاّ أن ما يترتب على تكوينه من سحب للماء من الخلايا يضر بها.

يبدأ تكوين الثلج فى النباتات فى المسافات بالجدر الخلوية الـ apoplast التى يقل محتواها – نسبيًّا – من المواد الذائبة، وتكون درجة تجمده – نتيجة لذلك – أعلى عن درجة تجمد السوائل التى توجد داخل الخلايا. يتكون الثلج ونتيجة لتكونه فى الجدار الخلوى يتولد تدرج فى ضغط بخار الماء بين الجدار الخلوى والخلايا المحيطة به، يؤدى إلى رحيل الماء السيتوبلازمى غير المتجمد عبر التدرج من سيتوبلازم الخلية إلى الجدار الخلوى؛ مما يؤدى إلى تضخم البللورات الثلجية المتواجدة فيه بالفعل؛ مما يُحدث ضغطًا ميكانيكيًّا على الجدار الخلوى والغشاء البلازمى؛ مما يؤدى إلى إتلاف وتمزق الخلية. ويؤدى الفقد المائى للخلايا المستحث بفعل التجمد إلى صور متعددة للأضرار بالغشاء البلازمى، متضمنة انهيار الخلايا تحت وطأة تمددها، وتمزق وتشقق الخلايا. ولقد قُدر أنه فى حرارة – ١٠ °م ينتقل أكثر من ٩٠٪ من الماء النشط أسموزيًّا إلى المسافات بين الخلايا، وقد يرتفع تركيز المحاليل الداخلية بسبب ذلك إلى ٥,٠ مولار أسموزى osomolar (Srivastava ٢٠٠٨).

كذلك تُسهم المركبات النشطة فى الأكسدة ROS – التى تنتج استجابة لشدّ التجمد – فى إتلاف الأغشية البلازمية.

وفى نهاية الأمر تؤدى البرودة إلى فقد الأغشية البلازمية لخصائصها؛ مما يؤدى إلى التسرب الأيونى، كذلك تفقد عضيات الخلية قدرتها فيما يدخل إليها أو يخرج منها؛ مما يعنى فقد الخلايا لخاصية التحكم فى الحجيرات compartmentalization، وانخفاض وتردى البناء الضوئى، وتكوين البروتينات الأيضية العامة (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).