

وخاصة العشبية منها – لأضرار الصقيع ، ولكن لا يوصى بالمعاملة بأى منها، لأسباب صحية.

٤- كذلك تعمل البولي أمينات polyamines على حماية ثمار الكوسة من أضرار البرودة. وربما يحدث ذلك من خلال نشاطها المضاد للأكسدة (عن Wang ١٩٩٤).

وقد أوضحت دراسات Lurie وآخرين (١٩٩٥) أن معاملة نباتات الفلفل الحلو قبل الحصاد بأى من منظمات النمو: بكلوبترازول، ويونى كونازول، ومفليودايد mefluidide أدت إلى حماية الثمار – الخضراء والحمراء – من التعرض لأضرار الصقيع عندما خزنت على حرارة ٢م° لمدة ٢٨ يوماً، وجميعها – كذلك – معاملات لا يوصى بها.

أضرار التجمد

تحدث أضرار التجمد freezing injury من جراء تكون البلورات الثلجية فى الخلايا بأنسجة الحاصلات البستانية، حيث يبدو النسيج المتجمد بعد إخراجة من المخزن وتعرضه لدرجة الحرارة العادية كما لو كان منقوعاً فى الماء water-soaked.

ويمكن أن يحدث التجمد أثناء نقل المحصول فى ظروف جوية تقل فيها الحرارة عن الصفر المئوى، أو نتيجة لعدم ضبط منظم الحرارة بطريقة صحيحة، أو لعدم كفاءة المنظم؛ أو نتيجة لتعرض المنتج لمادة شديدة الانخفاض فى درجة الحرارة مثل الثلج الجاف. وتتوقف درجة الحرارة التى يتجمد عندها المحصول على محتوى أنسجته من المواد الذائبة، حيث يزداد الانخفاض فى حرارة التجمد بزيادة الضغط الأسموزى للعصير الخلوى. وبينما تتجمد أوراق الخس على -٠,٢م°، فإن ثمار العنب (التي تحتوى على مالا يقل عن ١٤٪ سكر) لا تتجمد إلا بعد انخفاض الحرارة لأقل من ٢,٠م°.

طبيعة أضرار التجمد

يؤدى تجمد الأنسجة إلى جفافها وحدوث شد أسموزى للتراكيب الخلوية، مثل الأغشية الخلوية، ومحتويات الخلية كالبروتين؛ ذلك لأن ماء الخلية يفقد أثناء نمو

الفصل الثاني عشر - أضرار البرودة والتجمد

البُورَات الثلجية. كما أن تمدد الماء أثناء تجمده - وخاصة الماء المتجمد داخل الخلايا - يمكنه إحداث أضرار فيزيائية كبيرة بتركيب الخلية. وعند تفكك الأنسجة فإنه لا يمكنها - عادة - معاودة الأيض الطبيعي أو عودتها إلى قوامها العادي. تكون الأنسجة المفككة بعد التجمد - غالباً - طرية ومائية المظهر، إلا أن بعض المنتجات كالكرنب والبصل لا تتأثر بقدر كبير، وخاصة إذا كان الضرر الذي أحدثته البُورَات الثلجية محدوداً، وإذا كان معدل الارتفاع في درجة الحرارة عند التفكك بطيئاً؛ بما يسمح بإعادة توزيع ماء الخلايا والأنسجة بنظام، وإعادة النظام إلى مختلف مكونات الخلايا.

وتمر الأحداث التي تقود إلى الإصابة بأضرار التجمد بمرحلتين، تكون المنتجات في أولهما قابلة للعودة إلى الحالة الطبيعية؛ أما المرحلة الثانية فلا يكون فيها رجعة، وهي التي تقود إلى ظهور أعراض التجمد، وذلك كما يلي:

١- المرحلة الأولى:

يحدث فيها تغيرات فيزيائية في دهون الأغشية الخلوية وتحللاً بالإنزيمات والبروتينات.

٢- المرحلة الثانية:

يحدث فيها أضرار لا رجعة فيها في كل من:

أ- العمليات الأيضية، مثل التنفس وتمثيل البروتين.

ب- تحرك الأيونات خلال الأغشية الخلوية.

ج- حركة دوران السيتوبلازم.

تؤدي تلك الأضرار في نهاية المطاف إلى تحلل الأغشية الخلوية وظهور أعراض أضرار البرودة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

العوامل المؤثرة في شدة أضرار التجمد

إن درجة تجمد أى منتج لا تكون دليلاً على الأضرار التي يمكن توقعها فيه لدى

تجمده. وعلى سبيل المثال .. فإن كلا من الطماطم والجزر الأبيض يتجمدان على -1.1 إلى -0.6 م°، إلا أن الجزر الأبيض يمكنه التجمد والتفكك عدة مرات دون أن تظهر عليه أية أضرار، بينما تتلف ثمار الطماطم تماماً لدى تعرضها لتجمد واحد.

