جهود التربية لتحمل الحرارة المنخفضة

نستعرض — فيما يلى — الجهود التى أجريت فى مجال التربية لتحمل الحرارة المنخفضة — فى عدد من المحاصيل الزراعية — سواء ما يتعلق منها بطرق التقييم المستخدمة، أم بالأساس الفسيولوجى للصفة، أم بمصادرها، أم بوراثتها. ونقدم هذا العرض فى المجالات الثلاثة لهذا الموضوع؛ وهى: إنبات البذور، ونمو النباتات، وعقد الثمار.

تربية الطماطم

تحسين إنبات البذور

ترجع أهمية التربية لتحسين إنبات البذور فى درجات الحرارة المنخفضة إلى أن ذلك يساعد على ما يلى:

١- إمكانية الزراعة مبكرًا فى شهر يناير، دونما حاجة إلى تدفئة المشاتل لتشجيع الإنبات.

٢- تجانس الإنبات؛ ومن ثم .. تجانس النضج فى حقول الحصاد الآلى التى تزرع بالبذور مباشرة؛ الأمر الذى يزيد من كفاءة عملية الحصاد (عن De Vos وآخرين ١٩٨١).

ونتناول الموضوع — فيما يلى — من حيث التباينات فى الصفة، ووراثتها، وطبيعتها.

التباينات الوراثية فى قدرة البذور على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة

قام Soctt & Jones (١٩٨٢) بمقارنة ١٨ سلالة تنمو بريًّا فى الجبال على ارتفاعات كبيرة — حيث تكون الحرارة منخفضة — وتمثل خمسة أنواع من الجنس *Lycopersicon*، مع ١٩ سلالة من الطماطم تتميز بقدرة بذورها على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة وتوصل الباحثان إلى النتائج التالية:

١- أظهرت سلالة الطماطم P.I.120256 (وهى أهم سلالات الطماطم المعروفة بقدرتها على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة) أعلى قدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة، مقارنة بجميع سلالات الطماطم الأخرى؛ حيث أنبتت ٣٠٪ من بذورها

خلال ١٢ يومًا على حرارة ١٠°م؛ وتساوت فى ذلك مع السلالة P.I.126435 من النوع البرى *L. peruvianum*.

٢- أنبتت بذور السلالة LA 460 من النوع البرى *L. chilense* بنسبة ١٠٠٪ خلال ١٢ يومًا على حرارة ١٠°م، علمًا بأن صفات ثمارها ليست أسوأ حالاً من أكثر سلالات الطماطم قدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة التى تبرز من ثمارها خطوط خضراء متعرجة. ويبين جدول (٣-١) مقارنة بين السلالتين فى القدرة على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة، كما تميزت السلالة البرية بأن نموها الجذرى كان أطول كثيرًا من سلالة الطماطم خلال أيام قليلة من بدء الإنبات.

جدول (٣-١): مقارنة بين السلالتين *L. esculentum* P.I.120256، و *L. chilense* LA460 من حيث قدرة بذورهما على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة.

معاملة الإنبات	النسبة المئوية للإنبات فى السلالة	
	P.I.120256	LA 460
١٠°م لمدة ١٤ يومًا	٤٠	١٠٠
٩°م لمدة ١٤ يومًا	قليل جدًا	٩٩
٨°م لمدة ١٤ يومًا	صفر	٤٠
٨°م لمدة ٢٠ يومًا	صفر	١٠٠

٣- أظهرت السلالات البرية التالية قدرة على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة:

L. peruvianum P.I.127831, LA 1474 & P.I.127832.

L. hirsutum P.I.127826 & LA 386.

كما اختبر Michalska (١٩٨٥) ٣٥ سلالة من النوع *L. esculentum*، وواحدة من *L. pmpinellifoium*، و ٩ من *L. hirsutum*، وواحدة من *L. glandulosum* للقدرة على الإنبات فى حرارة ٥°م، ووجد أن خمسًا منها قادرة على الإنبات فى هذه الظروف؛ وهى:

L. esculentum P.I.341985, P.I.341994 & P.I.341988

L. hirsutum P.I.127827 & LA 386.

وراثة قدرة البذور على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة:

أجريت عدة دراسات على وراثة صفة القدرة على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة، تبين منها أن هذه الصفة متنحية، وذات درجة توريث مرتفعة، ويتحكم فيها من ١-٣ أزواج من الجينات. فقد وجد أن الصفة يتحكم فيها جين واحد فى سلالة الطماطم P.I.341984، وثلاثة أزواج على الأقل فى سلالة الطماطم P.I.341985، كما وجد Cannon وآخرون (١٩٧٣) أن قدرة سلالة الطماطم P.I.341988 على الإنبات فى حرارة ١٠°م يتحكم فيها جين واحد متنح. وأظهرت دراسات Ng & Tigchelaar (١٩٧٣) أن هذه الصفة يتحكم فيها ٣-٥ أزواج من العوامل الوراثية المتنحية، وأن درجة توريثها تقدر بنحو ٩٧٪ على النطاق العريض، و ٦٦٪ على النطاق الضيق.

كذلك تبين من دراسات De Vos وآخرين (١٩٨١) على ٧ سلالات وأصناف من الطماطم تتباين فى قدراتها على الإنبات فى حرارة ١٠°م — وهى P.I.120256، و P.I.341985، و P.I.341988، و P.I.280597، و Kanatto، و Nova، و Early Red Rock — أن هذه الصفة متنحية جزئيًا، ويكون فيها التأثير الأمى والتأثير الإضافى جوهريين، بينما يكون التفاعل غير الآليلى قليل الأهمية. وقدرت الدراسة درجة توريث الصفة بنحو ٨٥٪ على النطاق العريض و ٦٩٪ على النطاق الضيق.

وأخيرًا .. أظهرت دراسات Michalska (١٩٨٥) أن صفة قدرة بذور سلالة الطماطم P.I.341985 على الإنبات فى حرارة ٥°م يتحكم فيها جين واحد ذو سيادة غير تامة، مع احتمال وجود بعض الجينات المحورة.

طبيعة القدرة على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة

لا ترجع القدرة على الإنبات فى درجة الحرارة المنخفضة إلى قدرة خاصة للنمو فى هذه الظروف؛ فبمقارنة سلالة الطماطم P.I.341985 القادرة على الإنبات فى ١٠°م بالصنف سنتنيال Centennial الذى لا تتوفر به هذه الصفة، وعدد من سلالات الجيل الرابع — للتلقيح بينهما — التى تختلف فى هذه الخاصية .. كانت جميعها متشابهة فى معدل نمو الجذير عند هذه الدرجة.

