أمثلة لدراسات فى مجال التربية لتحمل التجمد

مصادر المقاومة للتجمد فى الأنواع البرية

من أمثلة المقاومة للتجمد فى الأنواع البرية القريبة لبعض الأنواع المحصولية، ما يلى (عن Singh ١٩٩٣):

المحصول	الأنواع البرية القريبة المقاومة
القمح	الراى، وبعض أنواع الـ *Agropyron*
الشعير	***H. jubatum*, *H. brachyantherum* x *H. bogdanii*, *H. jubantum* x *H. compressum*** والأخيران متضاعفان هجينيًّا **amphidiploids**
الشوفان	*Avena sterilis*
البطاطس	***Solanum* acaule, *S. megistacrolobum*, *S. multidisectum*, *S. vernei***

تربية البطاطس

يكون مجديًّا — إن أمكن — التنبؤ بوجود أو غياب صفات مرغوب فيها فى عشائر نباتية معينة. ولقد جرت محاولة لتحليل مدى ما يمكن أن تسهم به العوامل التقسيمية والجغرافية والبيئية فى التنبؤ بوجود صفة تحمُّل التجمد فى البطاطس البرية. وتم لهذا الغرض غربلة بيانات ١٦٤٦ عينة من ٨٧ نوعًا سبق جمعها من ١٢ دولة من الأمريكتين. ولقد وجدت علاقة قوية بين تحمل الصقيع والأنواع، وبدرجة أقل مع السلسلة series التقسيمية. كذلك وجدت تجمعات جوهرية لمناطق جغرافية فيها بطاطس بمستوى متشابه من تحمل الصقيع. ووجدت المستويات العالية من تحمل الصقيع فى وسط وجنوب الإنديز ببيرو، والأراضى المنخفضة من الأرجنتين والمناطق المتاخمة لها، وفى مساحة صغيرة من وسط الإنديز الشيلى. كذلك وجد أن فرصة العثور على بطاطس برية ذات مستويات عالية من القدرة على تحمل الصقيع تزداد فى المناطق التى ينخفض فيها متوسط الحرارة الدنيا السنوى عن ٣°م عما فى المناطق الأدفأ. هذا إلا إنه بسبب

تواجد كثير من أنواع البطاطس البرية فى مساحات صغيرة، فإن من الصعب فصل تشابك العوامل التقسيمية والبيئية والجغرافية عن بعضها البعض (Hijmans وآخرون ٢٠٠٣).

وقد قسم Richardson & Weiser (١٩٧٢) درجة تحمل الصقيع Frost Tolerance فى ٥٧ نوعًا من الجنس *Solanum* إلى المجموعات التالية:

١- أنواع تتحمل انخفاض درجة الحرارة إلى -٥°م وربما إلى أقل من ذلك، وهى:

S. acaule
S. chomatophilum
S. commersonii
S. x *juzepczukii*
S. multidissectum

٢- أنواع تتحمل انخفاض درجة الحرارة إلى -٤ إلى -٥°م، وهى:

S. ajanhuiri
S. x. *curtilobum*
S. demissum
S. megistacrolobum
S. microdontum
S. vernei

٣- أنواع تتحمل انخفاض درجة الحرارة إلى -٣ إلى -٤°م، وعددها ٢٤ نوعًا منها:

S.tuberosum ssp. *andigena*

٤- أنواع تتحمل انخفاض درجة الحرارة إلى -٢ إلى -٣°م، وعددها ١٦ نوعًا:

٥- أنواع تتحمل انخفاض درجة الحرارة إلى -١ إلى -٢°م وعددها ٦ أنواع، منها:

S. tuberosum ssp. *tuberosum*

كما أمكنهما الحصول على سلالات على درجة عالية من المقاومة للصقيع من بعض الأنواع المزروعة الحساسة للصقيع؛ مثل:

S. phureja

ومن التلقيح *S. phureja* x *S. tuberosum* ssp. *andigena*

ويدل ذلك على أن المقاومة للصقيع ربما كانت متنحية، أو يتحكم فيها جينات مكملة لبعضها البعض، أو يوجد بينها تفاعلات تفوق. كما تدل على إمكان انتخاب طرز مقاومة للصقيع من الطرز الحساسة.

وفى محاولة أخرى .. قسم Chen & Li (عن Li & Fennell ١٩٨٥، و Palta ١٩٩٢) ٢٤ نوعًا من الجنس *Solanum* إلى خمس مجموعات حسب كونها تتحمل الصقيع والبرودة أم حساسة لهما، وما إذا كانت تستجيب أم لا تستجيب (جدول ٤-١).

وتبعًا لهذا التقسيم .. فإن أربعة أنواع (هى *S. acaule*، و *S. commersonii*، و *S. multidissectum*، و *S. chomatophilum*) تتحمل — بعد أقلمتها بالبرودة — الانخفاض فى درجة الحرارة حتى -٨,٥°م إلى -١١,٥°م بينما وضعت البطاطس فى مجموعة الأنواع الحساسة للصقيع، التى لا تستجيب لمعاملة الأقلمة بالبرودة، والتى لا تتحمل انخفاض درجة الحرارة لأكثر من ثلاث درجات تحت الصفر.