وتتأثر شدة أضرار التجمد بكل من درجة الحرارة ومدة التجمد. وعلى سبيل المثال .. فإن التفاح يُضار قليلاً بالتعرض لحرارة تقل قليلاً عن حرارة التجمد لأيام قليلة، ولكنه يُضار بشدة إذا ما تعرض لحرارة -7 إلى -10 م° ولو لعدة ساعات.

وقد لا تتشابه أنواع الخضر أو الفاكهة التي تنتمي لنوعية واحدة (مثل الخضر الورقية أو الجذرية ... إلخ) في قابليتها للإصابة بأضرار البرودة. فمثلاً يعد الخس الورقي حساساً لأضرار التجمد. بينما يمكن لبعض الخضر الورقية الأخرى كالكيل والكرنب تحمل عدة تجمدات بسيطة دون أن تحدث بها أضرار تذكر.

وإذا ما تركت المنتجات ساكنة فإنها قد تتحمل التبريد حتى عدة درجات أدنى من درجة تجمدها قبل أن تتجمد بالفعل، وهو ما يعرف باسم ظاهرة "تحت التبريد" *under-cooling* أو "التبريد الفائق" *super-cooling*. يمكن أن تبقى تلك المنتجات لعدة ساعات دون تجمد، ولكنها تتجمد في الحال لدى تعرضها لأي اهتزازات أو تحريك. وإذا ما دفنت المنتجات قبل تجمدها فإن كثيراً منها تفلت من التجمد. وكمثال على ذلك .. فإن البطاطس يمكنها أن تتحمل حرارة -3.9 م° (وهي الأقل من درجة تجمدها بمقدار ثلاث درجات)، ولكنها تفلت من التجمد إذا ما دفنت بحرص (Wang 2004).

وتكون الأنسجة النباتية شديدة الحساسية لأضرار الخدش وهي متجمدة، وذلك سبب آخر للإبقاء على المنتجات المخزنة ساكنة لحين تدفنتها. هذا مع العلم أن اختيار حرارة تفكيك عالية يسرع من التفكك، ولكنه يزيد من الأضرار. بينما يسمح التفكك البطيء جداً (على صفر إلى -1 م°) على سبيل المثال) بأن تبقى البلورات الثلجية في الأنسجة لفترة طويلة؛ مما قد تحدث معه أضرار. وتعد -4 م° هي الدرجة المثلى لتفكك معظم المنتجات.

الفصل الثاني عشر – أضرار البرودة والتجمد

ويمكن أن تتأثر حرارة التجمد بكل من الأصناف، وموقع الإنتاج، والظروف الجوية التي كانت سائدة قبل الحصاد.

وفى كل الحالات .. فإن المنتجات التي تتحمل التفكك بعد تجمدها تكون أقل صلاحية للتخزين وأكثر عرضة للإصابة بمسببات الأمراض (Lorenz & Maynard ١٩٨٠، و Wang ٢٠٠٤).

تقسيم الخضر والفاكهة حسب قابليتها للإصابة بأضرار التجمد
تفاوتت الخضر والفاكهة فى قابليتها للإصابة بأضرار التجمد؛ فبعضها يمكن تجمده وتفككه عدة مرات دون أن تظهر عليه أى أضرار، بينما يُضار بعضها الآخر ضرراً دائماً مع أقل تجمد.

ويمكن تقسيم الخضر والفاكهة إلى ثلاث أقسام حسب قابليتها للإصابة بأضرار البرودة كما يلي (من Wang ٢٠٠٤):

١- منتجات شديدة القابلية للإصابة: وهى التى تُضار - عادة - لدى تعرضها لتجمد واحد ولو كان بسيطاً، ومنها:

المشمش	الأسبرجس	الزبدية
الموز	الفاصوليا الخضراء	الخيار
الباذنجان	الليمون الأضاليا	الليمون البنزهير
الخبس	البامية	الخبوخ
الفلفل الحلو	البرقوق	البطاطس
الكوسة	البطاطا	الطماطم

٢- منتجات متوسطة القابلية للإصابة: وهى التى يمكنها التعرض لتجمد بسيط مرة أو مرتين، ومنها:

التفاح	البروكولى	الجزر
القنبيط	الكرفس	الجريب فروت

العنب	البصل (الأبصال)	البقدونس
الكمثرى	البسلة	الفجل
السبانخ	قرع الشتاء	

٣- منتجات أقل قابلية للإصابة، وهي التي يمكن أن تتعرض لتجمد بسيط (حتى -٦ م) عدة مرات دون أن تصاب بأضرار شديدة، ومنها:

البنجر	كرنب بروكسل	الكرفس
البلح	الكيل	كرنب أبو ركة
الجزر الأبيض	الروتاباجا	السلفيل
اللفت		

هذا .. ولا توجد علاقة بين درجة الحرارة التي تتجمد عندها الحاصلات وبين درجة تحملها لأضرار التجمد. فمثلاً .. تتجمد البطاطس عند حرارة -٢,٧ م، بينما يتجمد الكرنب عند حرارة -٠,٥ م. وبالرغم من ذلك .. يتحمل الكرنب التجمد عدة مرات دون ضرر يذكر، بينما لا تتحمل البطاطس التجمد ولو لفترة قصيرة. ومن الطبيعي أن تنخفض المقدرة على التخزين عند تعرض الخضروات المخزنة للتجمد.