وقد أدى نقع البذور فى محلول لـنترات البوتاسيوم وفوسفات أحادى البوتاسيوم، بنسبة ١,٨٪ لكل منهما، لمدة ١–٨ أيام إلى تحسين الإنبات فى كل من السلالة P.I.341985، والصنف سنتنيال على حرارة ١٠°م، إلاّ أن التحسن فى إنبات الصنف لم يصل إلى مستوى الإنبات فى السلالة؛ أى إن التأثير البيئى لم يرقَ إلى مستوى التأثير الوراثى.

ويبدو أن عدم القدرة على الإنبات فى حرارة ١٠°م يرجع – جزئيًّا – إلى أن البرودة تحفز البذرة على تكوين مواد مانعة للإنبات. وقد أدت إضافة الكربون المنشّط activated carbon إلى بيئة إنبات البذور إلى تحسين الإنبات فى حرارة ١٠°م بالنسبة للسلالات غير القادرة – أصلاً – على الإنبات فى تلك الدرجة، بينما لم يكن لهذه المعاملة أى تأثير على السلالات القادرة على الإنبات فى حرارة ١٠°م (Maluf & Tigchelaar ١٩٨٢).

وقد وجد أن الماء الذى تنقع فيه بذور سلالة الطماطم P.I.341984 (وهى سلالة قادرة على الإنبات فى درجات الحرارة المنخفضة) يحفز إنبات بذور نفس السلالة والسلالات الأخرى الحساسة للبرودة، بينما كان الماء الذى نقعت فيه بذور الصنف رد روك Red Rock (الحساس للبرودة) مثبطًا لإنبات بذور نفس الصنف والسلالة المقاومة للبرودة فى درجات الحرارة المنخفضة (Abdul-Baki & Stoner ١٩٧٨).

ويذكر أنه قد تحدث تغيرات فى الأغشية الخلوية للأصناف الحساسة للبرودة لدى تعرضها لدرجات حرارة منخفضة. كما وجد Maluf & Tigchelaar (١٩٨٠) أن القدرة على الإنبات فى حرارة ١٠°م فى سلالة الطماطم P.I.341985 ترتبط بزيادة فى نشاط إنزيم بيروكسيديز Peroxidase خلال الأيام العشرة الأولى للإنبات عند هذه الدرجة.

وفى دراسة أخرى أجريت على عدد من السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة isogenic lines – التى تتفاوت فقط فى قدرتها على الإنبات فى حرارة ١٠°م – قارن Maluf & Tigchelaar (١٩٨٢) محتوى بذور هذه السلالات من الأحماض الدهنية،

ووجد الباحثان أن قدرة البذور على الإنبات فى حرارة ١٠°م ترتبط سلبيًّا بمحتواها من حامض الأوليك Oleic acid (معامل الارتباط r = ٠,٨١ وجوهرى جدًّا)، وإيجابيًّا بمحتواها من حامض اللينوليك Linoleic acid (معامل الارتباط r = ٠,٧١ وجوهرى جدًّا). ولم يتأثر محتوى البذور من الأحماض الدهنية بفترة الحضانة على ١٠°م؛ كما تشابه محتوى الأحماض الدهنية فى البذور كلها مع محتوى الأحماض الدهنية فى الأغشية الخلوية.

وقد لاحظ الباحثان أن نسبة الزيادة فى حامض اللينوليك فى السلالات القادرة على الإنبات فى حرارة ١٠°م كانت مماثلة لنسبة النقص فى حامض الأوليك (معامل الارتباط r لنسبة الحامضين = ٠,٧٩ وجوهرى جدًّا). واقترح الباحثان أن الجينات المسئولة عن قدرة البذور على الإنبات — فى درجات الحرارة المنخفضة — تؤدى إلى زيادة حالة عدم تشبع حامض الأوليك إلى حامض اللينوليك أثناء تكوين البذور.

ويستدل من دراسة أجريت على سلالة طماطم قادرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة (١٢°م) هى P.I.341988، وصنف حساس للبرودة هو UC82B أن المانع الرئيسى لإنبات البذور — فى التراكيب الوراثية الحساسة — فى الحرارة المنخفضة هو طبقة الإندوسبرم، كما أظهرت السلالة المتحملة معدلاً أعلى لتنفس البذور عما حدث فى بذور UC82B؛ بما يعنى زيادة نشاطها الأيضى فى ظروف الحرارة المنخفضة (Leviatov وآخرون ١٩٩٣).

نمو النباتات

من الوسائل الكمية التى استخدمت فى تقييم مقاومة نباتات الطماطم للبرودة قياس مدى استشعاع الكلوروفيل Chlorophyl Fluorescence؛ نظرًا لما تحدثه البرودة من تأثيرات فى المحتوى الكلوروفيللى فى السلالات الحساسة (Kamps وآخرون ١٩٨٧). وقد استخدم هذا الاختبار بواسطة Walker وآخرين (١٩٩٠) فى تقييم تحمل البرودة فى الطماطم والأنواع البرية القريبة منها؛ حيث وجدوا أن نسبة الاستشعاع المبدئية (F_o) إلى الاستشعاع المقدر بعد

التعرض لمعاملة الحرارة المنخفضة (F_p) تزيد بزيادة الحساسية للبرودة (كما فى الصنفين H2653، و H722)، بينما تبقى النسبة منخفضة فى التراكيب الوراثية التى تتحمل البرودة (كما فى النوع البرى *Solanum lycopersicoides* والجيل الأول بينه وبين صنف الطماطم صب أركتك ماكسى Sub-Arctic Maxie، الذى لم تظهر به سوى أضرار قليلة من جراء التعرض لمعاملة البرودة). وتمشيًا مع تلك النتائج .. تباينت نسبة F_o إلى F_p فى ٢٥ سلالة من الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الثانى (إلى السلالة H722) للهجين *L. hirsutum* x H722؛ حيث تراوحت النسبة بين مداها فى الأبوين (البرى والمزروع)؛ مما يدل على أن بعض هذه السلالات اكتسبت بعض القدرة على تحمل البرودة من النوع *L. hirsutum*.

وفى مجال التقييم لتحمل البرودة .. اختبر Wolf وآخرون (١٩٨٦) خمس سلالات من ثلاثة أنواع برية، مقارنة بسلالة الطماطم السريعة الإنبات فى الحرارة المنخفضة P.I.341988، والصنف الحساس للبرودة UC82. كانت السلالات المختبرة قد وجدت نامية – فى مواطنها الأصلية – على ارتفاعات تزيد على ٣٠٠٠ متر؛ ولذا .. افترض تحملها للبرودة؛ بسبب طبيعة الجو السائد فى هذه الارتفاعات؛ وهى كما يلى:

L. hirsutum LA 1363 & LA 1777

L. chilense LA 1969 & LA 1971

Solanum lycopersicoides LA 1964

وقد استخدم الباحثون فى دراستهم عدة اختبارات، وكانت النتائج كما يلى:

١- أنبتت بذور سلالة الطماطم P.I.341988 أسرع من الصنف UC82 وسلالات الأنواع البرية فى حرارة أعلى من ١٠°م، وتوقف إنباتها تقريبًا فى حرارة ١٠°م، بينما استمرت السلالات البرية فى الإنبات ببطء على حرارة أقل من ١٠°م.

