إن أشد تأثيرات التجمد ضررًا هو إتلافه للأغشية البلازمية، ويرجع هذا الضرر — أساسًا — إلى الفقد المائى الحاد الذى يرافق التجمد. وتتكون دهون الأغشية البلازمية من نوعين من الأحماض الدهنية: غير مشبعة ومشبعة. وتتميز الأحماض الدهنية غير المشبعة بوجود واحدة أو أكثر من الروابط الزوجية بين ذرتى كربون (-CH = CH-)، بينما تكون الأحماض الدهنية المشبعة مشبعة تمامًا بذرات الأيدروجين فلا يوجد بها أى روابط زوجية (-CH_2 – CH_2-). وإنه لمن المعروف أن الدهون التى تحتوى على أحماض دهنية مشبعة تتصلب على حرارة أعلى عن تلك التى تتصلب عليها الدهون التى تحتوى على أحماض دهنية غير مشبعة. وبذا ..فإن التواجد النسبى للأحماض الدهنية غير المشبعة فى الأغشية يؤثر — بقوة — على مدى سيولة هذه الأغشية. وتعرف الحرارة التى يتحول عندها الغشاء من الحالة نصف السائلة إلى الحالة النصف بلورية بحرارة التحول transition temperature. وتحتوى النباتات الحساسة للبرودة — عادة — على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية المشبعة؛ ومن ثم فهى ذات حرارة تحول أعلى. وفى المقابل .. فإن الأنواع المقاومة للبرودة تتميز باحتوائها على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ ومن ثم فهى ذات حرارة تحول أقل (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).

التقييم لتحمل التجمد

اتسمت برامج التربية لتحمل التجمد بالبطء ومحدودية التقدم فيها، وأرجع ذلك إلى عدم وجود معايير للانتخاب، وتعقيد التحكم الوراثى، وضيق مدى التباين الوراثى فى معظم الأنواع المحصولية. ويستخلص من معظم الدراسات أن معيار البقاء (عدم الموت جراء التعرض لحرارة التجمد) تحت ظروف الحقل هو أفضل طريقة للانتخاب. وبالطبع فإن لتلك الطريقة مشاكلها؛ فالقدرة على البقاء لا تتوقف — فقط — على درجة الحرارة، وإنما يتحكم فيها عديد من العوامل الأخرى البيئية منها والحيوية. ويظل الأمل معقودًا فى تلك الاختبارات أن تكون درجة الحرارة هى العامل الوحيد المتحكم فى بقاء التراكيب الوراثية أو فنائها، وأن يكون الانخفاض الحرارى بالقدر الذى يؤدى إلى موت معظم التراكيب الوراثية الحساسة، وإلى إحداث درجات متباينة من الأضرار فى

التراكيب الوراثية المتوسطة التحمل، وإلى عدم ظهور أى أضرار بالتراكيب الوراثية المقاومة. وطبيعى أن تلك الظروف تكون — غالبًا نادرة الحدوث (Palta ١٩٩٢).

الطرق غير المباشرة لتقييم تحمل التجمد

يحاول الباحثون تجنب المشاكل المرتبطة بالتجمد المباشر للنباتات (مثل استخدام حجرات تجمد باهظة التكاليف، والخطأ التجريبى العالى) باقتراح طرق غير مباشرة لتقدير مستوى التقسية بدلاً من أضرار التجمد، كما يلى:

١- من المعلوم أن المحتوى الرطوبى للنباتات ينخفض أثناء تقسيتها، وخاصة فى التراكيب الوراثية الأكثر قدرة على تحمل التجمد. ولقد وجد أن المحتوى الرطوبى بعد التقسية يرتبط بتحمل التجمد والقدرة على البقاء خلال الشتاء القارص البرودة فى القمح.

