الفصل الثالث والثلاثون

فسيولوجيا ما بعد الحصاد

تدخل ضمن دراسة فسيولوجيا ما بعد الحصاد Post-Harvest physiology كافة التغيرات الفسيولوجية التى تطرأ على الخضروات بعد حصادها ، والمعاملات التى تجرى لها بغرض إبطاء هذه التغيرات ، والمحافظة على جودة الخضروات لحين وصولها للمستهلك ، بما فى ذلك طرق التخزين المختلفة التى تعمل على إطالة فترة احتفاظ الخضر بجودتها ، والمعاملات التى تجرى بغرض إسراع نضجها .

٣٣ – ١ : التغيرات التى تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد

إن جميع التغيرات التى تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد يمكن ملاحظتها والإحساس بها ، فهى تغيرات مورفولوجية ، ولكن هذه التغيرات المشاهدة لها أساسها الفسيولوجى ، فلا تحدث إلا نتيجة لنشاط فسيولوجى داخل الثمار . ويمكن – بصورة عامة – تقسيم هذه التغيرات إلى تغيرات مرغوبة وأخرى غير مرغوبة .

٣٣ – ١ – ١ : التغيرات المرغوبة فى الثمار المخزنة

من أهم التغيرات المرغوبة التى تحدث فى ثمار الخضر المخزنة ما يلى :

١ – كل التغيرات التى تؤدى إلى تحسين الصفات التى تجعل الثمار صالحة للأكل ، سواء من حيث اللون أم النكهة أم القوام . وهى تغيرات تصاحب استكمال النضج فى الثمار التى تحصد قبل تمام نضجها ، كما فى الطماطم ، والقاوون الشبكى ، والقاوون الأملس .

(أ) فالطماطم تحصد عادة ما بين طور النضج الأخضر وطور النضج الوردى حسب درجة الحرارة ، والمدة التى تمر من الحصاد إلى التسويق . وتستكمل تلونها قبل وصولها للمستهلك .

(ب) والقاوون الشبكى يكتسب أفضل طعم ونكهة بعد ٢ – ٣ أيام من التخزين

(جـ) أما القاوون الأملس ، فتلزمه المعاملة بالإيثيلين لاستكمال النضج بعد الحصاد كما سبق بيانه فى الجزء (٣٢ – ١٢) .

٢ – يعتبر تبييض الكرفس من التغيرات المرغوبة التى تحتاج هى الأخرى للمعاملة بالإيثيلين

٣ – ومن التغيرات المطلوبة أيضًا تحول النشا إلى سكر أثناء فترة العلاج فى جذور البطاطا ، وفى ثمار القرع العسلى ، مع إطالة فترة التخزين ، وفى الجزر فى الأيام الأولى من التخزين .

٣٣ – ١ – ٢ : التغيرات غير المرغوبة

تشمل التغيرات غير المرغوبة كل ما يؤدى إلى تدهور المحصول وتلفه . وهى فى غالب الأمر امتداد للتغيرات المرغوبة التى سبق بيانها ، حيث تتخطى الثمار مرحلة النضج المناسبة للاستهلاك وتصبح زائدة النضج over ripe ، كما أن من التغيرات غير المرغوبة مالا علاقة له بمسألة النضج كما سيأتى بيانه . ومن هذه التغيرات ما يلى :

التغيرات فى اللون

قد تحدث تغيرات غير مرغوبة فى اللون . ومن أمثلتها ما يلى :

١ – فقدان الكلوروفيل – أى فقدان اللون الأخضر – فى الخضر التى تؤكل خضراء ، كالخضر الورقية ، والخيار ، والفاصوليا ، والبسلة الخضراء وغيرها .

٢ – تكون لون بنى غير مرغوب نتيجة لأكسدة المواد الفينولية ، كما فى البطاطس .

٣ – اخضرار درنات البطاطس عند تعرضها للضوء .

التغيرات فى الكربوهيدرات

من أمثلة التغيرات غير المرغوبة فى المواد الكربوهيدراتية ما يلى :

١ – تحول النشا إلى سكر فى البطاطس المخزنة على درجة حرارة أقل من ٥°م ، حيث تتراكم السكريات تحت هذه الظروف . ويؤدى ذلك إلى اكتساب البطاطس لونًا بنيًّا داكنًا ، بدلًا من اللون الأصفر الذهبى المرغوب عند التحمير فى الزيت بسبب احتراق السكريات . هذا .. ويرجع ذلك التغير فى اللون إلى السكريات المختزلة فقط . وتختلف الأصناف فى مدى قابليتها لتراكم السكريات المختزلة عند التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة .

٢ – تحول السكر إلى نشا فى بعض الخضروات ، كالبسلة ، والذرة السكرية عند تخزينها فى درجة حرارة مرتفعة ، فتفقد الذرة السكرية ٦٠٪ من محتواها من السكر خلال يوم واحد من التحزين فى درجة حرارة ٣٠°م ، بالمقارنة بـ ٦٪ فقط عند التخزين فى الصفر المئوى . ويصاحب فقدان السكر انخفاض كبير فى صفات الجودة .

فقدان الصلابة

تفقد الثمار صلابتها نتيجة لتحلل البكتينات والمواد الأخرى العديدة التسكر ، وتصبح طرية وأكثر حساسية للأضرار الميكانيكية .

التغيرات فى الطعم

تحدث التغيرات غير المرغوبة فى الخضر المخزنة نتيجة لما يحدث بها من تغيرات فى الأحماض العضوية ، والبروتينات ، والأحماض الأمينية ، والدهون .

فقدان الفيتامينات

تفقد الخضروات المخزنة جزءًا من محتواها من الفيتامينات ، ويكون ذلك واضحًا بوجه خاص فى فيتامين جـ . ويمكن تقليل هذا الفقد بسرعة تبريد المحصول بعد الحصاد ، وخزنه فى درجات حرارة منخفضة ، كما يفيد التخزين فى الجو المعدل الذى تقل فيه نسبة الأكسجين فى تقليل أكسدة الفيتامينات .

النموات النباتية

يحدث أثناء التخزين أن تتكون نموات نباتية بالثمار ، كما فى الحالات التالية :

١ – تزريع البطاطس ، والبصل ، والثوم ، والخضر الجذرية ، كالجزر واللفت ؛ ويقلل ذلك من صلاحيتها للتسويق .

٢ – نمو الجذور فى الجزر ؛ ويقلل ذلك أيضًا من قيمتها التسويقية .

٣ – إنبات البذور داخل الثمار ، وهو الأمر الذى قد يحدث أحيانًا فى ثمار بعض سلالات الطماطم والفلفل .

٤ – استطالة مهاميز الهليون والتواؤها لأعلى إذا كانت بوضع أفقى أثناء التخزين . وتصاحب ذلك زيادة فى صلابتها .

٥ – ظهور نموات زغبية بأقراص القنبيط (Kader وآخرون ١٩٨١) .

الفقد فى الوزن

تفقد الخضروات المخزنة جزءًا من رطوبتها عن طريق النتح . ويؤدى ذلك إلى ذبولها وتغير مواصفاتها ، كما تقل الكمية الفعلية المسوقة من المحصول . وتزداد سرعة النتح مع ارتفاع درجة حرارة التخزين ونقص الرطوبة النسبية . ويكون النتح بمعدلات مرتفعة فى بداية فترة التخزين ، ثم ينخفض تدريجيًا بعد ذلك . ومن البديهى أن النتح يكون بمعدلات أعلى بكثير فى الخضر الورقية ، عنه فى الخضروات الأخرى ، كما يكون معدله أقل ما يمكن فى الخضروات الدرنية . كذلك يقل النتح مع زيادة الطبقة الشمعية على المنتج ، وعند خزن الخضر الجذرية بدون أوراقها .

ويؤدى نقص الرطوبة بنسبة ٣ – ٦٪ فى الخضر المخزنة إلى تدهور كبير فى نوعيتها . ويمكن لبعض الخضروات ، كالكرنب ، أن تتحمل فقدًا رطوبيًا تصل نسبته إلى ١٠٪ من وزن الرؤوس ، لكنها تحتاج حينئذ إلى بعض التقليم والتهذيب قبل عرضها فى الأسواق . ويوضح جدول (٣٣ – ١) معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (درجة حرارة ٢٧°م ، ورطوبة نسبية ٦٠٪) .

جدول (٣٣ ـ ١) معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (درجة حرارة ٢٧°م ، ورطوبة نسبية ٦٠٪) (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

الخضر	معدل الفقد اليومى (٪)
الهليون	٨,٤
الفاصوليا الخضراء	٤,٠
الجزر (بدون أوراق)	٣,٦
البنجر (بدون أوراق)	٣,١
الخيار	٢,٥
قرع الكوسة	٢,٢
الطماطم	٠,٩
القرع العسلى	٠,٣

ومن الممكن خفض الفقد الرطوبى بتعبئة الخضروات فى عبوات بلاستيكية ، إلا أنها تُحد من تبادل الغازات ، كما تبطىء التوصيل الحرارى . وقد تفقد الخضروات المعبأة جزءًا كبيرًا من رطوبتها إلى العبوات الخشبية ، ولهذا ينصح أحيانًا ببل الصناديق الخشبية قبل تعبئتها .

