ومن بين الجينات التى تستحث البرودة عملها، ما يلى:

- جين FAD8 من الـ Arabidopsis الذى يشفر لتكوين إنزيم fatty acid desaturase، الذى يُسهم فى تحمل التجمد بتحوير تركيب الدهون.
- جينا السبانخ hsp70، ولفت الزيت hsp90 اللذان يشفران لتكوين كاسحات (كانسات) chaperons جزيئية تُسهم فى تحمل التجمد بتثبيت البروتينات ضد الدنترة التى يستحثها التجمد.
- اكتشفت عدة جينات تشفر لتمثيل بروتينات منظمة أو مستقبلة للإشارات، مثل الـ mitogen-activated protein، والـ kinase والـ MAP kinase، والـ calmodulin-related proteins.
- اكتشفت طفرة فى أحد نباتات المناطق الجليدية أعطيت الاسم eskimo1 والرمز esk1، كانت أكثر تحملاً للتجمد عن النبات الأصلى، ووجد أن محتواها من البرولين الحر كان ٣٠ ضعف محتوى النباتات العادية من نفس النوع. ومن المعروف أن البرولين هو أحد الحاميات الفعالة ضد التجمد cryprotectants (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).
- أمكن عزل بروتين مضاد للتجمد antifreeze protein ذات وزن جزيئى ٣٦ كيلو دالتون من الجذر الوتدى للجزر المؤقلم على البرودة من صنف Autumn King. ثبط هذا البروتين إعادة بلورة الثلج (Smallwood وآخرون ١٩٩٩).

التحويل الوراثى لتحمل التجمد

تقدح عملية التقسية بالبرودة عديدًا من التغيرات الفسيولوجية والبيوكيميائية؛ بما يفيد عمل كثير من الجينات فى إكساب النباتات خاصية تحمل التجمد؛ ومن ثم لا يجب توقع إحداث طفرة فى زيادة القدرة على تحمل الصقيع من مجرد عملية تحول وراثى بأحد الجينات التى لها علاقة بتحمل التجمد.

ومن بين دراسات التحول الوراثى التى أجريت بهدف زيادة القدرة على تحمل التجمد، ما يلى:

- أوضحت دراسات Culter وآخرون (١٩٨٩) أن البروتين المضاد للتجمد المتحصل

عليه من نوع السمك القطبى *Pseudopleuronectes americanus* لدية القدرة على العمل كمضاد لبدء تكوين نويات البللورات الثلجية anti-nucleator فى الأنسجة النباتية. وأدى تعريض المزارع المعلقة لـ *Bromus intermis* للبروتين المضاد للتجمد إلى خفض كميات الماء القابل للتجمد فى أى درجة حرارة. كما أوضحت الدراسة أن هذا البروتين يمكن أن يعمل كواق من أضرار التجمد العميق (أى إنه يعمل كـ cryoprotectant)، وأنه قلل من معدل تكوين البللورات الثلجية.

● أدى تحويل نباتات التبغ وراثيًا لتعبر عن نوعين من البروتين المضاد للتجمد، هما: AFP type II، و AFP type III اللذان يتحكم فيهما جينين حُصل عليهما من نوع السمك القطبى *P. americanus* (الذى أسلفنا الإشارة إليه والذى يعرف فى الإنجليزية باسم flounder) .. أدى ذلك إلى جعلها تتحمل حرارة وصلت إلى -٣,٥ إلى -٤,٥°م، وهى تقل بمقدار ١-١,٥°م - فقط - عن تلك التى تحملتها نباتات الكنترول (عن Gusta وآخرين ١٩٩٦).

● أنتج Hightower وآخرون (١٩٩١) نباتات تبغ وطماطم محولة وراثيًا بالجين afa3 المضاد للتجمد والمجهز صناعيًا على أساس جين الـ antifreeze الخاص بالسمك القطبى *P. americanus*، إلاّ أنه لم يكن مؤثرًا فى منع التجمد.

● تمكن الباحثون من تخليق جين يشفر لتكوين بروتين مضاد للتجمد مماثل للبروتين الذى ينتجه سمك الـ winter flounder، وأمكن التعبير عن هذا الجين فى الخميرة وعدد من النباتات. ويمكن لهذه النباتات المعدلة وراثيًا تحمل التجمد والتفكك بصورة أفضل دون أن تفقد خصائصها المتعلقة بالمذاق والقوام. وفى البطاطس ظهر ارتباط بين مستوى التعبير عن الجين المنقول ودرجة تحملها للتجمد. كذلك يمكن إضافة هذا البروتين إلى ألايس كريم لمنع تكوين القوام الجيبى للبلورات الثلجية (Wallis وآخرون ١٩٩٧، و عن Malik وآخرين ١٩٩٩).

● أدى تعديل نباتات الـ *Arabidopsis* غير المتحملة للبرودة - وراثيًا - بجين الـ

Arabidopsis: cor15a (المتحصل عليه من سلالة متحملة للبرودة) إلى حمايتها من حرارة وصلت إلى -٤ وحتى -٥°م؛ مما يدل على أن هذا الجين (الذى يوفر حماية للإنزيم الحساس للبرودة lactate dehydrogenase من الدنترة ووقف النشاط، والذى يتواجد البروتين الذى يتحكم الجين فى إنتاجه فى الكلوروبلاستيدات) ربما يلعب دورًا فى حماية الكلوروبلاستيدات أثناء التجمد.

● يلزم الإنزيم سوبر أوكسيديز ديسميوتيز superoxidase dismutase (اختصارًا: SOM) لأجل التخلص من الـ superoxide free radicals السامة التى تنتج فى ظروف الشدِّ البيئى. وقد اقتُرح أن التعبير الزائد للبروتين الـ SOD يمكن أن يُحسِّن من القدرة على تحمل التجمد فى النباتات. وبالفعل .. تم تحويل البرسيم الحجازى وراثيًّا بجين الـ Mn-SOD الميتوكوندرى والبلاستيدى (mitochondrial and chloroplast Mn-SOD) من النوع *Nicotiana plumbaginifolia*، وأظهرت النباتات المحولة وراثيًّا قدرًا أكبر من النشاط الكلى للـ SOD بالأوراق، واستعادة أكبر للنمو - على أساس إنتاج المادة الجافة بالنموات الخضرية - بعد تعرضها لحرارة التجمد. كذلك أدت زيادة التعبير الخاص بالجين Cu/Zn-SOD - من البسلة - فى التبغ والبيتونيا إلى إحداث خفض كبير فى الأضرار التى تحدث لعملية البناء الضوئى خلال ظروف التعرض للحرارة المنخفضة والإضاءة العالية، كما حفزت استعادة البناء الضوئى لمعدله الطبيعى بعد دورة من التجمد والتفكك (عن Gusta وآخرين ١٩٩٦).