تركزت معظم الدراسات الوراثية الخاصة بتحمل الصقيع على التهجين:

S. acaule x *S. tuberosum*

وقد وضحت سيادة صفة المقاومة للصقيع فى التهجين بين *S. tuberosum* وأى من الأنواع التالية:

S. acaule
S. bulbasovii
S. x *curtilobum*
S. demissum
S. x *juzepczukii.*

كما أظهرت هذه التلقيحات أن المقاومة للصقيع صفة كمية، برغم أنها قد تتضمن جينًا رئيسيًّا واحدًا مع الجينات الأقل تأثيرًا فى ظهور الصفة.

ولكن ظهر من التلقيح: *S. tuberosum* x *S. demissium* أن المقاومة للصقيع صفة بسيطة ذات سيادة غير تامة (Richardson & Weiser ١٩٧٢).

جدول (٤-١): تقسيم أنواع الجنس *Solanum* حسب تحملها للصقيع والبرودة واستجابتها لمعاملة الأقلمة بالبرودة.

المجموعة والأنواع	درجة الحرارة المميتة للنبات (م) قبل الأقلمة[أ]	بعد الأقلمة[ب]
المجموعة الأولى مقاومة للصقيع وتستجيب للأقلمة بالبرودة		
S. acaule (Oka 3885)	٦,٠-	٩,٠-
S. commersonii (Oka 5040)	٤,٥-	١١,٥-
S. multidissectum	٤,٠-	٨,٥-
S. chomatophilum	٥,٠-	٨,٥-
المجموعة الثانية مقاومة للصقيع ولا تستجيب للأقلمة بالبرودة		
S. bolviense	٤,٥-	٤,٥-
S. megistacrolobum (Oka 3914)	٥,٠-	٥,٠-
S. sanchae-rosae Oka 5697)	٥,٥-	٥,٥-
المجموعة الثالثة: حساسة للصقيع وتستجيب للأقلمة بالبرودة		
S. oploocense (Oka 4500)	٣,٠-	٨,٠-
S. polytrichon (PI184773)	٣,٠-	٦,٠-
المجموعة الرابعة: حساسة للصقيع ولا تستجيب للأقلمة بالبرودة		
S. brachistotrichum	٣,٠-	٣,٠-
S. cardiophyllum	٣,٠-	٣,٠-
S. fendleri	٣,٠-	٣,٠-
S. jamesii	٣,٠-	٣,٠-
S. kurtzianum	٣,٠-	٣,٠-
S. microdontum	٣,٠-	٣,٠-
S. pinnatisectum	٣,٠-	٣,٠-
S. stenotomum (PI 195188)	٣,٠-	٣,٠-
S. stoloniferum	٣,٠-	٣,٠-
S. sucrense	٣,٠-	٣,٠-
S. tuberosum	٣,٠-	٣,٠-
S. venturii	٣,٠-	٣,٠-
S. vernei	٣,٠-	٣,٠-

تابع جدول (٤-١).

المجموعة والأنواع	درجة الحرارة المميتة للنبات (°م)	
	قبل الأقلمة(أ)	بعد الأقلمة(ب)
S. verrucosum	-٣,٠	-٣,٠
المجموعة الخامسة: حساسة للبرودة		
S. trifidum	-٣,٠	تموت(جـ)

(أ) كانت ظروف النمو للنباتات غير المؤقلمة بالبرودة – قبل تعريضها للبرودة الفائقة – هي: ٢٠°م نهارًا، و ١٥°م ليلاً، مع ١٤ ساعة فترة ضوئية.

(ب) كانت ظروف الأقلمة بالبرودة – قبل تعريض النباتات للبرودة الفائقة – هي ٢°م ليلاً ونهارًا، مع ١٤ ساعة فترة ضوئية.

(جـ) كانت النباتات ميتة عقب تعريضها لحرارة ٢°م ليلاً ونهارًا لمدة ٢٠ يومًا.

وأوضحت دراسة أجريت على أنواع برية من الجنس *Solanum* وأصناف تجارية من البطاطس من حيث تحملها للبرودة قبل وبعد تقسيتها على ٤°م لمدة ١٢ يومًا إمكان تقسيمها إلى ثلاث فئات، كما يلى:

١- فئة مقاومة للتجمد وتستجيب لمعاملة التقسية، حيث انخفضت فيها الـ LT_{50} (الحرارة المنخفضة التى تؤدى إلى موت ٥٠٪ من النباتات) من -٢ إلى -٤,٥°م قبل معاملة التقسية إلى -٩°م بدها، وتضمنت الأنواع البرية *S. acaule*، و *S. sogarandium*، و *S. multidisectum*.

٢- فئة مقاومة للتجمد ولكنها لا تستجيب كثيرًا لمعاملة التقسية حيث انخفضت فيها الـ LT_{50} من -٢°م قبل معاملة التقسية إلى -٤°م بعدها، وتضمنت النوع *S. polyadenium*.