وتعتبر الرطوبة النسبية فى المخازن أهم العوامل المتحكمة فى الفقد الرطوبى ، لأن الرطوبة النسبية فى المسافات البينية لأنسجة معظم الخضروات تبلغ ٩٩٪ على الأقل ، ويعنى ذلك استمرار فقدها للرطوبة ، طالما أن الرطوبة النسبية فى الجو المحيط بها تقل عن ذلك . ويطلق على الفرق فى ضغط بخار الماء بين الجو الداخلى لأنسجة المنتجات المخزنة والجو الخارجى اسم Vapor-pressure . ويحدث معظم الفقد فى الرطوبة أثناء مراحل التبريد المبدئى ، حيث يكون الفرق فى ضغط بخار الماء كبيرًا ، ويقل تدريجيًا مع انخفاض درجة الحرارة . ويعطى جدول (٣٣ – ٢) أمثلة تبين أهمية كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء ؛ وبالتالى على الفقد الرطوبى من الخضر المخزنة .

جدول (٣٣ ـ ٢) : أهمية درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء ، وبالتالى على الفقد الرطوبى فى الخضر المخزنة (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

المثال	الرطوبة النسبية (٪)	ضغط بخار الماء (مم زئبق)
١ ـ درجة حرارة الخضر ٧٠° ف (٢١° م)	١٠٠	١٨,٧٦
درجة حرارة الهواء ٣٢° ف (صفر ° م)	١٠٠	٤,٥٨
الفرق فى ضغط بخار الماء		١٤,٥٨
		١٤,١٨
٢ ـ درجة حرارة الخضر ٣٢° ف (صفر° م)	١٠٠	٤,٥٨
درجة حرارة الهواء ٣٢° ف (صفر° م)	٥٠	٢,٢٩

جدول (٣٣ – ٢) : يتبع .

المثال	الرطوبة النسبية (٪)	ضغط بخار الماء (مم زئبق)
الفرق فى ضغط بخار الماء		٢,٢٩
٣ ـ درجة حرارة الخضر ٥٣٦°ف (٢,٢°م)	١٠٠	٥,٣٧
درجة حرارة الهواء ٥٣٦° ف (٢,٢° م)	٩٠	٤,٨٣
الفرق فى ضغط بخار الماء		٠,٥٤
٤ ـ درجة حرارة الخضر ٣٢° ف (صفر° م)	١٠٠	٤,٥٨
درجة حرارة الهواء ٣٢° ف (صفر° م)	٩٠	٤,١٢
الفرق فى ضغط بخار الماء		٠,٤٦

ويوضح جدول (٣٣ – ٣) الحد الأقصى المسموح به للفقد الرطوبى فى الخضر المخزنة ، حيث لا تكون بعدها صالحة للتسويق . هذا .. وبرغم أن جزءًا من الفقد فى الوزن يرجع إلى التنفس ، إلّا أن ذلك الجزء لا يعتد به ، بالمقارنة بالفقد الرطوبى .

جدول (٣٣ ـ ٣) : الحد الأقصى المسموح به للفقد الرطوبى فى الخضروات المخزنة ، حيث تصبح الخضروات بعدها غير صالحة للبيع (عن Fordham & Biggs ١٩٨٥) .

الخضر	الحد الأقصى المسموح به للفقد فى الرطوبة (٪)
الهليون	٨
الفول الرومى	٦
البنجر (جذور)	٧
البروكولى	٤
الكرنب بروكسل	٨
الكرنب (أصناف مختلفة)	٧ ـ ١٠
الجزر (جذور)	٨
الجزر (بأوراقه)	٤
القنبيط	٧
الكرفس	١٠
الكرات أبو شوشة	٧
البصل	١٠
الجزر الأبيض	٧
البطاطس	٧
البسلة (بالقرون)	٥

جدول (٣٣ – ٣) : يتبع

الخضر	الحد الأقصى المسموح به للفقد فى الرطوبة (٪)
السبانخ	٣
الذرة السكرية	٧
الطماطم	٧
اللفت	٥
الخس	٣ - ٥

أضـــرار البرودة

تحدث أضرار البرودة Chilling Injury فى معظم الخضروات الاستوائية وشبه الاستوائية عندما تخزن فى درجة حرارة أعلى من درجة تجمدها ، وأقل من ٥ – ١٥°م . ويتوقف الحد الأعلى للمجال الحرارى الذى تحدث فيه أضرار البرودة على نوع المحصول .

ومن مظاهر أضرار البرودة ما يلى :

١ – حدوث تغيرات داخلية وخارجية فى اللون discoloration .

٢ – ظهور نقر pits على سطح الثمار .

٣ – ظهور مناطق مائية المظهر Water-soaked .

٤ – عدم تجانس النضج أو عدم اكتماله .

٥ – ظهور طعم غير مستساغ .

٦ – تكون الخضروات أكثر عرضة للإصابة بالنموات الفطرية السطحية والتحلل (Kader وآخرون ١٩٨١) .

ولدرجة الحرارة المنخفضة تأثير متجمع Cumulative ، حيث يبدأ فى الحقل قبل الحصاد ، ويستمر مع التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة . وكثيرًا ما تبدو الخضر طبيعية المظهر عند إخراجها من المخازن الباردة ، إلّا أنها سرعان ما تظهر عليها أعراض البرودة بعد بقائها فى الجو العادى لمدة يوم أو يومين ، أى أثناء فترة التسويق . ويوضح جدول (٣٣ – ٤) أعراض أضرار البرودة فى الخضر المختلفة ، وأقل درجة حرارة مأمونة يمكن أن تخزن عليها تلك الخضروات ، دون أن تتعرض لهذه الأضرار .

أضرار التجمد

تحدث أضرار التجمد Freezing Injury من جّراء تكون البلورات الثلجية فى الخلايا بأنسجة الخضروات ، حيث يبدو النسيج المتجمد بعد إخراجه من المخزن وتعرضه لدرجة الحرارة العادية كما لو كان منقوعًا فى الماء Water-soaked .

جدول (٣٣ ـ ٤) : أضرار البرودة فى الخضر المختلفة وأقل درجة حرارة مأمونة يمكن ان تخزن عليها تلك الخضروات ، دون أن تتعرض لهذه الأضرار .

الخضر	الحد الأدنى المأمون لدرجة الحرارة (م°)	أعراض أضرار البرودة
الفاصوليا الخضراء	٧	نقر pitting وصدأ russeting
الخيار	٧	نقر وبقع مائية water- soaking وتحلل decay
الباذنجان	٧	انسفاع أو احتراق scald سطحى وعفن الترنارى
القاوون		
الشبكى	٧ ـ ١٠	نقر وتحلل سطحى
شهد العسل ـ الكاسابا ـ الفارسى	٧ ـ ١٠	نقر وتحلل سطحى وعدم النضج
البطيخ	٤	نقر وطعم غير مستساغ
البامية	٧	اسوداد وظهور مناطق مائية وتحلل
الفلفل الحلو	٧	نقر وعفن الترنارى
البطاطس	٣	تكون لون بنى ضارب للحمرة mahogany browning
القرع العسلى وقرع الشتاء	١٠	تحلل وعفن الترنارى
البطاطا	١٣	تحلل ونقر وظهور لون داخلى أسود
الطماطم :		
الحمراء	٤ ـ ١٠	ظهور مناطق مائية مع طراوة الثمار وتحللها
الخضراء الناضجة	١٣	عدم اكتمال التلون وعفن الترنارى

وتختلف الخضروات كثيرًا فى درجة الحرارة التى تتجمد عليها ، وفى مدى تعرضها للضرر من جرّاء التجمد . وتقسم الخضروات فى هذا الشأن إلى ثلاث مجاميع كالتالى :

١ – خضروات شديدة الحساسية ، حيث تحدث بها أضرار شديدة عند تعرضها للتجمد ولو لفترة قصيرة . وتشمل هذه المجموعة : الهليون ، والفاصوليا الخضراء ، والخيار ، والباذنجان ، والخس ، والبامية ، والفلفل ، والبطاطس ، وقرع الكوسة ، والبطاطا ، والطماطم .

٢ – خضروات متوسطة فى درجة تحملها للتجمد ، فيمكنها تحمل التجمد الخفيف مرة أو مرتين . وتشمل هذه المجموعة : البروكولى ، والكرنب ، والجزر بدون عروش ، والقنبيط ، والكرفس ، والبصل ، والبقدونس ، والبسلة ، والفجل بدون عروش ، والسبانخ ، والقرع العسلى .

٣ – خضروات أكثر تحملًا للتجمد ، حيث يمكنها تحمل التجمد عدة مرات مع انخفاض درجة الحرارة إلى ٦°م تحت الصفر . وتشمل هذه المجموعة : البنجر ، وكرنب بروكسل ، والكيل ، وكرنب أبو ركبة ، والجزر الأبيض ، والروتاباجا ، والسلسفيل ، واللفت .

