حتى درجة معينة تختلف باختلاف المحصول، ثم تنخفض فترة الصلاحية للتخزين مع أى انخفاض أكثر من ذلك فى درجات الحرارة. وتعرف هذه الدرجة باسم درجة الحرارة الحرجة لحدوث أضرار البرودة، وهى تتراوح – عادة – بين حوالى ١٠–١٣°م. وتنتمى إلى هذه المجموعة معظم الخضر والفواكه الاستوائية وتحت الاستوائية.

٣– محاصيل حساسة قليلاً للبرودة:

تقل درجة الحرارة الحرجة – التى تحدث عندها أضرار البرودة – قليلاً فى حاصلات هذه المجموعة مقارنة بحاصلات المجموعة السابقة، وهى تتراوح – عادة – بين حوالى ٣ و ٤°م (عن Wang ١٩٩٤).

ومن أكثر الخضر والأعشاب حساسية لأضرار البرودة الخيار، والباذنجان، والكوسة، والبامية والبطاطا، والريحان. ومن المحاصيل المتوسطة الحساسية الفاصوليا الخضراء، والكنتالوب، والفلفل، وقرع الشتاء، والطماطم.

أعراض أضرار البرودة

إن كثيرًا من الخضر والفاكهة ونباتات الزينة الاستوائية وتحت الاستوائية حساسة لأضرار البرودة؛ فهى تُضار إذا تعرضت لحرارة منخفضة تقل عن ١٠–١٥°م وتزيد عن درجة تجمدها. كذلك فإن بعض المحاصيل البستانية من تلك التى تنتشر فى المناطق الباردة تعد حساسة للبرودة، إذ إنها – بصورة عامة – تصاب بأضرار البرودة لدى تعرضها لحرارة تقل عن ٥°م.

ولدى التعرض للحرارة التى تحدث معها أضرار البرودة تضعف الأنسجة النباتية؛ إذ لا يمكنها القيام بالعمليات الأيضية الطبيعية، وتحدث بها تحورات فسولوجية وبيوكيميائية عديدة، واختلال وظيفى خلوى فى الأنواع الحساسة لأضرار البرودة. وإذا ما طال أمد التعرض لذلك الشدّ فإن تلك الاختلالات الوظيفية الخلوية تقود إلى ظهور عديد من أعراض البرودة؛ مثل: النقر السطحية، والتغيرات اللونية الداخلية، والابتلال المائى للأنسجة، وفشل النضج الطبيعى. وغالبًا .. فإن

المنتجات التى تكون قد أصيبت بأضرار البرودة بالفعل تظهر طبيعية ما بقيت فى الحرارة المنخفضة، ولكن تظهر عليها أعراض الأضرار فى خلال فترة وجيزة لدى نقلها إلى الجو الدافئ. وغالبًا ما تكون الخضر والفاكهة المصابة بأضرار البرودة أكثر قابلية للإصابة بالكائنات الدقيقة المسببة للأعفان، وبخاصة المسببات المرضية الضعيفة التطفل مثل *Alternaria* spp.، وهى التى لا تكون سريعة النمو فى الأنسجة السليمة، ولكنها تنمو بسرعة فى الأنسجة التى ضعُفَت جراء التعرض للبرودة (Wang ٢٠٠٤).

ومن أهم أعراض البرودة فى محاصيل الخضر، ما يلى:

١- التنقير وفقد موضعى للرطوبة.

٢- التلون البنى الخارجى أو التلطخات اللونية السطحية (كما فى الباذنجان).

٣- التغير اللونى الداخلى (كما فى البطاطا).

٤- زيادة القابلية للإصابة بالأعفان السطحية (كما فى الفاصوليا والخيار).

٥- الفشل فى النضج أو عدم تجانس التلوين (كما فى الطماطم الخضراء المكتملة التكوين).

٦- فقدان المذاق، والمركبات المتطايرة المميزة للنكهة.

٧- ظهور طعم غير مرغوب فيه (كما فى البطيخ).

٨- المظهر المائى (كما فى الطماطم).

٩- الصلابة عند الطهى (كما فى البطاطا).

١٠- زيادة الحلاوة (كما فى البطاطس).

١١- حدوث انهيار داخلى بالأنسجة النباتية.

١٢- تكون الحاصلات أكثر عرضة للإصابة بالنموات الفطرية السطحية والتحلل.

وتكون هذه الأعراض مصاحَبة – عادةً – بزيادة فى معدل التنفس، وإنتاج الإثيلين، والقابلية للإصابة بالأمراض، وفى التغيرات المؤدية إلى الشيخوخة، وخاصة بعد إخراج المنتجات من المخازن الباردة إلى درجة الحرارة العادية لأجل تسويقها.

