٣- خفض حركة الهواء حول المنتج إلى الحد الذى يكفى – فقط – للتخلص من حرارة التنفس دون زيادة.

٤- تقليل الفقد الرطوبى الذى ينتج عن تنفس المنتج، وذلك بسرعة تبريد المنتج أوليًا وبصورة تامة قبل وضعه فى الحاوية؛ لأجل تقليل الفرق الحرارى بين المنتج والهواء المحيط به.

٥- تقليل قدرة الهواء المحيط على حمل الرطوبة، وذلك بالمحافظة على الحرارة منخفضة بصورة دائمة داخل الحاوية أو الشاحنة؛ فالهواء الدافئ يمكن أن يستوعب قدرًا أكبر من الرطوبة التى تصله من المنتج (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

أهمية التبريد

تعد درجة الحرارة أهم عامل مؤثر فى بقاء الخضر والفاكهة بحالة جيدة بعد الحصاد؛ ونعنى بذلك درجة حرارة مركز المنتج أو لب الثمار. وبمجرد حصاد المنتج يتعين تبريده أوليًا بأسرع ما يمكن ثم حفظه فى أقل حرارة يمكن أن يتحملها، وهى تكون – غالبًا – حرارة أعلى قليلاً من حرارة التجمد بالنسبة للمنتجات غير الحساسة لأضرار البرودة، وحرارة أعلى قليلاً من تلك التى تحدث عندها أضرار البرودة بالنسبة للمنتجات الحساسة لها.

وعلينا أن نتذكر أن تأثير التعرض للحرارة العالية هو تأثير متجمع، وتتناسب شدة الأضرار التى تحدثها الحرارة العالية طرديًا مع مجموع الساعات الحرارية التى تعرض لها المنتج فى حرارة أعلى من تلك التى تناسب تخزينه، سواء أتم ذلك التعرض مرة واحدة بعد الحصاد مباشرة، أم على فترات متقطعة بعد ذلك (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

ومن أهم مظاهر أضرار الحرارة العالية فقدان اللون المميز؛ واحتراق الأسطح، وعدم تجانس النضج، والطراوة الزائدة، والفقد الرطوبى.

وتعد البرودة بمثابة درجة منخفضة من الحرارة، والتبريد هو طرد الحرارة من المنتج ولا يكون بدفع البرودة فيه.

ويعمل التخزين فى درجة حرارة منخفضة على تثبيط كلّ من:

١– التنفس والأنشطة الحيوية الأخرى.

٢– التدهور الذى يحدث مع زيادة النضج وفقدان الثمار لصلابتها والتغيرات فى القوام واللون.

٣– الفقد فى الرطوبة والذبول.

٤– التلف الناتج من الإصابة بالبكتيريا والفطريات والخمائر.

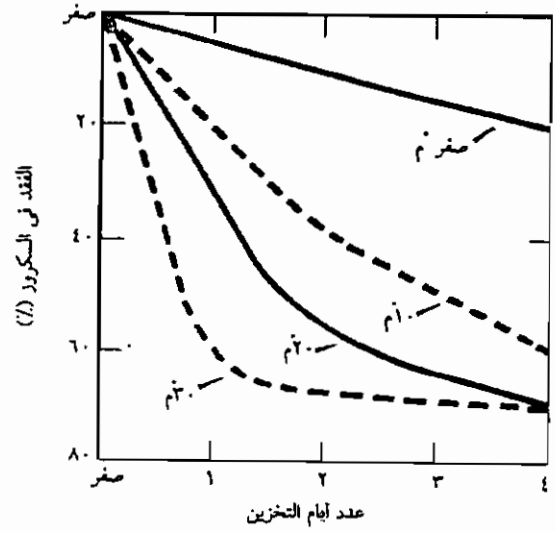
٥– النموات غير المرغوبة، كما يحدث فى البصل والبطاطس.

وكما أسلفنا .. فإن سرعة التنفس تتضاعف من ١–٥ مرات مع كل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية بين الصفر المئوى و ٣٥°م. وتصاحب ذلك زيادة فى معدل التدهور سبق تناولها بالشرح كذلك. ونكتفى – فى هذا المقام – بمثالين يوضحان التغير فى معدل التدهور فى السبانخ (جدول ١١–٦)، وفى الفقد فى نسبة السكر فى الذرة السكرية (شكل ١١–١)، مع التغير فى درجة حرارة التخزين.

جدول (١١–٦): معدل التدهور فى السبانخ مع التغير فى درجة الحرارة (عن **Claypool** وآخرين ١٩٥٨).

درجة الحرارة (°م)	فترة التخزين	معدل التدهور نسبة إلى التدهور فى الصفر المئوى (ضعف)
صفر	٦٦	١
٥	٤٢	١,٥
١٠	١٣	٥
١٥	٧	٩
٢٠	٤	١٦
٢٥	٣	٢١
٣٠	٢	٣١

ومن الأهمية بمكان أن تكون درجة حرارة المخزن متجانسة تمامًا؛ إذا إن عدم التجانس يعنى أن الثمار الموجودة فى حرارة مرتفعة تنضج أسرع من غيرها؛ وبالتالى يحدث خلط لثمار فى درجات مختلفة من النضج. وقد تصبح بعض الثمار زائدة النضج، وتبدأ فى التعفن.