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

هذا .. ويمكن لمعظم الخضروات – إذا تركت بدون تحريك أو اهتزاز – أن تتحمل درجة حرارة تقل بمقدار عدة درجات عن درجة حرارة التجمد دون أن تتجمد . ويطلق على هذه الظاهرة اسم تحت التبريد under cooling ، وأحيانًا التبريد الفائق super cooling . وقد تستمر الخضروات على هذه الحالة لعدة ساعات دون أن تتجمد ، لكنها تتجمد فى الحال إذا ما حُركت العبوات أو اهتزت . ولهذا السبب يحسن عدم تحريك الخضروات المخزنة إلا بعد رفع درجة حرارة المخازن ، تجنبًا لاحتمال كونها فى حالة تبريد فائق . وتعد البطاطس من أبرز الأمثلة على ذلك ، فهى من أكثر الخضروات حساسية للتجمد ، ولكنها تبقى بدون تجمد وهى معرضة لدرجة حرارة – ٤°م لعدة ساعات ، طالما أنها ساكنة . كذلك فإن أنسجة الخضروات تكون شديدة الحساسية للتجريح والأضرار الميكانيكية وهى متجمدة ، وهذا سبب آخر يدعو إلى عدم تداول الخضروات عند إخراجها من المخازن إلّا بعد أن تدفأ نسبيًّا .

أضرار الأمونيـــا

تحدث أضرار الأمونيا Ammonia Injury عندما يتسرب الغاز من أجهزة التبريد ، حيث تتلون الأنسجة الخارجية للخضر المخزنة بلون بنى أو أخضر مسود . وقد تؤدى الأضرار الشديدة إلى ليونة الأنسجة الداخلية ، وفقد الخضر صلاحيتها للتسويق . ويحدث الضرر عادة عندما يصل تركيز الأمونيا فى جو المخزن إلى ٠,١٪ ، ولكنه لا يظهر إلّا بعد عدة ساعات من التعرض لهذا التركيز . ولهذا يوصى بوضع أجهزة للتنبيه ضد تسرب الغاز .

ويمكن التخلص من أبخرة الأمونيا بالتهوية ، أو بغسيل جو المخزن بالماء إذا كان ذلك ممكنًا ، أو بمعادلة الأمونيا بغاز ثانى أكسيد الكبريت Sulfurdioxide إن كانت الخضر المخزنة غير حساسة لذلك الغاز ، مع عدم زيادة تركيزه عن ١٪ (Lurtz & Hardenburg ١٩٦٨) .

أضرار نقص الأكسجين

يحدث النقص فى الأكسجين من جراء تنفس الخضروات المخزنة ، ويكون ذلك مصحوبًا بزيادة فى نسبة ثانى أكسيد الكربون . وتختلف الخضروات فى مدى حساسيتها لذلك . ومن الأضرار التى يحدثها نقص الأكسجين ما يلى :

١ – ظهور حالة القلب الأسود فى درنات البطاطس .

٢ – تبقع قرون الفاصوليا الخضراء ببقع بنية اللون .

أضرار الإيثيلين

تنتج الفاكهة والخضروات غاز الإيثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها . وتختلف الثمار كثيرًا فى معدل إنتاجها للغاز كما سبق بيانه فى الفصل السابق . ويؤدى وجود الثمار ذات المعدلات المرتفعة فى إنتاج الغاز مثل : التفاح ، والكمثرى ، والبرقوق ، والأفوكادو ، والقاوون الشبكى ، والباباظ ، والخوخ ، بجانب الخضر الحساسة للغاز إلى حدوث أضرار كثيرة . ومن أمثلة هذه الأضرار ما يلى .

١ – فقدان اللون الأخضر :

فالإيثيلين يسرع تحلل الكلوروفيل ، ويؤدى إلى اصفرار الأنسجة الخضراء ، فتنخفض بذلك صفات الجودة فى الخضر الورقية ، وفى الثمار الخضراء والخضر الأخرى ، كالبروكولى ، والخرشوف . ومن أمثلة ذلك ما يلى :

(أ) أدى تعرض الكرنب إلى ١٠ – ١٠٠ جزءًا فى المليون من الإيثيلين أثناء التخزين فى حرارة ١°م لمدة ٥ أسابيع إلى فقدان اللون الأخضر وسقوط الأوراق . وتعتبر بعض أصناف الكرنب أكثر حساسية فى هذا الشأن ، حيث تفقد اللون الأخضر فى تركيزات أقل من الإيثيلين تصل إلى ١ – ٥ أجزاء فى المليون .

(ب) أدى تركيز ٤ أجزاء فى المليون من الغاز إلى زيادة الاصفرار ومعدل التدهور فى الكرنب بروكسل ، والبروكولى ، والقنبيط فى درجة حرارة ١°م .

(جـ) لوحظ أن ثمار الكوسة المعرضة لتركيز ٥ أجزاء فى المليون من الغاز فى درجة حرارة ١٥ – ٢٠°م قد فقدت لونها الأخضر .

(د) أدت معاملة ثمار الخيار بتركيز ٠,١ – ١٠ أجزاء فى المليون من الإيثيلين إلى فقدانها للون الأخضر ، كما نقصت صلابة الثمار فى التركيزات المرتفعة .

٢ – انفصال الأوراق والأعضاء النباتية الأخرى Abscission :

يؤدى التعرض للإيثيلين إلى انفصال الأوراق وسقوطها فى الكرنب ، وكرنب بروكسل ، والقنبيط ، والخضر الورقية ، وانفصال البراعم فى البروكولى ، وانفصال أوراق الكأس فى الباذنجان . فمثلًا .. أدى تعرض ثمار الباذنجان لغاز الإيثيلين بتركيز ١ – ١٠ أجزاء فى المليون لمدة يومين إلى انفصال الكأس ، وتلون لب الثمار والبذور باللون البنى ، وسرعة تعفن الثمار .

٣ – تأثيرات غير مرغوبة على القوام Texture :

يؤدى تعرض الثمار للإيثيلين إلى فقدانها لصلابتها ، وخفض فترة تخزينها ومقدرتها على الشحن . ومن أمثلة ذلك ما يلى :

(أ) أدى تعرض ثمار البطيخ للإيثيلين بتركيز ٥ – ٦٠ جزءًا فى المليون إلى فقدان الثمار لصلابتها ، ونقص سمك قشرة الثمرة ، وتهتك أنسجتها . وقد صاحب ذلك زيادة فى نشاط الإنزيمات التالية :

pectinase, cellulase, esterase, polyphenol oxidase, peroxidase

(ب) برغم أن تعرض جذور البطاطا للإيثيلين قد قلل من صلابتها بعد الطهى – وهى صفة مرغوبة – إلّا أن المعاملة كان لها تأثير سيء على اللون والطعم .

(جـ) أدى تعرض مهاميز الهليون لتركيز ١٠٠ جزءًا فى المليون من الإيثيلين لمدة ساعة إلى زيادة صلابتها ، وكان ذلك مصحوبًا بزيادة فى نشاط إنزيم البيروكسيديز peroxidase مع زيادة تمثيل اللجنين .

٤ – تغيرات فى الطعم :

برغم أن الإيثيلين يحدث تغيرات هامة مرغوبة فى طعم ونكهة الخضروات تشمل تحول النشا إلى سكر ، وفقدان الحموضة ، وتكوين المركبات المتطايرة ، إلا أنه يؤدى أيضًا إلى إحداث تغيرات غير مرغوبة ، كما فى الحالات التالية :

(أ) تكون مادة مرة (عبارة عن isocumarin) فى الجزر .

(ب) تكون طعم مر فى الكرنب عند التعرض للغاز بتركيز ١٠٠ جزءًا فى المليون .

٥ – تبرعم البطاطس :

تنمو البراعم من عيون البطاطس عند تعرضها لغاز الإيثيلين بتركيز ٢ جزء فى المليون لمدة ٧٢ ساعة ، وبذلك تؤدى هذه المعاملة إلى إنهاء حالة السكون ، إلا أنها تمنع استطالة النموات المتكونة . ويعد هذا التأثير مفيدًا فى حالة تقاوى البطاطس ، ولكنه غير مرغوب فى البطاطس المعدة للاستهلاك . وتصاحب المعاملة بالإيثيلين زيادة كبيرة فى معدل تنفس الدرنات .

٦ – تكوين تبقعات صدئة Russet spotting فى الخس :

يعتبر الإيثيلين هو العامل الأساسى فى ظهور حالة التبقعات الصدئة فى الخس . ويكفى تعرض الخس لتركيز ١,٠ جزء فى المليون لظهور هذا العيب الفسيولوجى بصورة كبيرة أثناء الشحن العادى فى حرارة ٥°م لمدة ٥ – ٨ أيام . وتبدأ الأعراض فى الظهور على شكل بقع صغيرة فى البشرة أو الميزوفيل تمتد حتى النسيج الوعائى ، حيث يتدهور نسيج الميزوفيل ، وتنشأ عن ذلك انخفاضات صدئة تشبه النقر (Kader ١٩٨٥) .

ولتجنب الأضرار التى يمكن أن يحدثها الإيثيلين فى المخازن ، فإنه يلزم التخلص منه بإحدى الطرق التالية :

١ – إزالة الغاز من المخازن أولًا بالتهوية الجيدة .

٢ – تجنب مصادر الغاز التى من أهمها :

(أ) الجرارات والآلات التى تعمل بالوقود : فيجب عدم تركها دائرة فى المخازن دون استعمال . ويفضل استخدام الرافعات fork lifts التى تعمل بالكهرباء .

(ب) إزالة الثمار الزائدة النضج أولًا بأول .

(جـ) إزالة الثمار المجروحة .