وتكون الأعراض الخارجية لأضرار البرودة انعكاسًا لأضرار داخلية، لعل من أهمها وأبرزها تلك التى تحدث بالأغشية الخلوية. وعندما تفقد الأغشية الخلوية خاصية نفاذيتها الاختيارية للأيونات من جراء تعرضها للحرارة المنخفضة فإن الأيونات تتسرب من الخلايا دونما رابط. ولطالما استخدمت خاصية التوصيل الكهربائى لراشحات الأنسجة tissue leachates المتأثرة بالبرودة كدليل على مقدار الضرر الذى حدث بالأغشية الخلوية؛ حيث تؤدى زيادة الأضرار بالأغشية إلى زيادة الراشحات، ومن ثم زيادة قدرتها على التوصيل الكهربائى.

وقد وجد Côté وآخرون (١٩٩٣) ارتباطًا بين درجة التوصيل الكهربائى لراشحات أجزاء من نسيج بشرة ثمار الطماطم التى تعرضت لحرارة ٣°م لفترات مختلفة وبين شدة أضرار البرودة التى ظهرت على الثمار (فى صورة نقر وعدم تجانس فى النضج) عندما نقلت بعد ذلك إلى حرارة ٢٠°م. ولكن هذا الارتباط ظهر فقط عند إجراء اختبار التوصيل الكهربائى فى الحرارة المنخفضة (٣°م)، وليس بعد نقل الثمار إلى حرارة الغرفة (٢٠°م).

التوازن بين السكر والنشا:

يؤدى تخزين بعض الخضروات – ومن بينها البطاطس والبطاطا والذرة السكرية والبسلة الخضراء – فى حرارة منخفضة إلى تغيير التوازن بين النشا والسكر نحو السكر. ففى أى درجة حرارة يوجد توازن ديناميكى (أى متغير) بين النشا والسكر، مع استنفاذ بعض السكر فى التنفس وانطلاق ثانى أكسيد الكربون، كما يلى:

النشا ⇌ السكر ⟵ ثانى أكسيد الكربون

وفى حرارة الهواء العادى يتجه توازن النشا والسكر فى البطاطس والبطاطا كثيرًا نحو تراكم النشا. وعند تخزينها فى حرارة منخفضة ينخفض معدل التنفس وتحول السكر إلى نشا. وتختلف الحرارة الحرجة التى يبدأ عندها تراكم السكر باختلاف المحصول، فهو حوالى ١٠°م فى البطاطس، وحوالى ١٥°م فى البطاطا. ويعد تراكم

السكر أمرًا غير مرغوب فيه فى عديد من الخضر النشوية؛ فالبطاطس التى يرتفع محتواها من السكر تكون رديئة القوام وذا طعم حلو عند غليها فى الماء، كما تكتسب لونًا بنيًّا داكنًا عند قليها بسبب تكرمل السكر والتفاعلات بين الأحماض الأمينية والسكريات، وهى التى تعرف باسم تفاعل ميلارد Maillard reaction. ويمكن خفض تركيز السكر فى البطاطس التى خزنت فى حرارة منخفضة برفع حرارة التخزين إلى ١٠°م أو أعلى من ذلك، وربما يعود السكر إلى تركيزه الطبيعى فى خلال أسبوع من التخزين على ١٥–٢٠°م، ولكن المدة قد تطول عن ذلك إذا كان التخزين فى الحرارة المنخفضة قد دام لفترة طويلة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وفى خضروات أخرى كالبسلة الخضراء والذرة السكرية يكون المحتوى العالى من السكر مرغوبًا فيه، ولذا فإنها تحصد وهى غير مكتملة التكوين immature ليكون محتواها من السكر عاليًا، ثم تخزن سريعًا – بعد تبريدها أوليًّا – فى حرارة قريبة من الصفر المئوى، لوقف تحول السكر إلى نشا.

ونقدم فى جدول (١٢–١) بيانًا بأعراض أضرار البرودة فى عدد من الحاصلات البستانية (عن Kader ١٩٩٦، و Saltveit ٢٠٠٣، و Brecht ٢٠٠٣، و Mohammed & Brecht ٢٠٠٣، و Wang ٢٠٠٤).

جدول (١٢–١): بيان بأعراض أضرار البرودة فى عدد من الحاصلات البستانية.

الحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
الكنتالوب	(٢–٥ للشبكى) (٧–١٠ لشهد العسل)	فقدان الصلابة – التنقير – زيادة التحلل السطحى – الفشل فى استكمال النضج – ظهور مناطق مائية بجلد الثمرة – لزوجة – سطح الثمرة بسبب إفرازات العصير التى تحدث فى حالات الإصابة الشديدة فى شهد العسل – تغير لونى أسمر محمر بجلد شهد العسل.

تابع جدول (١٢-١).

الحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
الفلفل	٧	التنقير السطحي الكثيف sheet pitting – الكرمشة – فقدان الصلابة – تغير لون البذور إلى البنى – تغير لون الكأس
القرع العسلى	١٠	الإصابة بعفن ألترناريا alternaria rot – التحلل
الطماطم	(١٣ للخضراء المكتملة التكوين) (٧-١٠ للناضجة)	تأخير النضج وعدم انتظامه – زيادة القابلية للإصابة بعفن ألترناريا – الكرمشة – التنقير – فقدان الصلابة – تغيرات لونية غير مرغوب فيها – تقل القابلية للإصابة بأضرار البرودة بزيادة النضج – تصبح الثمار الناضجة مثل كرة من الماء
البطيخ	٤,٥	تنقير سطحى – أجزاء غائرة من القشرة تصبح جافة لدى نقل الثمار إلى حرارة غير محدثة لأضرار البرودة – ظهور بقع بنية صدئة داخلية بالقشرة – ظهور طعم غير مقبول – بهتان اللون الأحمر للب
قرع الشتاء	١٠	الإصابة بعفن ألترناريا – التحلل
الأسبرجس	صفر-٢	شحوب اللون ليصبح أخضر رمادى – رخاوة قمة المهاميز
فاصوليا الليما	١-٤,٥	ظهور بقع أو نقط بنية صدئة – تحلل
الفاصوليا العادية الخضراء	٧	التنقير – التلون الصدئ – شحوب اللون – تغير لون البذور – التحلل
الخيار	٧	التنقير – ظهور بقع مائية – التحلل
الباذنجان	٧	الانسفاع السطحى البنى – الإصابة بعفن ألترناريا – اسوداد البذور – التنقير – ظهور مناطق غائرة بالجلد – تغير لون كأس الثمرة – التلون البنى الداخلى

تابع جدول (١٢-١).

المحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
البامية	٧-١٠	تغيرات لونية – ظهور مناطق مائية – التنقير – تغير لون الكأس
البطاطس	٣-٤	التلون البنى الماهوجنى mahogany browning – ارتفاع نسبة السكر – ظهور مناطق حمراء بنية باللب – تدهور صفات الجودة الأكلية.
البطاطا	١٢-١٣	التحلل – التنقير – تغيرات لونية داخلية – صلابة القلب عند الطهى
اليام	١٣-١٦	تغيرات لونية داخلية – تحلل – فقدان الصلابة – كرمشة
الكاسافا	٥-٨	انهيار داخلى – زيادة فقدان الرطوبة – الفشل فى التنبيت – زيادة التحلل – فقدان صفات الجودة الأكلية.
الجنزبيل ginger	٧	زيادة الطراوة – الكرمشة – افرازات مائية من السطح – التحلل
القلقاس	٧-١٠	انهيار الأنسجة – تلون داخلى – زيادة فقدان الرطوبة – زيادة التحلل – تغيرات غير مرغوبة فى الطعم
الكوسة	٥-١٠	التنقير السطحى – التحلل
الأناناس	٧-١٠	لون أخضر شاحب عند النضج – تلون بنى داخلى
الزبدية	٤,٥-١٣	تغير لونى بنى ضارب إلى الرمادى باللُب
الموز	١١,٥-١٣	لون شاحب عند النضج
الجوافة	٤,٥	اهتراء اللب – تحلل
الجريب فروت	١٠	انتفاع سطحى – تنقير – انهيار مائى
الليمون الأضاليا	١١-١٣	تنقير – تلطخ أحمر – تغير لون الأغشية
الليمون البنزهير	٧-٩	تنقير يصبح رمادى اللون مع الوقت

تابع جدول (١٢-١).

المحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
المانجو	١٠-١٣	تلون الجلد بلون رمادى – عدم انتظام النضج
الزيتون	٧	تلون بنى داخلى
الرمان	٤,٥	تنقير – تلون بنى خارجى وداخلى
البرتقال	٣	تنقير – ظهور صبغات بنية

العوامل المؤثرة فى الإصابة بأضرار البرودة

تتأثر شدة الإصابة بأضرار البرودة بكل من مدى الانخفاض الحرارى ومدة التعرض له. وقد يحدث الضرر خلال فترة وجيزة من التعرض للحرارة المنخفضة إن كانت شديدة الانخفاض، ولكن تزداد فترة التحمل للحرارة المنخفضة إن كانت فى الحدود الحرجة للمحصول، وذلك قبل أن تصبح الأضرار بلا رجعة.

ولدرجة اكتمال النمو ومدى النضج عند الحصاد أهمية فى تحديد مدى الحساسية لأضرار البرودة فى بعض المحاصيل مثل الأفوكادو، وكنتالوب شهد العسل (الهنى ديو)، والطماطم.

ولدرجة الحرارة المنخفضة تأثير متجمع cumulative؛ حيث يبدأ فى الحقل قبل الحصاد، ويستمر مع التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة. وكثيرًا ما تبدو الحاصلات طبيعية المظهر عند إخراجها من المخازن الباردة، إلا أنها سرعان ما تظهر عليها أعراض البرودة بعد بقائها فى الجو العادى لمدة يوم أو يومين؛ أى أثناء فترة التسويق.

ولكن أعراض أضرار البرودة تظهر كذلك فى المخازن إذا طالت فترة التخزين فى حرارة أقل من الدرجة الحرجة الخاصة بالمحصول.

كذلك يسهم كلاً من التعرض للحرارة المخفضة لفترات قصيرة، والتعرض للحرارة المنخفضة أثناء الشحن فى شدة أعراض الإصابة بأضرار البرودة (Wang وآخرون ٢٠٠٤).