٢- زاد معدل النمو فى سلالات الأنواع البرية عما فى الصنف UC82 عندما خفضت درجة الحرارة من ١٨/٢٤°م (نهار/ليل) إلى ٦/١٢°م (نهار/ليل).

٣- أدى تعريض الأوراق لحرارة ١°م إلى انخفاض استشعاع الكلوروفيل، ولكن النقص كان أكبر فى الصنف الحساس للبرودة UC82، مقارنة بالأنواع البرية.

هذا .. ويمكن الاعتماد على صفة القدرة على النمو فى درجة الحرارة المنخفضة؛ كأساس لتقييم تحمل البرودة. ويمكن — فى هذا الاختبار — اتخاذ الفترة الزمنية — التى تمر بين تكوين ورقتين متتاليتين — دليلاً على مدى تأثر النمو النباتى بالبرودة.

وقد تمكن Patterson & Payne (١٩٨٣) من انتخاب نباتات — من التهجين الرجعى الثانى للطماطم — مماثلة فى مقاومتها للبرودة لسلالة النوع *L. hirsutum* التى استخدمت فى التلقيح الأصلى. واعتمد الباحثان فى ذلك الاختبار على مدى قدرة النباتات على تكوين الأوراق الحقيقية الأولى عند تعرضها يوميًا لحرارة ١°م ليلاً (لمدة ١٦ ساعة)، و ٢٠°م نهارًا (لمدة ٨ ساعات). وقد كان نسل النباتات المنتخبة قريبًا من السلالة البرية أو مماثلاً لها فى صفة القدرة على تحمل البرودة؛ وهو ما يعنى إمكان استخدام حرارة الليل المنخفضة كوسيلة غير قاتلة لاختبار مدى مقاومة النباتات للبرودة خاصة أن صفة القدرة على تحمل البرودة قد تطورت فى مثل هذه السلالات البرية أثناء نموها فى ظروف يسود فيها الجو البارد ليلاً والمعتدل نهارًا.

ومن جهة أخرى .. فقد تبين من دراسات Maisonneuve وآخرين (١٩٨٦) أن الانتخاب للقدرة على تحمل البرودة (١٥°م نهارًا/٨°م ليلاً) لم يكن فعالاً عندما أجرى على أساس اختبار مدى تحمل حبوب اللقاح لهذه الظروف.

هذا .. ويبدو واضحًا من الدراسات التى أجريت على السلالات البرية التى تنمو طبيعيًا على ارتفاعات كبيرة فى جبال الإنديز أن ميكانيكية مقاومتها للبرودة تعتمد على أمرين، هما:

١- بطء تحلل الكلوروفيل فيها عند تعرضها لظروف الليل البارد.

٢- سرعة تعويض الكلوروفيل المفقود منها ليلاً بمجرد تعرضها لضوء النهار.

كما يبدو أن تأقلم هذه النباتات على الحرارة المنخفضة يتمشى مع النظام الحرارى السائد فى مناطق انتشارها التى تنخفض فيها الحرارة ليلاً إلى الصفر المئوى، بينما ترتفع نهارًا إلى ٢٠°م؛ وعليه .. فإن أفضل وسيلة لانتخاب نباتات تتحمل البرودة هى تعريض النباتات لظروف مماثلة، وليس لدرجة حرارة منخفضة ثابتة (Patterson ١٩٨٨).

وقد وجد أن نمو واكتمال تكوين ومساحة الورقة الخامسة من القمة النامية فى الطماطم — فى ظروف الحرارة المنخفضة (١٢°م) — يمكن اعتبارها دليلاً جيدًا على إمكان نمو الطماطم خضريًا فى الحرارة المنخفضة (Hoek وآخرون ١٩٩٣).

ويُعد صنف الطماطم Siberia من الأصناف المتحملة للبرودة (عن Giroux & Fillion ١٩٩٢).

أما عن مصادر القدرة على تحمل البرودة فى الجنس *Lycopersicon* .. فقد وجدت — أساسًا — فى بعض سلالات النوع البرى *L. hirsutum*. وخاصة تلك التى وجدت نامية على ارتفاعات شاهقة فى مواطنها الأصلية. فمثلاً .. أوضحت دراسات Zamir وآخرون (١٩٨١) أن السلالة LA 1777 للنوع *L. hirsutum* — وهى التى تنمو على ارتفاع ٣٢٠٠ متر على جبال الإنديز — ذات قدرة عالية على تحمل البرودة؛ وظهر ذلك فى عدة صور كما يلى:

١- أنبتت بذورها فى درجات الحرارة المنخفضة.

٢- أمكنها إكمال دورة حياتها فى ظروف انخفضت فيها درجة الحرارة الصغرى — غالبًا — عن ٦°م.

٣- تكون فيها الكلوروفيل — أثناء تعرضها لدرجة الحرارة المنخفضة — بصورة أفضل مما فى السلالات الأخرى.

٤- كانت حركة السيتوبلازم الدورانية فيها — أثناء تعرضها للحرارة المنخفضة — أسرع مما فى السلالات الأخرى.

٥- بينما يتغير لون نباتات الطماطم العادية إلى اللون الأسود — إذا عرضت النباتات للظلام لمدة ٢٤ ساعة فى حرارة ١٠°م — فإن نباتات هذه السلالة لم تتأثر بهذه الصورة. وقد نمت بصورة جيدة فى نظام حرارى ١٢/٥°م (نهار/ليل).

كذلك تتوفر صفة تحمل البرودة فى السلالة LA 1363 من *L. hirsutum*، والسلالة LA 1969 من *L. chilense*، وكلتاهما وجدت نامية على ارتفاع نحو ٣٠٠٠ متر فى جبال الإنديز، ونمت — بشكل جيد — فى ظروف حرارية ٢٠/صفر°م (نهار ٨ ساعات/ليل ١٦ ساعة)، بينما لم تكون الطماطم أوراقًا حقيقية تحت هذه الظروف.

وأمكن باختبار ٢٧٠ سلالة وهجين من الطماطم و ٤٠ سلالة من الأنواع البرية لجنس الطماطم انتخاب ٧ سلالات طماطم و ١١ سلالة برية كانت قادرة على إكمال نموها فى حرارة تربة منخفضة، كانت منها السلالة 80xHRM19؛ التى أمكن باستخدامها كأصل تبكير الزراعة بنحو ٥٠ يومًا فى الربيع قبل حلول الجو الدافئ، ومن ثم الحصاد مبكرًا (Meissner & Mandel — ٢٠١٠ — الإنترنت).