(د) عدم ترك الثمار المنتجة للإيثيلين مع الثمار الأخرى الأقل إنتاجًا للغاز ويستفاد فى هذا الشأن من جدول (٣٣ – ٥) الذى تقسم فيه ثمار الخضر والفاكهة الطازجة حسب إمكانيات خلطها أثناء النقل والتخزين بناء على احتياجاتها من حيث درجات الحرارة والرطوبة ، ومعدل إنتاجها من غاز الإيثيلين ، ومدى حساسيتها لهذا الغاز .

جدول (٣٣ ـ ٥): تقسيم محاصيل الخضر والفاكهة الطازجة حسب إمكانيات خلطها أثناء النقل والتخزين (بناء على احتياجاتها من حيث درجات الحرارة والرطوبة) ومعدل إنتاجها من غاز الإيثيلين ومدى حساسيتها لهذا الغاز) (عن عبد القادر ١٩٨٦)

رقم المجموعة	درجة الحرارة (°م)	الرطوبة النسبية (٪)	أنواع الخضر والفاكهة التابعة للمجموعة
١	صفر ـ ١	٩٠ ـ ٩٥	الكمثرى ـ التفاح ـ المشمش ـ الخوخ والنكتارين ـ البرقوق ـ الفراوله ـ التين ـ البلح ـ العنب ـ (غير المعامل بغاز ثانى أكسيد الكبريت) .
٢	صفر ـ ١	٩٠ ـ ٩٥	الخرشوف ـ الجزر ـ البنجر ـ الفجل ـ اللفت ـ البصل الأخضر ـ الخس ـ السبانخ ـ البقدونس ـ الكرفس ـ الكرات ـ الكرنب ـ القرنبيط ـ البسلة ـ الفول الأخضر .
٣	صفر ـ ١	٦٥ ـ ٧٠	البصل الجاف ـ الثوم الجاف .
٤	٥ ـ ٨	٨٥ ـ ٩٠	البرتقال ـ اليوسفى ـ الرمان ـ الزيتون ـ الكنتلوب .
٥	٧ ـ ٨	٩٠ ـ ٩٥	الفاصوليا ـ اللوبيا ـ الخيار ـ القثاء ـ قرع الكوسة ـ البطاطس .
٦	١٠ ـ ١٢	٩٠ ـ ٩٥	الأفوكادو (الزبدية) ـ الجوافة ـ الطماطم المكتملة النضج ـ الفلفل ـ الباذنجان ـ البامية ـ البطيخ ـ الشمام ـ كيزان العسل .
٧	١٢ ـ ١٤	٨٥ ـ ٩٠	الموز ـ المانجو ـ الباباظ ـ القشطة ـ الجريب فروت ـ الليمون الأضاليا ـ الليمون البلدى المالح ـ الطماطم ـ (مكتملة التكوين خضراء) .
٨	١٢ ـ ١٤	٨٥ ـ ٩٠	البطاطا ـ القلقاس .

٣ – استخدام مادة ماصة ذات مسطح كبير يمكنها ادمصاص برمنجنات البوتاسيوم ، مثل الفيرميكيوليت ، والسيليكاجل ، والبرليت ، حيث تتحول البرمنجنات بواسطة الغاز من صورة MnO_4^- ذات اللون القرمزى إلى الصورة $Mn\ O_2$ ذات اللون البنى (Sherman ١٩٨٥) .

٣٣ – ٢ : تنفس منتجات الخضر بعد الحصاد

يمكن إرجاع غالبية التغيرات التى تطرأ على الخضروات بعد الحصاد إلى تنفس أنسجتها ، وما يصاحب ذلك من نشاط إنزيمى وانطلاق للطاقة . فتوجد علاقة طردية مباشرة بين سرعة تدهور الخضروات المخزنة ومعدل تنفس أنسجتها .

٣٣ – ٢ – ١ : تقسيم الخضروات حسب معدل التنفس بعد الحصاد

تقسم الخضروات إلى خمس مجاميع حسب معدل تنفس أنسجتها بعد الحصاد كالتالى :

١ – التنفس مرتفع جدًّا وتشمل الهليون ، والبروكولى ، والذرة السكرية ، والبسلة ، والسبانخ .

٢ – التنفس مرتفع : تشمل الفاصوليا ، والخس ، وفاصوليا الليما .

٣ – التنفس متوسط : تشمل البنجر ، والجزر ، والكرفس ، والخيار ، والقاوون ، والفلفل ، وقرع الكوسة ، وقرع الشتاء ، والطماطم .

٤ – التنفس منخفض : تشمل الكرنب ، والبطاطس ، واللفت .

٥ – التنفس منخفض جدًّا : تشمل البصل ، والبطاطس (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

٣٣ – ٢ – ٢ : تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس أثناء التخزين

يكون تنفس الخضروات أقل ما يمكن فى درجة الحرارة الأعلى من درجة التجمد مباشرة ، ثم يزيد معدل التنفس بمقدار ٢ – ٣ أضعاف فيما بين الصفر المئوى ، ١٠°م وبمقدار الضعف مع كل زيادة فى درجة الحرارة بعد ذلك مقدارها ١٠ درجات مئوية فيما بين ١٠ – ٣٥°م . أى تخضع الزيادة فى معدل التنفس مع ارتفاع درجة الحرارة فى هذا المدى لقانون فانت هوف Van't Hoff .

ويصاحب التنفس انطلاق طاقة كبيرة حسب المعادلة التالية :

ك٦ يد١٢ ا٦ + ٦أ٢ ⟵ ٦كأ٢ + ٦ يد٢أ + ٦٧٣ كيلو كالورى

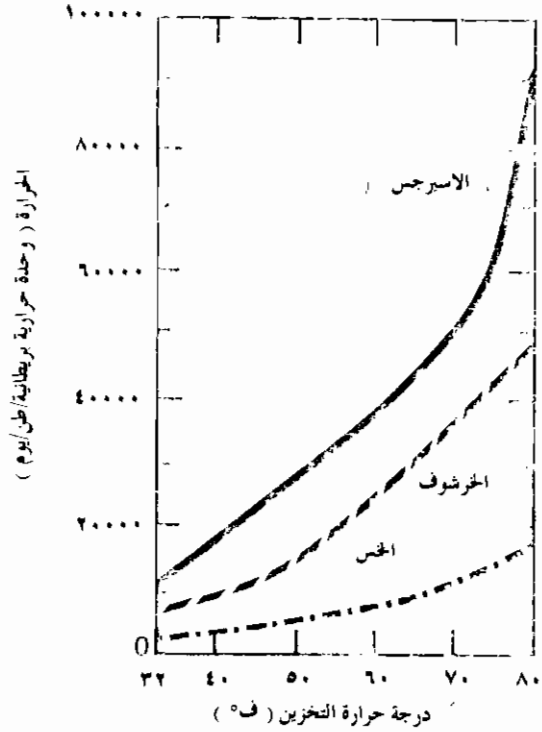
وكلما ازداد معدل التنفس ، ازدادت كمية الطاقة المنطلقة . فمثلًا .. يؤدى ارتفاع درجة الحرارة من صفر إلى ١٥°م إلى زيادة كمية الطاقة المنطلقة إلى ٦ أضعاف تقريبًا فى الذرة السكرية والبسلة . وتصل الزيادة إلى ١٠ أضعاف عند وصول درجة الحرارة إلى ٢٧°م . وفى السبانخ تصل الزيادة فى الطاقة المنطلقة إلى ٩ أضعاف تقريبًا مع ارتفاع درجة الحرارة من صفر إلى ١٥°م . ويوضح شكل (٣٣ – ١) تأثير درجة حرارة التخزين على معدل تنفس بعض الخضروات ؛ وبالتالى على كمية الطاقة المنطلقة منها .

هذا .. وتقدر الطاقة المنطلقة بالوحدات الحرارية البريطانية British thermal units ، والوحدة (Btu) هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة واحدة فهرنهيتية .

٣٣ – ٢ – ٣ : تأثير الأكسجين على معدل التنفس

يؤدى خفض نسبة الأكسجين وزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى جو المخزن إلى خفض معدل التنفس فى الخضر المخزنة ، ويسمى ذلك الإجراء بالتخزين فى الجو المعدل Modified atmosphere . ويحتوى الجو المعدل عادة على ٣ – ٥٪ أكسجين ، ونحو ٥٪ ثانى أكسيد الكربون . ويلزم دائمًا توفر كمية كافية من الأكسجين حتى يستمر التنفس هوائيًّا وينطلق الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون ، لأن غياب الأكسجين يجعل التنفس لا هوائيًّا ، ويتكون الكحول ، وحامض الخليك ، وثانى أكسيد

الكربون . والكحول ضار بالأنسجة النباتية ، ويؤدى إلى موت الخلايا . كما أن المركبات الوسطية الأخرى التى تتكون أثناء عملية التنفس اللاهوائى هذه ضارة أيضًا . فدرنات البطاطس يتكون بها التيروزين tyrosine المسئول عن اللون الأسود فى الدرنات المصابة بحالة القلب الأسود ، وتتكون بالكرنب والكرفس مواد تحدث نقرًا وبقعًا صغيرة متناثرة فى أعناق الأوراق والعروق . وتتضح من ذلك أهمية التهوية فى حجرات التخزين . كما أنه من الضرورى تحريك الهواء خلال المحصول المخزن لنقل الحرارة الناتجة من التنفس .



شكل ٣٣ - ١ : تأثير درجة حرارة التخزين على معدل تنفس بعض الخضروات ، وبالتالى على كمية الطاقة المنطلقة منها .