شكل (١١-١): النسبة المئوية للفقد فى محتوى الذرة السكرية من السكروز أثناء التخزين فى درجات الحرارة المختلفة (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

ويمكن تحقيق التجانس فى درجة حرارة المخزن بالعناية بترتيب العبوات واستعمال مبردات جيدة، وبقراءة درجة الحرارة فى أماكن مختلفة من المخزن بصفة دورية. كما تجب قراءة الحرارة فى وسط العبوات أيضًا.

كذلك يجب العمل على تحريك هواء المخزن بصورة مستمرة؛ لأن الفشل فى تحقيق ذلك يؤدى إلى اختلاف فى درجة الحرارة فى الأجزاء المختلفة من المخزن. وبعد تبريد المنتج والتخلص من حرارة الحقل يكفى أن يكون تحرك الهواء خلال المنتج بسرعة ٢٠-٢٥ مترًا فى الدقيقة؛ للتخلص من الحرارة الناتجة من التنفس، والحرارة التى تدخل من الأبواب المفتوحة. هذا .. ولا تعد سرعة الهواء الذى يتخلل المنتجات كافية

إذا كانت درجة حرارة الهواء الخارج من المخزن أعلى بأكثر من ١°م عن حرارة الهواء الداخل إليه.

ويتبع الهواء أثناء تحركه المسارات التى يجد فيها أقل مقاومة؛ وعليه .. فإن عدم تجانس ترتيب العبوات قد يؤدى إلى حدوث عدم تجانس فى درجة حرارة المخزن؛ حيث يمر الهواء بمعدلات أكبر فى الممرات الواسعة. ولهذا السبب يجب تجنب عمل ممرات واسعة فى اتجاه تيار الهواء، كما يجب ترك مسافة ٥–٨ سم بين الصناديق المرتبة فوق بعضها، وأن يكون تيار الهواء فى اتجاه الصفوف، وليس متعامدًا عليها. كذلك يحب ترك مسافة ١٠–٢٠ سم على امتداد الحوائط الجانبية لتسهيل مرور الهواء على الجوانب أيضًا.

وتجب المحافظة على التبريد فى كل مراحل تداول المنتج؛ فيما يعرف بسلسلة التبريد cold chain.

ويمكن تقسيم سلسلة التبريد إلى أربع مراحل تحتاج كل منها إلى إدارة جيدة ومستقلة، ليمكن المحافظة على السلسلة، وهى كما يلى:

١– الحصاد الحقلى والنقل إلى محطة التعبئة.

٢– وصول المنتج لمحطة التعبئة، وتعبئته، وتجهيزه فى بالتات.

٣– التبريد الأولى.

٤– التخزين المبرد.

٥– الشحن.

ومن بين الأمور التى يجب توخيها للمحافظة على سلسلة التبريد ما يلى:

١– نقل المحصول فى سيارات النقل إلى محطة التعبئة فى مواعيد منتظمة وعدم الانتظار أكثر من اللازم لحين امتلائها.

٢– قصر الحصاد على الفترات الباردة من اليوم، فذلك يسمح ببعض التأخير لحين التبريد فى حالة الضرورة.

٣- بقاء المحصول فى مكان مظلل حتى وهو داخل سيارات النقل لأجل المحافظة على حرارته من الارتفاع بفعل أشعة الشمس.

٤- يفيد تركيب وتشغيل شبكة للتبريد بالرذاذ الدقيق misting فى المكان المظلل فى بقاء حرارة المنتج منخفضة نسبيًا لحين نقله إلى محطة التعبئة.

٥- لا يجب الاعتماد على وسائل النقل المبردة فى تبريد المنتج الذى ترتفع حرارته؛ ذلك لأن قدرة تلك السيارات على التبريد منخفضة، وقد تبقى حرارة المنتج فيها عالية لفترة طويلة، خاصة إن لم تكن فتحات التهوية بالكراتين متوافقة مع نظام تيار الهواء البارد المندفع من الحاوية.

٦- يفضل – دائمًا – ضبط درجة الحرارة بالحاوية عند الدرجة المثلى للمنتج أو أقل منها بقليل.

٧- يجب ضبط سرعة تيار الهواء البارد بالمخازن لتكون حوالى ١٠٠ قدم مكعب فى الدقيقة لكل طن من المنتج (أو نحو ٠,٠٤٧م^{3} فى الثانية لكل طن من المنتج).

٨- يلاحظ أن فحص المنتج للأغراض الجمركية لا يتم فى أماكن مبردة؛ لذا .. يلزم الانتهاء منه بسرعة للمحافظة على سلسلة التبريد.

٩- بوضع جهاز لتسجيل درجة الحرارة خلال جميع مراحل تداول وانتقال المنتج، يمكن التعرف على مواضع الضعف التى تنحرف فيها الحرارة عن تلك الموصى بها؛ بما يسمح بوضع الحلول المناسبة لها (عن Thompson ١٩٩٨).

هذا .. ويصاحب إخراج المنتجات من المخزن تكثُّف بخار الماء على المنتج، وهى الظاهرة التى تعرف باسم "التعرق" sweating. ويزداد التعرق بزيادة الرطوبة النسبية فى الجو الخارجى. وهذه الظاهرة ضارة، ويجب الحد منها قدر المستطاع؛ حتى لا تساعد على انتشار العفن. ويتم ذلك بالسماح للمنتجات المخزنة بأن تفقد برودتها بصورة تدريجية، أو بإخراجها من المخزن فى الأوقات التى تقل فيها الرطوبة النسبية فى الجو الخارجى. هذا .. ويمكن الإسراع فى تخليص المنتجات من بخار الماء المتكثف عليها بتعريضها لتيار من الهواء.