وفى سلسلة من البحوث المنشورة — قدم لها Smeets & Hagenboom (١٩٨٥) — أجريت دراسة موسعة عن الاختلافات بين أصناف الطماطم فى الصفات الفسيولوجية ومدى إمكانية الاستفادة من هذه الصفات أو بعضها فى التربية للقدرة على النمو والعقد والإثمار الجيد فى ظروف الحرارة المنخفضة؛ بهدف تربية أصناف جديدة تصلح للزراعة فى هذه الظروف. ويذكر الباحثان — استنادًا إلى دراسات أخرى سابقة — أن خفض حرارة البيوت المحمية بمقدار درجة أو درجتين أو ثلاث أو أربع أو خمس درجات مئوية يوفر فى تكاليف التدفئة — تحت ظروف هولندا — بمقدار ٨٪، و ١٢٪، و ١٥٪، و ٢٢٪، و ٢٧٪ على التوالى؛ وعليه بدأت الدراسة بتقييم ١٦ صنفًا من الطماطم للصفات التالية تحت ظروف الحرارة المنخفضة: معدل النمو النسبى Relative Growth Rate، والكفاءة التمثيلية Net Assinilation Rate، ونسبة المساحة الورقية Leaf Area Ratio، ووزن الأوراق الطازج Specific Leaf Weight، ونسبة وزن الأوراق Leaf Weight Ratio، وصافى البناء الضوئى Net Photosynthesis، والتنفس الظلامى Dark Respiration، ومقاومة الثغور Stomatal Resitance، ومحتوى النبات من كل من السكريات، والنشا، والنترات، والنيتروجين المختزل، والفوسفور، والبرولين.

وتلا ذلك دراسة وراثة هذه الصفات — تحت ظروف الحرارة المنخفضة — باختبار تلقيحات دايلل Diallel Crosses بين الستة عشر صنفًا. وكان من نتائج هذه الدراسة أن وجدت اختلافات واضحة بين الأصناف — تحت ظروف الحرارة المنخفضة ليلاً والإضاءة الضعيفة نهارًا — فى كل من صافى البناء الضوئى، والتنفس الظلامى (Van de Dijk &

Maris ١٩٨٥)، ومقاومة الثغور، ووزن الأوراق الطازج؛ حيث بدا أن الأصناف ذات الوزن الورقى الأقل كانت أكثر تأقلمًا (Van de Dijk ١٩٨٧).

وعن وراثة القدرة على تحمل البرودة .. وجد Kamps وآخرون (١٩٨٧) — من دراستهم على الهجين الجنسى بين صنف الطماطم صب أركتك ماكسى، والنوع *S. lycopersicoides* أن تلك الصفة سائدة، وليست سيتوبلازمية.

عقد الثمار

كانت بداية التقييم على العقد فى درجات الحرارة المنخفضة فى الأصناف التجارية، ثم انتقلت بعد ذلك إلى سلالات الطماطم غير المحسنة، ثم إلى الأنواع البرية القريبة. ونذكر — فيما يلى — جانبًا من الجهود التى بذلت فى هذا المجال.

قُيم Curme (١٩٦٢) عددًا من أصناف الطماطم فى نظام حرارى ٢٣/٧°م (نهار/ليل). ووجد اختلافات كبيرة فيما بينها؛ حيث تراوحت نسبة العقد فيها — تحت هذه الظروف — من ٢٪ إلى ٦٠٪. وذكر Minges (١٩٧٢) القدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة ضمن الأصناف: إيرلى نورث Earlinorth، ورد كوشن Red Cushion، ووسكنس تشيف Wisconsin Chief. وفى الهند .. أجرى Nandpuri وآخرون (١٩٧٥) اختبارًا تحت الظروف الطبيعية اشتمل على ٢٤ صنفًا، ووجدوا أن أكثر الأصناف قدرة على العقد فى الجو البارد هى: كولد ست Cold Set، وأفلانش Avalanche، وإلاليهين Illalihin.

وفى كندا .. أجرى Kemp (١٩٦٨) تقييمًا شمل ١٩ صنفًا وسلالة من الطماطم، ووجد أن أكثرها قدرة على الإنبات والنمو والإزهار والعقد فى الحرارة المنخفضة هى الأصناف: كولد ست، وإيرلى نورث، وبونيتا، وأزربدزفسكى Azrbidzivsky، والسلالتان: P.I.205040، و P.I.280597. كما ذكر Smith & Millett (١٩٦٨) أن السلالة الأخيرة (P.I.280597) تنتج حبوب لقاح بوفرة فى حرارة ١٠°م، وتعقد بصورة جيدة فى نظام حرارى ٢٠/٧°م (نهار/ليل).

وفى Montfavet بجنوبى فرنسا .. اختبر Maisonneuve & Philouze (١٩٨٢) ٣١ صنفًا

وهجينًا من الطماطم للقدرة على إنتاج حبوب لقاح بوفرة تحت ظروف صوبات غير مدفأة شتاء، وصلت فيها درجة الحرارة إلى أقل من ١٠°م لعد أسابيع، بينما كانت نباتات المقارنة نامية فى صوبة مدفأة. وقد درس الباحثان إنتاج حبوب اللقاح (بالوزن لكل زهرة) وحيويتها (معبرًا عنها بنسبة حبوب اللقاح التى تصبغ بالأسيتوكارمن acetocarmine). وقد وجدا توافقًا عاليًا بين ترتيب الأصناف حسب قدرتها على العقد وبين حيوية حبوب اللقاح التى تنتجها، وكانت أقل الأصناف حساسية للحرارة المنخفضة هى: Espalier، و Precoce، و Apeca، و Apedice، و 63-4 Montfavet، و Pinkdeal، و 63-5 Montfavet، و Lucy، و Super Marmande. وقد تميزت هذه الأصناف بقدرتها — تحت ظروف البرودة — على إنتاج من ٢٠٪–٥٠٪ من حبوب اللقاح التى تنتجها — عادة — مع حيوية لا تقل عن ٧٠٪.

وفى مصر .. اختبر Radwan وآخرون (١٩٨٦) ٤٣ صنفًا وسلالة من الطماطم تحت ظروف الحرارة المنخفضة شتاء، ووجدوا أن أكثرها إنتاجية وقدرة على العقد السلالتان إف إم ٥٢٠٠٩ FM52009، ويوسى ٧٨ دبليو ٢٩ UC 78 W29، والصنف يوسى ٨٢ UC 82.وتتوفر القدرة على العقد فى الجو البارد فى الصنفين الكنديين صب أركتك ماكسى Harris) Sub-Arctic Maxi ١٩٧٥أ)، وصب أركتك شيرى Harris) Sub-Arctic Cherry ١٩٧٥ب).