٣٣ - ٢ - ٤ : طريقة حساب الطاقة المنطلقة من الخضر المخزنة

تتوقف احتياجات التبريد فى المخازن على كمية الطاقة المنطلقة من الخضر المخزنة أثناء تنفسها . وتحسب كمية الطاقة المنطلقة يوميًّا بضرب معدل التنفس (فى صورة ملليجرامات ك أ٢/كجم/ساعة) فى ٢٢٠ . وقد حصل على هذا العامل بضرب ٢,٥٥ جم كالورى (من الحرارة التى تنطلق مع كل ملليجرام من ك أ٢ المنتج عند تأكسد سكر سداسى) فى ٨٦,٣ . وهذا العامل (٨٦,٣) هو ناتج تحويل سعرات حرارية/كجم/ساعة إلى Btu/طن/يوم .

ورغم البساطة التى تتم بها هذه التحويلات ، وبرغم أن عملية التنفس ليست بتلك البساطة ، إلا أن هذه الطريقة فى حساب كمية الطاقة المنطلقة أثناء التنفس يوميًّا تتفق جيدًا مع النتائج المشاهدة (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

٣٣ - ٢ - ٥ : ظاهرة الكلايمكتريك أثناء تنفس الثمار

اكتشف Kidd & West ظاهرة الكلايمكتريك Climacteric أثناء دراستهما للتغيرات فى معدل تنفس ثمار التفاح عند نضجها . فقد لاحظا أن ثمار التفاح تمر بثلاث مراحل كالتالى :

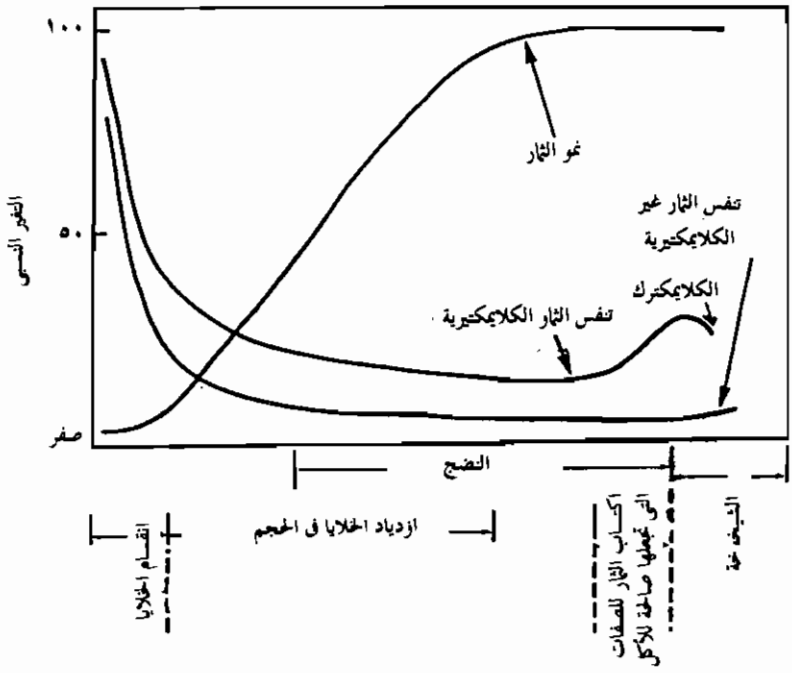
١ - فى المرحلة الأولى يحدث انخفاض طفيف فى معدل التنفس يستمر تدريجيًّا مع كبر حجم الثمار ، حتى تصل إلى أكبر حجم لها . ويطلق على هذه المرحلة اسم ما قبل الكلايمكتريك Preclimacteric stage .

٢ - تبدأ المرحلة الثانية بعد وصول الثمار إلى أكبر حجم لها ، وتستمر أثناء نضجها . ويحدث أثناءها ارتفاع حاد فى معدل التنفس يصل أقصاه عند اكتمال نضج الثمار . ويطلق على هذه المرحلة اسم الكلايمكتريك ، أو ذروة التنفس Climacteric stage (شكل ٣٣ - ٢) .

وتقسم الثمار حسب التغيرات التى تلاحظ فى معدل التنفس بها بعد القطف إلى قسمين :

١ - ثمار تحدث فيها ظاهرة الكلايمكتريك ، وتسمى Climaeteric fruits ، ومن أمثلتها : التفاح والكمثرى ، والمشمش ، والخوخ ، والبرقوق ، والزبدية ، والمانجو ، والموز ، والباباظ ، والسابوتا ، والبشملة ، والطماطم ، والقاوون ، خاصة الكانتلوب ، وكيزان العسل .

٢ - ثمار غير كلايمكتيرية Non-Climacteric fruits : لا يلاحظ بها تغيرات كبيرة فى معدل التنفس بعد القطف . ومن أمثلتها : الكريز ، وبعض أصناف التين والموالح ، والأناناس ، والفراولة (شكل ٣٣ - ٢) .



شكل ٣٣ - ٢ : طرز نمو وتنفس الثمار أثناء تطورها (عن Wills وآخرين ١٩٨١) .

وبرغم صحة هذا التقسيم من حيث التغيرات الملاحظة فى معدل التنفس بعد القطف ، إلّا أنه يمكن القول بأن ظاهرة الكلايمكتريك تحدث فى جميع الثمار اللحمية إذا قطفت بعد اكتمال نموها مباشرة ، لكن ما يحدث هو أن بعض الثمار ، كالخيار ، والكوسة ، والباذنجان ، تقطف قبل وصولها إلى أقصى حجم لها ؛ فلا تحدث بها الظاهرة ، لأنها لا تنضج نباتيًا بعد القطف . والبعض الآخر يقطف بعد اكتمال نموه ، ولكنه يستهلك قبل نضجه نباتيًا ، كالفلفل ، فلا تلاحظ به الظاهرة ، كما أن بعض الثمار تقطف بعد اكتمال نضجها ؛ فتكون ظاهرة الكلايمكتريك قد حدثت بها قبل القطف ، كما فى العنب ، والتين ، والفراولة (النبوى وآخرون ١٩٧٠) .

٣٣ - ٣ : وسائل إطالة فترة احتفاظ الخضر بجودتها أثناء التخزين .

نتناول بالشرح فى هذا الجزء كافة العوامل التى يجب أخذها فى الاعتبار ، والوسائل التى يمكن اتباعها بغرض إطالة فترة احتفاظ الخضر بجودتها أثناء التخزين .

٣٣ - ٣ - ١ : قصر التخزين على الخضروات التى وصلت إلى طور النضج المناسب

يجب أن تكون الخضروات المخزنة فى طور النضج المناسب لعملية التخزين ، فتكون قد وصلت إلى مرحلة النضج البستانى ، ولم تصبح زائدة النضج بعد .

٣٣ - ٣ - ٢ : عدم تخزين الخضروات المخدوشة والمصابة بالآفات

يصاحب التخزين دائمًا نقص مستمر فى نوعية الخضروات ، بالرغم من توفير أفضل الظروف للتخزين ، وعليه .. فلا يجب أن تخزن إلا أفضل المنتجات ، حتى لا يصبح هذا النقص فى النوعية شديدًا بعد فترة قصيرة من التخزين :

١ - فتلزم معاملة المنتجات برفق لتجنب إحداث أى خدوش أو أضرار ميكانيكية بها ، أو تقليل ذلك إلى أدنى حد ممكن .

٢ - كما تستبعد كل الثمار والنباتات المصابة بالعفن ، لأنها غالبًا ما تضر غيرها من الثمار أو النباتات السليمة .

٣ - ويلزم إجراء عملية العلاج لدرنات البطاطس ، وجذور البطاطا ، وأبصال البصل والثوم .

٤ - ولا تجب محاولة تخزين درنات البطاطا التى حدثت بها أضرار من جراء تعرضها لأشعة الشمس القوية المباشرة عند الحصاد .

٣٣ - ٣ - ٣ : الوقاية من الكائنات الدقيقة المسببة للعفن بالمعاملة بالكيماويات .

يستخدم للوقاية من الكائنات الدقيقة المسببة للعفن عدد من المركبات التى لا تترك أثرًا ضارًّا على الخضر المخزنة ، أو على الإنسان . وتستخدم هذه المواد فى صورة محاليل مائية ترش بها الخضر ، أو تغمس فيها ، أو تشبع بها الأوراق التى تلف فيها الثمار ، أو تبطن بها صناديق التعبئة .

ومن أهم المركبات التى تستخدم لهذا الغرض ما يلى :

١ – البوراكس ، أو حامض البوريك ، أو مخلوط منهما .

٢ – هيبوكلوريت الصوديوم Sodium hypochlorite ، وهو يستخدم بكثرة .

٣ – التدخين بمادة ثلاثى كلوريد النيتروجين nitrogen trichloride .

٤ – المبيدات الفطرية ، مثل : البنليت Benlate ، والكابتان Captan ، والثيرام Thiram .

٥ – غاز ثانى أكسيد الكبريت Sulfnr dioxide .

٣٣ – ٣ – ٤ : إجراء المعاملات الخاصة بمنع التزريع فى المخازن

يمكن منع تزريع بعض الخضر ، كالبطاطس ، والبصل ، والثوم فى المخازن بالمعاملة ببعض المركبات الكيميائية ، أو بتعريضها للإشعاع .