٢- يعتقد بأن البرولين يلعب دورًا فى حماية النباتات التى تتعرض لأنواع مختلفة من الشدِّ، بما فى ذلك شدِّ الصقيع. وتتراكم كميات كبيرة من البرولين الحر فى الأوراق والفروع أثناء تقسية البرودة، ويرتبط هذا التراكم إيجابيًّا مع تحمل الصقيع فى مختلف التراكيب الوراثية. وبذا .. فإن تقدير محتوى البرولين بعد التقسية يمكن أن يوفر معلومات عن تحمل الأصناف المحتمل للتجمد.

٣- فى القمح .. يوجد ارتباط قوى بين درجة تحمل التجمد وتراكم بروتين معين تُنظِّم البرودة إنتاجه، ويعرف باسم WCS120. يمكن تقدير هذا البروتين باستعمال الأجسام المضادة الخاصة به، وبذا .. فإنه يمكن استعماله كمعلم جزيئى للانتخاب لأجل التجمد، حيث يمكن — بالتفاعل بين البروتين (الأنتجين antigen) والجسم المضاد له (antibody) — التمييز بين أصناف القمح المتحملة للصقيع والحساسة له.

٤- وجد فى فى القمح — كذلك — أن المقاومة الكهربائية لأنسجة البادرات وهى بعمر ثمانى أيام ترتبط بتحمل التجمد. ويفيد الاختبار كوسيلة لإسراع الانتخاب وزيادة عدد الأجيال عند التقييم فى ظروف متحكم فيها.

٥- يمكن كذلك الاستعانة بالمعلمات الجزيئية مثل RFLPs وغيرها للتعرف على تواجد الآليلات ذات التأثير الإيجابى فى تحمل البرودة الشديدة.

وعلى الرغم من جاذبية تلك الطرق غير المباشرة لتقدير تحمل التجمد (أو التحمل لأى شدٍ بيئى آخر)، فإنها لا تكشف سوى عن آليات قليلة من تلك التى يمكن أن تتحكم فى الاختلافات الوراثية لتحمل التجمد؛ وبذا .. فإنها لا تفيد — غالبًا — فى استكشاف كل الإمكانات الوراثية المحتملة فى برامج التربية (Saulescu & Braun ٢٠٠١).

الانتخاب لتحمل التجمد فى مزارع الخلايا

أظهرت الدراسات أن مستوى الأحماض الأمينية — وبخاصة البرولين — يزداد أثناء عملية التأقلم على الحرارة المنخفضة؛ ولقد وجد ارتباط جوهرى عال بين مستوى البرولين وتحمل الصقيع فى تراكيب وراثية تمثل مدى واسعًا من الأنواع النباتية. وبالانتخاب فى مزارع الأنسجة لزيادة محتوى كل من البرولين والهيدروكسى برولين اللذان يرتبطان بتحمل الصقيع .. أمكن إنتاج سلالات خلايا من القمح تحمل صفة القدرة الوراثية على تحمل الصقيع (عن Chawla ٢٠٠٠).

ولقد أمكن الاستفادة من المعلمات الكيميائية الحيوية الخاصة بتراكم البرولين فى الانتخاب فى المزارع للقدرة على تحمل الصقيع. وفى خدمة ذات الهدف .. أمكن انتخاب سلالات خلايا قادرة على تراكم البرولين بها بمعاملة المزارع بالهيدروكسى برولين hydroxyproline. وفى الذرة .. أمكن عزل سلالات مزارع متحملة للبرودة ويتراكم فيها البرولين بمعاملة الكالس بكل من حامض الأبسيسك والمانيتول mannitol.

كذلك أمكن الحصول على نباتات قمح متحملة للتجمد من نسيج كالس خضع لعملية التبريد الشديد إلى -١٩٦°م دون معاملة بالمواد الحامية من أضرار تلك المعاملة (أى دون معاملته بالـ cryprotectants)، وقد انتقلت تلك الصفة إلى النباتات التى تجدد نموها من ذلك الكالس وإلى نسلها (عن Remotti ١٩٩٨).