وفى إطار البحث عن مصادر للقدرة على العقد فى درجات حرارة أكثر انخفاضًا .. اتجه الباحثون إلى الأنواع البرية. فقام Patterson وآخرون (١٩٧٨) بدراسة القدرة على النمو والعقد فى درجات الحرارة المنخفضة فى عدد من سلالات النوع *L. hirsutum* التى تنمو — بريًا — على ارتفاعات مختلفة من سطح البحر فى بيرو وإكوادور، ووجدوا أن أكثرها قدرة على تحمل البرودة السلالات التى جمعت من على ارتفاعات عالية من بيرو.

ويذكر Zamir وآخرون (١٩٨١) أن السلالة LA 1777 من النوع *L. hirsutum* تعد من أفضل مصادر القدرة على تحمل الحرارة المنخفضة؛ فهى تنمو وتعقد ثمارها بصورة طبيعية فى الجو البارد، وتنبت حبوب لقاحها بنسبة ١٠٠٪ فى خلال خمسة أيام على حرارة ٥°م. وتنمو هذه السلالة فى بيئتها الأصلية فى بيرو على ارتفاع ٣٢٠٠ متر فى جبال

الإنديز. كذلك وجدت خاصية القدرة على إنتاج حبوب اللقاح، وإنباتها، وعقد الثمار فى الحرارة المنخفضة فى ثلاث سلالات أخرى من *L. hirsutum* هى: LA 1393، و LA 1363، و LA 1366؛ وجميعها تنمو طبيعيًّا على ارتفاعات كبيرة (عن Patterson ١٩٨٨).

وقد تمكن R. Jones ومعاونوه (Zamir وآخرون ١٩٨١) من إدخال صفة القدرة على العقد الجيد فى الحرارة المنخفضة من السلالة LA 1777 (من النوع البرى *L. hirsutum*) إلى الطماطم باتباع طريقة انتخاب الجاميطات Gamete Selection. وتعتمد الطريقة — ببساطة — على إجراء التلقيحات الرجعية الذاتية فى برنامج التربية فى درجات حرارة منخفضة؛ حيث لا تنبت وتشارك فى عملية الإخصاب سوى حبوب اللقاح التى تحمل جينات القدرة على إحداث العقد فى هذه الظروف؛ ولذا فهى توفر كثيرًا من الوقت والجهد؛ فلو فرض وكانت الصفة التى يُراد نقلها يتحكم فيها ١٢ جينًا .. فإن عدد الجاميطات المختلفة وراثيًّا التى يمكن — حينئذٍ — إنتاجها فى الجيل الأول يكون $٢^{٥}$ = $٢^{١٢}$ = ٤٠٩٦ جاميطة.

ومثل هذا العدد من حبوب اللقاح يمكن وضعه على ميسم زهرة واحدة؛ حيث لا تنبت منها — فى الحرارة المنخفضة — سوى التى تحمل الجينات المرغوبة فقط، وهى التى تخصب البيضات. أما إن لم تتبع طريقة انتخاب الجاميطات .. فإنه تلزم — فى هذه الحالة — زراعة كل نباتات الجيل الثانى المختلفة وراثيًّا، وعددها $٤^{٥}$ = $٤^{١٢}$ = ١٦٧٧٧٢١٦ نباتًا؛ ليمكن انتخاب التركيب الوراثى المرغوب منها، وهو ما يستلزم زراعة نحو ١٠٠ ألف فدان من الطماطم ليمكن التعرف على التركيب الوراثى المرغوب. وقد أوضح الباحثون أنه أمكن مضاعفة عدد الهجن المتحصل عليها من أى تلقيح فى حرارة ١٢/٦°م (ليل/نهار)؛ بخلط حبوب اللقاح المراد اختبارها مع حبوب لقاح سلالة عادية من الطماطم ليس لها القدرة على الإنبات فى هذه الظروف.

وقد وجد أن حبوب لقاح السلالة LA 1777 من *L. hirsutum* — التى تنمو على ارتفاع ٣٢٠٠م فى جبال الإنريز ببيرو — أكثر قدرة — بكثير — عن حبوب لقاح الطماطم فى إحداث الإخصاب فى الحرارة المنخفضة، كما كانت أكثر قدرة على الإنبات فى البيئة

الصناعية على ٥°م. ولما كانت أعداد التراكيب الوراثية الجاميطية التى ينتجها نبات خليط فى ن من العوامل الوراثية = ٢°، فقد جرت محاولة للانتخاب لصفة القدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة عن طريق انتخاب الجاميطات؛ فتم جمع حبوب اللقاح من الهجين بين الطماطم وسلالة النوع *L. hirsutum* المشار إليها واستخدمت فى التلقيح فى الحرارة المنخفضة. ويُستدل من الدراسة أن الانتخاب الجاميطى لتحمل حبوب اللقاح الحرارة المنخفضة يعتمد — ولو جزئيًا — على جينات يُعبّر عنها فى حبوب اللقاح ذاتها (Zamir وآخرون ١٩٨٢).

هذا .. وتُعرف صفات كثيرة جدًا يكون فيها التحكم جاميطيًا، منها — على سبيل المثال — عدم التوافق الجاميطى، وقطر حبة اللقاح وتركيبها، ومعدل نمو الأنبوبة اللقاحية، وبروتينات معينة، وكذلك بعض الإنزيمات (عن Zamir وآخرين ١٩٨٢).

ولقد دُرِسَ تأثير الحرارة المنخفضة على خصوبة حبوب لقاح الطماطم لدى تعرض الأزهار لحرارة أقل من ١٠°م، وذلك فى عدد كبير من أصناف وسلالات الطماطم والأنواع البرية القريبة منها؛ لأجل التعرف على أكفأ وأسهل وسيلة للتقييم ترتبط بصفة عدد البذور فى الثمار الناضجة، وهى التى تتطلب الانتظار لحين نضج الثمار؛ ولأجل ذلك دُرست الصفات: عدد الأنابيب اللقاحية فى قاعدة قلم الزهرة (بعمل قطاع فى ذلك الجزء من القلم)، ودليل البذور فى الثمار العاقدة طبيعيًا (عدد البذور فى وحدة الوزن من الثمرة)، ونسبة حبوب اللقاح التى تصبغ بالأسيتوكارمن، ونسبة حبوب اللقاح التى تعطى تفاعل فلورى fluorochromatic reaction مع الـ fluoresciene diacetate، ونسبة حبوب اللقاح التى تنبت فى بيئة صناعية. ارتبطت جميع هذه الصفات إيجابيًا وجوهريًا مع بعضها البعض، وكان عدد حبوب اللقاح عند قاعدة القلم أكثرها ارتباطًا بعدد البذور. وتميز اختبارا الأسيتوكارمن وتفاعل الفلورة ببساطتهما وسرعة إجرائهما؛ بما يسمح باللجوء إليهما لأجل تقييم الأعداد الكبيرة من التراكيب الوراثية؛ بهدف تحديد تلك القادرة على إنتاج حبوب لقاح خصبة فى الحرارة المنخفضة. وبينما كان اختبار الأسيتوكارمن هو الأفضل، فإن كليهما لا يفيد فى تحديد التراكيب الوراثية ذات الخصوبة المنخفضة. أما

دليل البذور فى الثمار العاقدة طبيعيًا، وإنبات حبوب اللقاح فى البيئة الصناعية فلم يكونا فاعلين فى تعرف خصوبة حبوب اللقاح المنتجة فى ظروف الحرارة المنخفضة (Fernández-Munoz وآخرون ١٩٩٤).