المعاملة بالمركبات الكيميائية

تفيد المعاملة ببعض المركبات الكيميائية فى منع تزريع الخضروات التى لا يمكن تخزينها فى درجات حرارة منخفضة لعدم توفر المخازن المبردة ، أو لأن الحرارة المنخفضة تحدث أضرارًا بالخضروات المخزنة . وقد تجرى هذه المعاملات قبل الحصاد أو بعده .

وجميع المعاملات السابقة للحصاد تكون برش النباتات بالماليك هيدرازيد . فترش نباتات البطاطس عندما تكون الدرنات بقطر حوالى ٥ سم . ويجب أن تظل الأوراق خضراء لعدة أسابيع بعد المعاملة . وترش نباتات البصل عند ميل نحو ٥٠٪ من الأوراق لأسفل . ويجب أن تكون الأبصال ناضجة عند الرش وأعناقها طرية ، مع وجود ٥ – ٧ أوراق خضراء على الأقل .

أما المعاملات التالية للحصاد ، فتكون بمركبات كيميائية مختلفة . فدرنات البطاطس ترش أو تعفر بالـ Methyl ester of naphthalene acetic acid أثناء وضعها فى المخازن ، أو قد يمكن خلط الدرنات بورق مشبع بهذه المادة . وتؤدى المعاملة إلى بقاء الدرنات ساكنة لمدة ٤ – ٥ أشهر فى درجات حرارة ١٠ – ١٣°م . كما يستخدم الـ Nonanol alchol تجاريًّا بتبخيره بمعدل معين بأجهزة خاصة وإمراره فى جو المخزن من خلال أجهزة التهوية . تبدأ المعاملة عند بدء نمو البراعم ، وتكرر عند الضرورة . وكذلك يستخدم chloro-IPC فى المخازن بعد الحصاد بنحو ٢ – ٣ أسابيع (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

المعاملة بالإشعاع

استعملت الإشعاعات فى منع تزريع درنات البطاطس وأبصال البصل ومحاصيل أخرى أثناء التخزين .

ففى البطاطس أمكن تقليل انكماش الدرنات وتزريعها إلى حد كبير بمعاملتها بـ ٥٠٠٠ رونتجن ، كما أمكن وقف الانكماش والتزريع كلية بالمعاملة بـ ٢٠٠٠٠ رونتجن من أشعة جاما باستعمال كوبالت٦٠ .

وقد أدت الجرعات الأعلى إلى إحداث فقد كبير فى الوزن مع انكماش الدرنات . كذلك دلت اختبارات التذوق على وجود طعم حلو فى الدرنات بعد الإشعاع ، كما أثبتت التجارب التى تلت ذلك وجود اختلافات بين الأصناف فى استجابتها للإشعاع ، ولكن لا يوجد أى شك فى فائدة وجدوى هذه الطريقة فى منع انكماش وتزريع درنات البطاطس . وقد أمكن تخزين البطاطس بهذه الطريقة لعدة سنوات .

كذلك أدت معاملة أبصال البصل إلى منع تزريعها ، سواء أكانت الأبصال كبيرة ، أم صغيرة ، برغم أن النسيج المرستيمى المسئول عن التزريع يوجد فى وسط البصلة ، بعكس عيون البطاطس التى يوجد فيها النسيج المرستيمى قريبًا من سطح الدرنة .

كما وجد أن التعريض للإشعاع يمنع التزريع فى الجزر ، والبنجر ، واللفت ، والطرطوفة ، لكن حدثت أيضًا نسبة عالية من العفن . وبرغم أنه أمكن التغلب على العفن فى حالة الجزر بالغسيل والتنظيف والتخزين فى أكياس بلاستيكية ، إلا أن الضرر المحتمل حدوثه للخلايا الخارجية السطحية يجعل الجذور أقل مقاومة للعفن . كما أن الإشعاع يقلل من تكوين طبقة البيريدرم ، وبالتالى من فرصة التآم الجروح كما هو حادث فى البطاطس . وعمومًا .. فإن سرعة التعفن تتوقف على درجة حرارة المخزن .

وتستعمل الإشعاعات كذلك فى تقليل أمراض المخازن بتقليل الميكروبات السطحية . وقد أدت هذه المعاملة بالفعل إلى زيادة مدة التخزين ، وكان التغير طفيفًا فى الطعم والرائحة . ومن المحاصيل التى استجابت بدرجة جيدة للإشعاعات . الكرنب ، والسبانخ ، والهليون ، والبروكولى ، وكذلك الفاصوليا ، والبسلة ، والذرة السكرية (Grosch ١٩٦٥) .

وبصفة عامة .. فإن أشعة جاما تعتبر مكلفة فى استخدامها ، ونتائجها ليست دائمًا إيجابية . فمن بين ٢٢ نوعًا من الخضر والفاكهة التى عوملت بالإشعاع كانت هناك آثار سلبية للمعاملة فى عشرين نوعًا منها ، كظهور لون غير طبيعى ، أو نقر ، أو طراوة ، أو نضج غير طبيعى ، أو فقد فى الطعم ، بينما لم تظهر آثار سلبية فى أى من عيش الغراب أو التين . وبرغم أن الإشعاع بجرعة صغيرة (٨ – ١٠ كيلوراد) يفيد فى منع تبرعم البطاطس والبصل ، إلا أن هذه المعاملة لا تمنع حدوث العفن . وإلى جانب ذلك .. فإن معاملات الإشعاع تحدث زيادة فى التبقع الأسود الداخلى فى البطاطس ، وتلون النموات القمية الداخلية فى البصل .

٣٣ – ٣ – ٥ : التبريد المبدئى

يجرى التبريد المبدئى pre-cooling بغرض التخلص من حرارة الحقل field heat (خاصة عندما يكون الحصاد فى الجو الحار) لتقليل سرعة نضج وتدهور المحصول ، بإبطاء التنفس ، وتقليل نشاط الكائنات الحية ، وتقليل الفقد الرطوبى من المحصول أثناء النقل . وتجرى عملية التبريد المبدئى إما قبل التحميل على الشاحنات ، أو بعد التحميل مباشرة . وتتراوح مدة العملية من ٣٠ دقيقة إلى ٢٤ ساعة حسب الطريقة المتبعة .

وتختلف عملية التبريد المبدئى عن التخزين المبرد فى أمرين :

١ – يتم خفض درجة حرارة المنتج فى مدة وجيزة فى حالة التبريد المبدئى ، بينما قد يستلزم ذلك ٣ – ٥ أيام فى حالة مجرد وضع المحصول فى المخازن المبردة .

٢ – تستعمل لأجل ذلك وسائل متنوعة ودرجات حرارة أكثر انخفاضًا عن تلك المستخدمة فى التخزين العادى حتى تتم العملية بسرعة .

وتتوقف سرعة التبريد المبدئى على العوامل الآتية :

١ – الفرق فى درجة الحرارة بين المنتج ووسط التبريد

٢ – نوع وسط التبريد المستخدم .

٣ – سرعة نفاذية البرودة خلال المنتج .

وتتحدد سرعة التبريد بما يسمى بمدة نصف التبريد Half-cooling time ، وهى المدة اللازمة لخفض الفرق فى درجة الحرارة بين المحصول ووسط التبريد إلى النصف . وتبقى هذه القيمة ثابتة خلال عملية التبريد المبدئى ، وهى مستقلة عن درجة حرارة المحصول الأولية ، وتختلف باختلاف المحصول وطريقة التبريد المبدئى المستخدمة .

ويجب أن يتبع التبريد المبدئى دائمًا بقاء المنتج باردًا أثناء الشحن والتخزين والتسويق ، وكذلك بعد الشراء حتى الاستهلاك .

وفيما يلى عرض لأهم الطرق المستخدمة فى التبريد المبدئى :

التبريد المبدئى فى غرف التبريد أو فى العربات المبردة

تقام غرف التبريد على أرصفة الشحن ، أو ملحقة ببيوت التعبئة ، حيث يوضع بها المحصول لتبريده مبدئيًا قبل شحنه ، أو قد يبرد مبدئيًا فى عربات الشحن المبردة مباشرة وتعد هذه الطريقة بطيئة ، لكن يمكن إسراعها بخفض درجة حرارة الهواء المستخدم فى التبريد إلى صفر – ٣°م ، وزيادة سرعته حتى يتخلل المحصول جيدًا . وتصلح هذه الطريقة لتبريد جميع محاصيل الخضر . وتعتبر هذه هى الطريقة الوحيدة المتبعة لتبريد البطاطس ، والثوم ، والبصل ، ويعاب عليها بطء عملية التبريد ، حيث تتوقف سرعتها على الحمولة ، وعدد الرصات ، ونوع العبوات المستخدمة ، كما قد تتكثف الرطوبة على سطح المنتجات .

التبريد المبدئى بوضع ثلج بالعبوات مخلوطًا بالمنتج أو على سطحه

تعتبر إضافة الثلج إلى العبوات من أقدم طرق التبريد المبدئى . وبرغم بساطتها . إلا أن عيوبها كثيرة ، حيث تؤدى إلى زيادة تكاليف عملية التعبئة ، وإتلاف العبوات عند ذوبان الثلج ، ولا تعطى نتائج جيدة . وعمومًا .. فهى لا تصلح إلّا للمحاصيل التى تتحمل ملامسة الثلج لها ، ومع العبوات التى لا تتلف من جراء تعرضها للماء . وتصلح هذه الطريقة للخضر الجذرية والورقية ، وكذلك مع البسلة ، والهليون ، والذرة السكرية .