أعراض أضرار التجمد

إن أكثر أعراض أضرار التجمد شيوعاً هي اكتساب المنتج مظهرًا مائيًا water soaked appearance. وغالبًا ما تفقد الأنسجة التي تُضار بالتجمد صلابتها وتصبح زائدة الطروة لدى تفككها.

ومن أهم أعراض أضرار التجمد في محاصيل الخضر ما يلي (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠):

الأعراض	المحصول
انفصال البشرة وتلون الأجزاء التي تنفصل عنها البشرة - والتي تأخذ شكل تقرحات - بلون يعميل إلى الأبيض أو الرصاصي الفاتح، ثم لا يلبث أن يصبح اللون	الخرشوف

الأعراض	المحصول
بنياً بعد تكسر القروح.	
تصبح قمة المهاميز داكنة اللون، وبقية أنسجتها مائية المظهر. وعند تفكك التجمد فإن المهاميز تصبح مهترئة.	الأسبرجس
تصبح الجذور مائية المظهر خارجياً وداخلياً، وتكتسب الأوعية الناقلة أحياناً لوناً أسود.	البنجر
تكون أصفر البراعم الزهرية فى مركز القرص أكثر حساسية للتجمد. وتكتسب البراعم المتجمدة لوناً بنياً، وتعطى رائحة قوية غير مقبولة عند تفككها.	البروكولى
تصبح الأوراق مائية المظهر ونصف شفافة، وتتفصل عنها البشرة بعد تفككها.	الكرنب
تظهر بالجذور تقرحات. وشقوق متعرجة، كما تبدو الجذور من الداخل مائية المظهر بعد تفككها.	الجزر
تكتسب الأقرص لوناً بنياً، وتعطى رائحة قوية غير مرغوبة عند طهيها.	القنبيط
تبدو الأوراق وأعناق الأوراق ذابلة ومائية المظهر بعد تفككها. ويكون تجمد الأعناق أسرع من تجمد أنصال الأوراق.	الكرفس
تبدو الفصوص مائية المظهر بعد تفككها، وتأخذ لوناً أصفر ضارباً إلى الرمادى.	الثوم
تظهر تقرحات، وتموت خلايا البشرة بعد انفصالها، وتصبح بنية اللون، وتزداد حساسية الرؤوس للأضرار الميكانيكية والتحلل.	الخنس
تكون الأبصال المفككة طرية، وتأخذ لوناً أصفر ضارباً إلى الرمادى، وتبدو مائية المظهر فى المقطع العرضى. ويكون التجمد - عادة - محصوراً فى أعناق الأوراق (الحراشيف المتشحمة المكونة للبطيخة) كل منها منفردة.	البصل
يموت كل نسيج البشرة أو جزء منه، ويبدو مائى المظهر، وتعرض الثمرة للتقشير والانكماش، كما تتحلل بعد تفككها.	الفلفل الحلو
لا تبدو أضرار التجمد واضحة على الدرنة من الخارج، ولكنها قد تظهر على صورة مناطق رمادية أو رمادية ضاربة إلى الزرقة تحت جلد الدرنة، وتكون الدرنة المفككة طرية ومائية المظهر.	البطاطس
تبدو الأنسجة المفككة نصف شفافة، وتكون الجذور طرية ومنكمشة.	الفجل

الأعراض	المحصول
تتلون الأنسجة الوعائية بلون بني ضارب إلى الصفرة، وتبدو بقية الأنسجة مائية المظهر، وتأخذ لوناً ضارباً إلى الصفرة. وتكون الجذور طرية وشديدة القابلية للإصابة بالتحلل.	البطاطا
تصبح الثمار مائية المظهر، وتكون طرية بعد تفكيكها. وعندما يكون تجعد الثمار جزئياً، يشاهد حد فاصل واضح بين النسيجين المتجمد وغير المتجمد، وخاصة فى الثمار الخضراء.	الطماطم
تظهر بقع صغيرة مائية المظهر على سطح الجذور. وتبدو الأنسجة المتأثرة بالتجمد رصاصية اللون أو رمادية، وتعطى رائحة غير مرغوبة.	اللفت