وفى محاولة لإيجاد أيسر وأدق الطرق لتقييم تحمل الطماطم للقدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة قام Fernández-Munoz وآخرون (١٩٩٤) بزراعة عدد كبير من أصناف وسلالات الطماطم المنزرعة والأنواع البرية القريبة منها فى ظروف حرارة منخفضة لا تزيد فيها الحرارة ليلاً عن ١٠°م، ثم قاموا بمقارنة عدد البذور بالثمرة تحت هذه الظروف مع كل من:

١- عدد الأنابيب اللقاحية عند قاعدة قلم الزهرة.

٢- دليل نسبة العقد الطبيعى.

٣- نسبة حبوب اللقاح التى تصبغ بالأسيتوكارمن acetocarmine.

٤- نسبة حبوب اللقاح التى تعطى تفاعل فلورة fluorochromatic reaction عند استعمال صبغة الـ fluoreseine diacetate.

٥- نسبة حبوب اللقاح التى أنبتت فى البيئة الصناعية.

ولقد أظهرت جميع هذه القياسات ارتباطًا إيجابيًا ومعنويًا بين بعضها البعض، إلاّ أن عدد الأنابيب اللقاحية عند قاعدة القلم كان أكثر الصفات ارتباطًا بعدد البذور فى الثمرة. ونظرًا لأن قياس عدد الأنابيب اللقاحية عند قاعدة القلم لا يقل إجهادًا فى أدائه عن حساب عدد البذور فى الثمرة (الذى يقتضى الانتظار لحين نضج الثمار)، فإنه يُناسب الحالات التى يقتصر التقييم فيها على عدد محدود من التراكيب الوراثية، مع الحصول على نتائج سريعة.

كذلك كانت طريقتا الصبغ بالأسيتوكارمن والفلورة بسيطتين وسريعتين بحيث يمكن استعمالهما فى تقييم عدد كبير من السلالات بيسر وسهولة، علمًا بأن طريقة الأسيتوكارمن كانت هى الأفضل.

أما طريقتا حساب دليل العقد الطبيعى ونسبة إنبات حبوب اللقاح فى البيئات الصناعية فإنهما لم يكونا فاعلتين فى تقدير خصوبة حبوب اللقاح المنتجة فى الحرارة المنخفضة.

وبالإضافة إلى ما تقدم .. فقد تمكن الباحثون من عزل إنزيمات متماثلة فى نشاطها وتأثيرها — ولكنها مختلفة فى شحنتها الكهربائية — ترتبط مباشرة بالقدرة على العقد فى درجات الحرارة المنخفضة. ويمكن التعرف على هذه الإنزيمات بسهولة بطريقة الفصل الكهربائى electrophoresis، وهى التى تعرف باسم أيزوزيمات isozymes.

وقد كانت المجموعة الإنزيمية المرتبطة بصفة القدرة على العقد فى الجو البارد وهى الخاصة بإنزيم Phosphogluco isomerase (يكتب اختصارًا: Pgi)؛ حيث عزلت أيزوزيمات ترتبط بحالات الأصالة الوراثية والخلط الوراثى لهذه الصفة. ويستفاد من هذه الأيزوزيمات بزراعة بذور النباتات التى يُراد انتخاب المتميزة منها فى صفة القدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة، ثم استعمال جزء صغير من النسيج الورقى لكل منها — وهى فى طور البادرة — فى اختبار الفصل الكهربائى لفصل أيزوزيمات الإنزيم Pgi التى توجد بها؛ وبذا .. يمكن التعرف على النباتات التى يمكنها العقد فى درجات الحرارة المنخفضة، وهى التى يسمح لها بالنمو بغرض الانتخاب للصفات البستانية المرغوبة، ثم بدء دورة جديدة من التلقيحات الرجعية.

أما عن وراثة صفة القدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة .. فقد ذكر أنها صفة مندلية بسيطة متنحية؛ وذلك اعتمادًا على نتائج دراسة استخدم فيها الصنف المقاوم للبرودة إيرلى نورث، والصنف الحساس مارجلوب. هذا .. إلا أنه — تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة شتاء فى مصر (Ibrahim ١٩٨٤) — سلكت صفات نسبة العقد والمحصول المبكر والمحصول الكلى مسلك الصفات الكمية، مع سيادة جزئية لصفة القدرة على العقد فى هذه الظروف. وكانت درجات التوريث المقدرة لهذه الصفات منخفضة جدًّا؛ مما يدل على شدة تأثرها بالعوامل البيئية.

تربية الفاصوليا

قام Kooistra (١٩٧١) بتقييم عدد من أصناف الفاصوليا والأنواع الأخرى، ووجد أن أعلى قدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة كانت فى صنف الفاصوليا Comtesse de Chambord، وفى النوعين *Phaseolus coccineus*، و *P. trilobus*.

وفى دراسة أخرى .. قيم Austin & MacLean (١٩٧٢) ٣٠٥ أصناف وسلالة من الفاصوليا، ووجد أن ٤٦ منها كانت ذات قدرة جيدة على الإنبات فى حرارة ثابتة مقدارها ١٢,٥°م. كما أمكن التعرف على سلالات من الفاصوليا قادرة على الإنبات فى حرارة ١٠°م، والنمو فى حرارة ٧-١٣°م، وسلالات أخرى يمكن لبذورها أن تبقى فى التربة الباردة دون أن تتعفن إلى أن ترتفع درجة الحرارة إلى المجال المناسب للإنبات (عن Morris ١٩٧١).

ولقد لخص Dickson & Petzoldt (١٩٨٧) أهم مصادر القدرة على الإنبات فى الفاصوليا — فى الحرارة المنخفضة — كما يلى:

أ- الصنفان Comptesse de Chambord، و Widuse: تنبت بذورهما جيدًا فى درجة حرارة ٩-٩,٥°م.