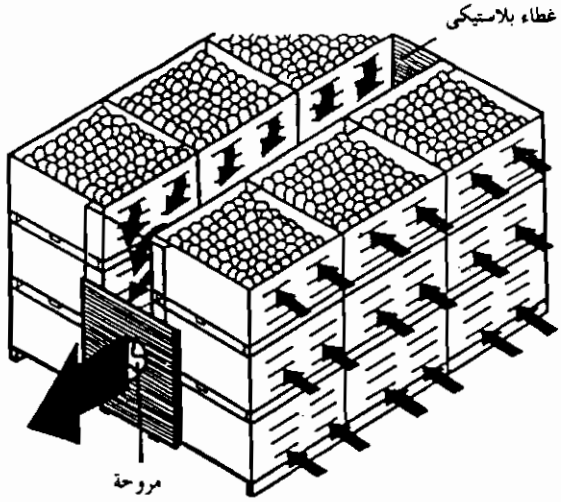
التبريد المائى

يتم التبريد المائى Hydrocooling إما بالغمس فى الماء المثلج ، أو بإمرار المنتج تحت رذاذ من الماء المثلج . وهى من أكفأ وأسرع طرق التبريد المبدئى ، لكن يشترط لنجاحها أن تكون درجة حرارة الماء قريبة من الصفر المئوى ، وأن يظل المحصول معرضًا للماء لفترة كافية حتى يتم تبريده . ومما يقلل من كفاءة هذه الطريقة ألا يكون الماء المستخدم باردًا بالقدر الكافى ، أو ألا يتعرض المحصول له لمدة كافية .

ومن مزايا هذه الطريقة : سرعة التبريد ، وزيادة نضارة الخضروات الذابلة ، ولكن يعاب عليها المساعدة على انتشار الكائنات المسببة للعفن فى حالة إعادة استخدام الماء المثلج . وتصلح هذه الطريقة لتبريد كل من : الجزر ، والفجل ، والكرفس ، والذرة السكرية ، والهليون (Stewart & Couey ١٩٦٣ ، Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء

يتشابه التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء Forced Air Cooling مع الطريقة الأولى من حيث إجرائها على الخضر المعبأة والموضوعة فى غرف ثابتة ، وتختلف عنها فى أن الهواء يتم توجيهه فى مسارات محددة يتخلل خلالها العبوات التى يتم رصها بطريقة معينة (شكل ٣٣ – ٣) . وهى تعطى تبريدًا سريعًا جدًا ، بالمقارنة بالطريقة الأولى . ويلزم لنجاحها أن يكون التثقيب فى صناديق الكرتون فى حدود ٥٪ من السطح الخارجى للعبوة . وهى تصلح للبطاطس والخضر الثمرية .

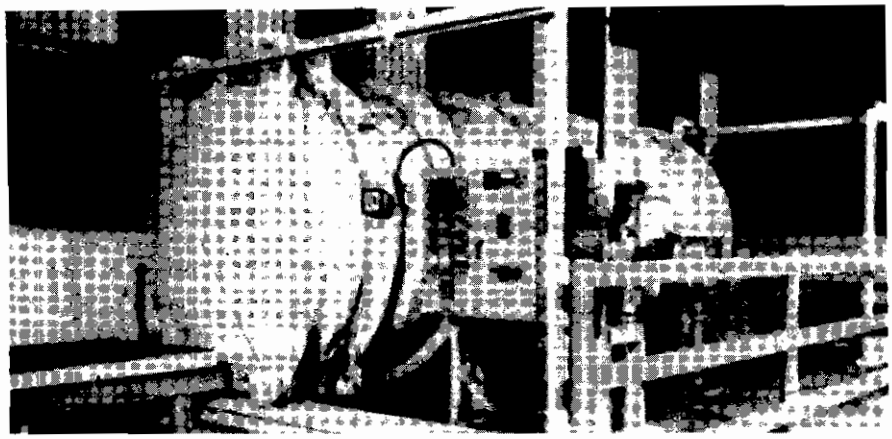


شكل ٣٣ – ٣ : مسار الهواء فى التبريد الآلى بطريقة السريان الجبرى للهواء (عن Wells وآخرين ١٩٨١) .

التبريد بالتفريغ

يعتمد التبريد بالتفريغ Vacuum Cooling على أساس أن تعرض الخضر للتفريغ وهى فى حيز مغلق يؤدى إلى تبخر الرطوبة منها ، ويؤدى ذلك تلقائيًا إلى انخفاض درجة حرارتها ، لأن عملية تبخر الماء تلزمها طاقة يتحصل عليها من الخضر ذاتها . وتصلح هذه الطريقة للخضروات ذات الأسطح التبخيرية الكبيرة ، مثل الخضر الورقية عمومًا . ويلزم إجراؤها على الخضروات وهى مبتلة ، حتى لا تفقد نسبة كبيرة من رطوبتها .

وعند إجراء التبريد بهذه الطريقة توضع الخضروات معبأة فى حجرات من الصلب محكمة الغلق ، ومجهزة بوسائل لتخفيض الضغط الجوى فيها بسرعة حتى يصل إلى ٤,٦ مم زئبق ، حيث يغلى الماء حينئذ فى درجة حرارة الصفر المئوى (شكل ٣٣ – ٤) .



شكل ٣٣ – ٤ : جهاز التبريد الأولى بالتفريغ (عن الزراعة فى العالم العربى – المجلد الثانى – العدد الخامس ١٩٨٦) .

وتفقد الخضر الورقية من ١,٥ – ٤,٧٪ من وزنها بسبب فقد الرطوبة أثناء التبريد ، ويكون الفقد بمعدل ١٪ لكل انخفاض قدره ٦ درجات فهرنهيتية فى درجة حرارة المنتج .

وتتوقف سرعة التبريد على سرعة فقد الرطوبة ، ولهذا يفضل رش بعض الماء على الخضروات قبل تعريضها للتفريغ . ويساعد ذلك على سرعة تبريد بعض الخضر ، كالذرة السكرية ، كما يقلل من الفقد فى الوزن ، حيث يكون التبخر من الماء المستخدم فى بل المحصول .

وتختلف الخضروات فى سرعة انخفاض درجة حرارتها عند تبريدها مبدئيًا بهذه الطريقة . فبمقارنة عدة أنواع من الخضر عند تعريضها للتفريغ لمدة ٢٥ – ٣٠ دقيقة مع وصول أقصى تفريغ إلى ٤ – ٤,٦ مم زئبق ، وجد أن درجة الحرارة النهائية قد تراوحت من ١,٠ إلى ١٨°م . وتوقف ذلك على سرعة فقد الرطوبة من الأنسجة النباتية . وكان أعلى معدل لفقد الرطوبة فى محصولى الخس والبصل الأخضر ، حيث اقتربت درجة حرارة المحصول من ١°م ، بينما كان الفقد الرطوبى قليلًا فى البطاطس والكوسة ، ونتج عن ذلك بطء عملية التبريد .

ويحدث معظم التبخر المائى والتبريد فى فترة قصيرة ، لكن من الضرورى المحافظة على الضغط المنخفض لفترة إضافية للتخلص من الحرارة بالأنسجة اللحمية . ويعتبر ضغط ٤ مم زئبق لمدة ٢٥ – ٣٠ دقيقة كافيًا لمعظم الخضروات (Barger ١٩٦٣) ، وينصح فى حالة تبريد الخس المعبأ فى كرتونات خفض الضغط إلى ٣,٨ مم زئبق ، حيث تصل درجة حرارة المنتج إلى ١°م فى خلال ١٥ دقيقة فقط ، دون وجود أى خطر من التعرض للتجمد ، بينما يلزم مرور ٢٣ دقيقة فى حالة خفض الضغط إلى ٤,٦ مم زئبق . ويعد التوفير فى الوقت ذا أهمية كبيرة ، خاصة فى ذروة موسم الحصاد ، حيث تشتد الحاجة للتبريد بالتفريغ (Barger ١٩٦٢) .

٣٣ – ٣ – ٦ : التخزين فى درجة حرارة منخفضة

تعد البرودة بمثابة درجة منخفضة من الحرارة ، والتبريد هو طرد الحرارة من المنتج ولا يكون بدفع البرودة فيه . هذا .. ويعمل التخزين فى درجة حرارة منخفضة إلى تثبيط كل 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 بالبكتريا والفطريات والخمائر .

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

وكما هو معلوم .. فإن سرعة التنفس تتضاعف مع كل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية ما بين الصفر المئوى و ٣٥°م . وتصاحب ذلك زيادة فى معدل التدهور ، كما هو مبين فى جدول (٣٣ – ٦) بالنسبة للسبانخ .

جدول (٣٣ ـ ٦) : معدل التدهور فى السبانخ مع التغير فى درجة الحرارة (عن Claypool وآخرين ١٩٥٨)

درجة الحرارة (م°)	فترة التخزين	معدل التدهور نسبة الى 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 ، إذ 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 .

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 .