٣- فئة حساسة للتجمد ولا تستجيب لمعاملة التقسية حيث انخفضت فيها الـ LT_{50} من حوالى صفر°م قبل معاملة التقسية إلى -١,٥ إلى -٢,٠°م بعد المعاملة (Irzykowski وآخرون (١٩٩٦).

ومن أكثر أنواع البطاطس البرية تحملاً للصقيع – معبرًا عن صفة القدرة على التحمل بنسبة الأنسجة التى لم تظهر عليها أضرارًا بعد تعرضها لموجتى صقيع على -٢°م وموجة واحدة على -٥°م – ما يلى (عن Hijmans وآخرين ٢٠٠٣).

النوع	عدم الضرر (٪)
S. acaule	١٠٠
S. albicans	١٠٠
S. commersonii	٩٩
S. paucissectum	٩٢
S. demissum	٩٢
S. etuberosum	٨٢
S. megistarcrolonum	٨٣
S. sanctae-rosae	٨٦

هذا .. إلا أن بعض الأنواع شديدة التحمل للبرودة — مثل *S. commersonii* — قد يكون مرد تحملها للصقيع فى بيئتها الأصلية إلى قضائها الشتاء على صورة درنات ساكنة تحت الأرض، فى الوقت الذى تموت فيه نمواتها الخضرية (Griffith وآخرون ١٩٩٤).

يُستدل من الدراسات التى أجريت على البطاطس والتى استخدمت فيها سلالة من *S. commersonii* (تتحمل التجمد حتى -٣,٩°م وتتأقلم خلال ١٠ أيام من البرودة إلى تحمل حرارة -٧,٢°م)، و *S. cardiophyllum* (تتحمل التجمد حتى -١,٦°م وغير قادرة على التأقلم عند تعرضها للبرودة) على ما يلى:

١- لكل من صفتى تحمل التجمد والقدرة على التأقلم نظامها الوراثى المستقل.

٢- كلتا الصفتين كمية فى وراثتها، وإن كان لكل منهما جينات رئيسية قليلة تتحكم فيها (Palta ١٩٩٢).

تربية الكرنب

درس Dickson & Stamer (١٩٧٠) الارتباط بين نسبة المادة الجافة وتحمل الصقيع فى عدد من أصناف الكرنب وكرنب بروكسل. تراوحت نسبة المادة الجافة فى هذه الأصناف من ٦,٥٪-١٨٪، وتراوحت درجة توريث تلك الصفة من ٠,٥٠-٠,٦٠، وكانت نسبة المادة الجافة مرتبطة — جوهريًا — مع نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية.

وقد وجد الباحثان علاقة وثيقة بين نسبة المادة الجافة والمقاومة للصقيع؛ حيث ازدادت المقاومة كلما ازدادت نسبة المادة الجافة كما هو موضح فى جدول (٤-٢).

جدول (٤-٢): العلاقة بين نسبة المادة الجافة وتحمل الصقيع فى أصناف الكرنب وكرنب بروكسل.

معاملة البرودة	نوع الضرر	متوسط نسبة المادة الجافة (والمدى)	عدد النباتات
-٥°م	نباتات متجمدة	٧,٤ (٨,٦-٦,٤)	٦٨
	أضرار بأطراف الأوراق فقط	٨,٥ (٩,٢-٧,٤)	٩٦
	أضرار بسيطة	٩,١ (١٠,٣-٨,٣)	٦٤
	لا توجد أضرار	١١,١ (١٣,٥-٩,٠)	٥٤
-١٥°م	نباتات متجمدة	٨,٥ (١٠,٣-٧,١)	٣٣
	نباتات متجمدة جزئيًا	٩,٣ (١١,٣-٨,٢)	١١
	لا توجد أضرار	١٣,٤ (١٦,٤-١٠,٣)	٢٢

تربية الحبوب الصغيرة

وجد أن مقاومة التجمد فى مختلف الحبوب الصغيرة صفة كمية، وتكون الجينات فى بعضها ذات تأثيرات إضافية، وفى بعضها الآخر ذات تأثيرات غير إضافية، كما وجدت فى بعض الدراسات أن صفة مقاومة التجمد سائدة جزئيًا، ووجدت فى دراسات أخرى أن صفة الحساسية للتجمد سائدة جزئيًا كذلك. وقد فسرت تلك النتائج المتضاربة على أساس اختلاف بروتوكولات التجمد التى اتبعت فى مختلف الدراسات. فعندما كان شدّ التجمد قاسيًا كانت الحساسية للتجمد سائدة، بينما فى ظروف شدّ التجمد المعتدلة كانت صفة تحمل التجمد هى السائدة (Palta ١٩٩٢).

جينات تحمل التجمد وتأثيراتها

إن تحمل التجمد صفة كمية، فالحرارة المنخفضة تنشط عمل عدد من الجينات، مثل تلك التى تشفر للـ dehydrins، والـ lipid transfer proteins، والـ late-embryogensis-abundant proteins.