ب- السلالة BBL 92: تنبت بذورها فى حرارة ٨-٩°م على ورق الإنبات فقط، لكن إنباتها يكون رديئًا إذا تعرضت — تحت ظروف الحقل — لدرجة الحرارة المنخفضة فترة طويلة.

جـ- السلالتان NY 5-161، و NY 590: تنبت بذورهما جيدًا فى حرارة ٩,٥-١٠°م، وتنموان جيدًا فى درجات الحرارة المنخفضة.

كما يُذكَرُ (J. Amer. Soc. Hort. Sci. — مجلد رقم ١١١ لسنة ١٩٨٦) أن سلالة الفاصوليا P.I.165426-BS (من لمكسيك) تعد أفضل من معظم الأصناف التجارية؛ من حيث قدرة بذورها على الإنبات فى الأراضى الباردة الرطبة.

وقد أوضح Dickson (١٩٧١) أن قدرة بذور الفاصوليا على الإنبات — فى حرارة ١٠°م نهارًا، و ٨°م ليلاً — ترتبط غالبًا بصفة البذور الملونة، وهى التى كانت أقل تعرضًا للعفن فى التربة من البذور غير الملونة. كما وجد أن صفة القدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة كمية، وقدرات درجة توريثها بنحو ٣٥٪.

كذلك بينت دراسات Dickson (١٩٨٠) أن نسبة الإنبات فى الحرارة المنخفضة فى

كل من البذور الملونة والبذور الصغيرة الحجم أفضل منها فى البذور البيضاء أو الكبيرة الحجم.

وأظهرت أصناف وسلالات الفاصوليا ذات البذور الرقيقة قدرة أكبر على الإنبات فى الحرارة المنخفضة (١٢°م) عن التراكيب الوراثية ذات البذور السميكة (Hucl ١٩٩٣).

كما وجد Dickson & Petzoldt (١٩٨٧) أن صفة القدرة على تحمل الحرارة المنخفضة — فى مختلف مراحل النمو — فى الفاصوليا تورّث مستقلة، وقد تمكنا من انتخاب سلالات ذات قدرة على العقد الجيد فى حرارة ١٦°م من التلقيح NY 590 x BBL 92.

هذا .. وتُعد ٢٣°م هى الدرجة المثلى لنمو نباتات الفاصوليا مع مجال مناسب للنمو يتراوح بين ١٥، و ٢٧°م، ومجال مناسب لعقد القرون يتراوح بين ١٥، و ٢٥°م. وتعد ١٠°م حرارة قريبة من الحدود الدنيا للنمو فى الفاصوليا.

وتتوفر أدلة على أن تحمل البرودة فى مراحل الإنبات وبزوغ البادرات ونموها يتحكم فيها نظام وراثى يختلف عن نظام تحمل البرودة أثناء مرحلة الإزهار وعقد القرون ونموها.

ولقد وجد أن حرارة ليل مقدراها ٨ أو ١٢°م قللت إنبات حبوب اللقاح جوهريًّا على مياسم الأزهار — مقارنة بحرارة ١٨°م. كذلك قللت حرارة الليل المنخفضة من عدد البذور بالقرن، مع حدوث أقل عقد للقرون عند انخفاض الحرارة ليلاً ونهارًا. وقد أُرجع هذا النقص إلى تلف البويضات، إذ إن حبوب اللقاح بدت طبيعية فى تلك الظروف. وفى دراسة أخرى حدث نقص فى خصوبة الجاميطات المؤنثة فى حرارة ١٣,٩°م، مع توزع البويضات التى فقدت حيويتها على امتداد المبيض. ولوحظ كذلك حدوث تلف لبادئ الأزهار فى حرارة ثابتة مقدارها ٧°م. وبنمو الفاصوليا تحت ظروف متحكم فيها فى حرارة ١٦°م نهارًا مع ٨°م ليلاً أمكن تمييز الأصناف والسلالات المبكرة النضج فى الحرارة المنخفضة، وهى التى كانت متحملة للحرارة المنخفضة تحت ظروف الحقل (Rainey & Griffiths ٢٠٠٥).

تربية اللوبيا

أُحرز بعض التقدم فى تربية اللوبيا لتحمل الحرارة المنخفضة، وذُكر أن تلك الصفة يتحكم فيها نظام وراثى إضافى، ووجد أن تحمل البرودة أثناء إنبات البذور يرجع إلى وجود البروتين ديهيدرين dehydrin بالبذور، الذى يتحكم فيه جين واحد، وكذلك يتحدد التحمل بمدى تسرب الأيونات من البذرة؛ الأمر الذى يتأثر بمدى ثبات الأغشية الخلوية، علمًا بأن تسرب الأيونات صفة مستقلة — وراثيًا — عن صفة تواجد الديهيدرين بالبذور.

هذا ويمكن تقييم سلالات اللوبيا لوجود الديهيدرين فيها باختبار الـ immunoblot باستعمال رقاقة من إحدى الفلقتين لا يضر أخذها بالبذرة وإنباتها. وبتلك الطريقة أمكن اكتشاف عدة سلالات من اللوبيا تحتوى بذورها على ذلك البروتين. وتجدر الإشارة إلى أن من بين ٦١ صنفًا أمريكيًا طورت أصلا — للزراعة فى مناطق تحت استوائية — حيث يمكن أن تكون التربة فيها باردة وقت زراعة البذور — وجدت ثلاث سلالات تحتوى بذورها على الديهيدرين (Hall ٢٠٠٤).

هذا .. وتُعد الديهيدرينات dehydrins بروتينات نباتية تتواجد خلال فترات الشدِّ البيئى وتصاحب حالات العقد الرطوبى dehydration، أو انخفاض الحرارة خلال مرحلة نضج البذور. ولقد افترض من قبل أن ديهيدرين بوزن جزيئى حوالى ٣٥ كيلو دالتون وخصائص الأغشية البروتوبلازمية التى تقلل التسرب الأيونى من البذور هى التى تضفى صفة تحمل البرودة أثناء إنبات البذور فى اللوبيا، وأن الخاصيتين تعملان مستقلتان ومكملتان لبعضهما بعضًا. وعندما أجريت الاختبارات لدراسة تلك الفرضية ثبتت علاقة هذا البروتين بتحمل البرودة أثناء الإنبات، لكن تلك الخاصية كانت مستقلة عن خاصية التسرب الأيونى (Ismail وآخرون ١٩٩٩).

وتجدر الإشارة إلى أنه لا توجد — بالضرورة — فى المحاصيل البقولية علاقة بين تحمل النموات الخضرية للصقيع وتحمل المراحل التكاثرية (تكوين البراعم الزهرية والإزهار والتلقيح والعقد ونمو البذور والقرون) للبرودة (Maqbool وآخرون ٢٠١٠).

تربية الكنتالوب

أوضحت دراسة أجريت على صنف الكنتالوب الحساس للبرودة — عند إنبات البذور — Noy Yizr'el، والسلالة المتحملة للبرودة Persia 202 أنهما يختلفان فى إنبات بذورهما فى ظروف انخفاض تركيز الأكسجين، وأن Noy Yizr'el هو الأكثر حساسية لنقص الغاز، وارتبطت تلك الاختلافات باختلافات أخرى فى تركيب الغلاف البذرى، وكذلك فى حساسية الجنين لنقص الأكسجين. ولقد كانت المسافات بين الخلوية فى الطبقة الخارجية للغلاف البذرى أكثر وضوحًا فى الصنف المتحمل Persia 202، بينما كانت تلك الطبقة فى Noy Yizr'el محكمة الإغلاق تمامًا (Edelstein وآخرون ١٩٩٥).

تربية الخيار

توجد سلالات من الخيار تنبت بذورها بسرعة أكبر من غيرها فى درجات الحرارة المائلة إلى البرودة. ووجد Wehner (١٩٨٤) أن درجة توريث سرعة إنبات البذور فى حرارة ١٧°م تراوحت من ٠,٤٤–٠,٦١.

تربية الفلفل

تتباين أصناف الفلفل التابعة للنوع *Capsicum baccatum* var. *pendulum* فى سرعة إنبات بذورها فى درجات الحرارة المنخفضة، ووجد Randle & Honma (١٩٨٠) أن صفة الإنبات البطئ — تحت هذه الظروف — سائدة جزئيًا على الإنبات السريع، ويتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى مع تأثير سيادة.

ومن بين أصناف الفلفل التى يمكنها العقد فى الجو البارد نسبيًا كل من الصنفين Pennwonder، و Vinedale. وبالمقارنة .. يعتبر الصنفان Albig و Keystone Resistant Giant قادرين على العقد فى الحرارة العالية نسبيًا.

هذا .. ولم يُستَفَد — إلى الآن — من ظاهرة العقد البكرى فى الفلفل فى التغلب على ظاهرة سوء العقد فى الظروف البيئية القاسية برغم توفر هذه الظاهرة فى الفلفل. وقد اكتشفها Curtis & Scarchuk (١٩٤٨)، ووجدا أنها صفة بسيطة ومتنحية.

وقد أمكن الحصول على سلالات خلايا Cell Lines من الفلفل قادرة على تحمل درجات الحرارة المنخفضة بالانتخاب فى مزارع الأنسجة. ويتم الانتخاب للصفة على أساس قدرة الخلايا المفردة على البقاء والتكاثر بعد تعريض تجمعات الخلايا، أو أجزاء الكالوس لدرجات حرارة منخفضة.

وأوضحت الدراسات — التى أجريت على معدلات التنفس فى سلالات خلايا حساسة وأخرى تتحمل البرودة — وجود اختلافات بينها مماثلة لتلك التى توجد بين الأنواع النباتية التى تتفاوت فى حساسيتها للبرودة (عن Dix ١٩٨٠).

تربية الذرة السكرية

وجدت اختلافات فى تحمل الحرارة المنخفضة ١٤°م نهارًا، و ١٠°م ليلاً (معبرًا عنها بالقدرة على إنبات البذور، والنمو) بين عشائر مفتوحة التلقيح من الذرة السكرية، كما وجد ارتباط معنوى بين ترتيب تلك العشائر فى كل من الحرارة المنخفضة والظروف الدافئة (٢٤ ± ٢°م)؛ مما يدل على أن بعض السلالات التى كان نموها جيدًا فى الحرارة المنخفضة كانت بذات النمو الجيد فى ظروف الجو الدافئ (Hotchkiss وآخرون ١٩٩٧).

تربية المانجو

تتوفر صفة القدرة على تحمل البرودة الخفيفة فى نحو ٣٠ صنفًا من المانجو؛ ومن بينها: الصنفين: لانجرا Langara، وقلب الثور Bullock's Heart، اللذان يتميزان بكبر حجم أشجارهما؛ الأمر الذى قد يوفر لهما درجة أكبر من الحماية من البرودة، ولكن تلك القاعدة لم تنطبق على الصنف الإندونيسى جدونج Gedong. ومن ناحية أخرى .. يعد الصنف ألفونسو Alfonso من أكثر الأصناف حساسية للبرودة (Knight ١٩٧١).

وبرغم عدم توفر صفة القدرة على تحمل البرودة الشديدة فى المانجو، إلاّ أن الأصناف

تختلف فى مدى تأثرها بالحرارة المنخفضة لفترة طويلة خلال مرحلة الإزهار، حيث يتأثر محصول المانجو بشدة — كمًا ونوعًا — وتظهر الحالة الفسيولوجية التى يطلق عليها — فى فلوريدا — كرة الجولف golf ball، أو الخلو من البذور seedlesness، أو الثمار غير المكتملة النمو nubbins.

وأكثر الأصناف تأثرًا بهذه الحالة الصنف هادن Haden الذى يعطى ثمارًا بكرية، ويكون عديم القيمة الاقتصادية فى مثل هذه الظروف (Knight ١٩٧١).

ولمزيد من التفاصيل عن الدراسات المبكرة فى مجال التربية لتحمل الحرارة المنخفضة — بصورة عامة — يراجع كل من: Li & Saki (١٩٧٨)، و Christiansen & Lewis (١٩٨٢)، و Marshall (١٩٨٢).

وراثة تحمل البرودة

إن وراثة تحمل البرودة فى النباتات تتباين كثيرًا من نوع نباتى لآخر ومن حالة لأخرى، كما يلى:

١- وجدت عوامل سيتوبلازمية تتحكم فى المقاومة للبرودة فى بعض الحالات، إلاّ أن معظم الدراسات أوضحت أن تلك العوامل دورها ثانوى فى آلية التحمل.

٢- وجدت جينات تكسب النباتات مستويات مختلفة من تحمل البرودة تتباين فيما بين الأنواع وكذلك داخل النوع، وهى الجينات التى استفاد منها مربو النباتات فى جهود التربية.

٣- على الرغم من وجود أمثلة على الفعل الجينى غير الإضافى، فإن تحمل البرودة غالبًا ما يتحكم فيه جينات ذات تأثير إضافى. ومن أبرز الاستثناءات لجينات تحمل البرودة ذات التأثير الإضافى جين (أو جينات) تحمل البرودة السائدة فى القمح التى ترتبط بشدة بكل من جينى الارتباع (Vrn1) والنمو المنبطح prostrate.

٤- إن وجود خلايا صغيرة الحجم يضخم من تعبير جينات تحمل البرودة خلال فترة الأقلمة.