٣٣ - ٣ - ٧ : التحكم فى الرطوبة النسبية فى جو المخزن

للرطوبة النسبية أهمية كبيرة بالنسبة للخضروات المخزنة ، لأن نقص الرطوبة يسرع من ذبول الخضروات ، وزيادتها عن اللازم – أى عندما تكون قريبة من ١٠٠٪ – يؤدى إلى نمو العفن على الجدران والأرضيات والعبوات ، وعلى الخضر نفسها . وينصح غالبًا برطوبة نسبية تتراوح من ٩٠ – ٩٥٪ فى معظم الخضروات مع بعض الاستثناءات ، كما فى البصل ، والثوم ، والبطاطس .

ويتوقف توفير الرطوبة النسبية المناسبة على إحكام عزل المخازن عن الجو الخارجى ، وتوفير أجهزة تبريد قوية حتى تصل البرودة بسرعة لكل المنتج .

وإذا لم يكن جهاز التبريد قادرًا على تزويد جو المخزن بالرطوبة الكافية ، فإنه ينصح بإضافة رذاذ الماء إلى هواء المخزن ، أو رش الأرضيات بالماء على فترات ، وعادة تكفى ٤ لترات من الماء/ساعة/ لكل طن تبريد للحفاظ على ٩٥٪ رطوبة نسبية . (Ware & MaCollum ١٩٧٥) .

٣٣ - ٣ - ٨ : التخزين فى الجو المعدل

الجو المعدل هو الجو الذى تقل فيه نسبة الأكسجين وتزيد نسبة ثانى أكسيد الكربون عما هى فى الهواء الجوى . والفرق بين الجو المعدل modified atmosphere والجو المتحكم فيه Controlled atmosphere أن درجة التحكم فى نسبتى الغازين تكون فى الأول قليلة أو منعدمة ، حيث تعتمد على النقص الطبيعى للأكسجين والزيادة الطبيعية لثانى أكسيد الكربون مع التنفس . أما فى الحالة الثانية ، فيتم التحكم فى نسبتى الغازين طوال فترة التخزين .

وفيما يلى أمثلة لاستخدامات الجو المعدل فى تخزين محاصيل الخضر :

١ – الطمـــاطم :

تمكن Parsons وآخرون (١٩٧٠) من تخزين ثمار الطماطم الخضراء الناضجة مدة ٦ أسابيع فى جو معدل به ٣٪ أ٢ ، صفر ٪ ك أ٢ مع درجة حرارة ١٣°م . وعندما رفعت نسبة ك أ٢ إلى ٣ أو ٥٪ مع الاحتفاظ بالنسبة المخفضة من الأكسجين لم يحدث نقص فى نسبة العفن ، بل حدث – أحيانًا – ضرر من ك أ٢ . وعندما نقلت الثمار الخضراء إلى الجو العادى بعد ٦ أسابيع من التخزين تحت هذه الظروف ، تلونت بصورة طبيعية .

٢ – الشليك :

يخزن الشليك بحالة جيدة لمدة ٧ – ١٠ أيام فى الصفر المئوى ، ولمدة ٣ – ٥ أيام فى حرارة ٥°م ، ولمدة ١ – ٢ يوم فى حرارة ٢١°م . ويمكن زيادة فترة التخزين إلى الضعف ، مع وقف عفن الثمار بالتخزين فى جو معدل به ٢٠٪ ك$أ_٢$. ويفيد ذلك عند الشحن فى الحرارة المرتفعة نسبيًا .

٣ – الخـــس :

تظهر على عروق الخس أثناء التخزين على درجة حرارة ٢ – ٥°م بقع عديدة ذات لون بنى محمر . وتعرف هذه الظاهرة باسم التبقع الصدىء russet spotting . ويحدث ذلك أثناء الشحن ، وفى المخازن المبردة ، وحتى لدى المستهلك فى الثلاجات المنزلية . وأسباب هذه الظاهرة غير معروفة على وجه التحديد ، إلا أنه يمكن الحد منها كثيرًا بتخزين الخس فى جو معدل به ٢ – ٦٪ أ$_٢$ ، علمًا بأن التركيزات الأقل من ذلك تضر بالخس ، والأعلى من ذلك لا تجدى ؛ فلا تجب زيادة نسبة ك$أ_٢$ ، لأن ذلك عديم الفائدة بالنسبة لظاهرة التبقع الصدىء ، بل إن زيادته قد تحدث أضرارًا شبيهة بهذه الحالة (Lipton ١٩٧٥) .

٤ – الكرنب :

يعتبر الكرنب من أصلح الخضروات للتخزين فى الجو المعدل . ومن دراسات Isenberg & Sayles (١٩٦٩) وجدا أنه عند التخزين فى درجة حرارة الصفر المئوى ، كان الجو المعدل (٥٪ ك$أ_٢$ ، ٥٪ أ$_٢$) أفضل من الهواء العادى . وقد ازدادت فترة التخزين عند إنقاص نسبة الغازين (ك$أ_٢$ ، أ$_٢$) إلى ٢,٥٪ لكل منهما ، لكن صاحبت ذلك زيادة حلاوة أوراق الكرنب .. وكان أفضل جو معدل هو المحتوى على ٥٪ ك$أ_٢$ و ٥٪ أ$_٢$ ، حيث كانت فترة التخزين أطول ما يمكن ، مع احتفاظ الرؤوس بالطعم العادى ، إلّا أن الأصناف اختلفت فى مدى مقدرتها على التخزين تحت هذه الظروف .

٣٣ – ٣ – ٩ : توفير التهوية المناسبة بالمخازن

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 الخضر بالقدر الكافى 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 يجب ترك مسافة ١٠ – ٢٠ سم على امتداد الحوائط الجانبية لتسهيل مرور الهواء على الجوانب أيضًا .

٣٣ – ٣ – ١٠ : التحكم فى الإضاءة بالمخازن

يجب أن تخزن معظم الخضروات فى الظلام ، أو على الأقل فى إضاءة منخفضة جدًّا ، ولكن القليل من الضوء لا يضر البطاطا ، أو القرع العسلى . ولضوء الشمس المباشر تأثير ضار على الخضروات المخزنة بصورة عامة .

٣٣ – ٣ – ١١ : العناية بنظافة المخازن والحماية من القوارض

ليس من الحكمة تخزين منتجات عالية الجودة فى أماكن غير نظيفة . فيجب إبقاء المكان نظيفًا قدر المستطاع ، مع تعقيمه من آن لآخر كلما أفرغ المخزن من محتوياته . ورغم أن تنظيف المكان وتعقيمه لا يمنع حدوث العفن كلية ، إلّا أنه يقلله إلى أدنى مستوى ممكن .

هذا .. ويمكن استعمال هيبوكلوريت الصوديوم Sodium hypochlorite أو فوسفات الصوديوم الثلاثى trisodium phosphete فى تنظيف الأرضيات والحوائط . أما العبوات فيمكن غسلها بمحلول هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز ٠,٢٥٪ ، أو بالتعريض للبخار لمدة دقيقتين .

كما تجب تنقية الهواء من الغازات التى قد تكسب الخضروات مذاقًا غير مرغوب . ويستخدم لذلك نوع خاص من الفحم 6-14 mesh activated coconut shell carbon .

كما يجب أن تكون المخازن محكمة تمامًا ضد القوارض ، مثل الفئران وغيرها ، فهذه الحيوانات تزيد من الفاقد فى المحصول بطريقة مباشرة ، وبطريقة غير مباشرة من خلال زيادة العفن بسبب مهاجمة الكائنات المسببة للعفن للأجزاء المقروضة (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

٣٣ - ٤ :المراجـــع

الإدارة العامة للتدريب - وزارة الزراعة - جمهورية مصر العربية (١٩٨٣) . إنتاج الخضر وتسويقها - القاهرة - ٤٢٢ صفحة .

النبوى ، صلاح الدين محمود ، ويوسف أمين والى ، وأحمد فريد السهريجى ، وعادل سعد الدين عبد القادر ، وأحمد أحمد جويلى ، ويحى محمد حسن (١٩٧٠) . الخاصلات البستانية . إعدادها وإنضاجها وتخزينها وتصديرها . دار المعارف - القاهرة - ١٠٩٦ صفحة .

عبد القادر ، عادل (١٩٨٦) . مشاكل ما بعد الحصاد ، ومواجهة ارتفاع نسبة الفاقد فى المحاصيل البستانية . الزراعة والتنمية فى الوطن العربى . العدد الثالث والرابع - السنة الخامسة - صفحات ٣٨ - ٤٤ .

Barger, W.R. 1962. Vacuum-cooling lettuce in commercial plants. U.S. Dept. Agr., Agr. Market. Serv. 469. 9p.

Barger, W.R. 1963. Vacuum precooling: a comparison of the cooling of different vegetables. U.S. Dept. Agr., Market. Res. Rep. 600. 12p.

Claypool, L.L., L.L. Morris, W.T. Pentzer and W.R. Barger. 1958. Air transportation of fruits, vegetables and cut flowers: temperature and humidity requirements and perishable nature. U.S.D.A., Agr. Marketing Service-280. 27p.

Grosch, D.S. 1965. Biological effects of radiations. Blaisdell Pub., Co. N.Y. 293p.

Isenberg, F.M. and R.M. Sayles. 1969. Modified atmosphere storage of danish cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 444-449.

Kader, A.A. 1985. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. HortScience 20: 54-57.

Kader, A.A. et al. 1981. Short course on postharvest technology of horticultural crops. U.S. Agency for International Development-A.R. Egypt-U.C. Project. Giza.

Kader, A.A., L.L. Morris and M. Cantwell. 1979. Postharvest handling and physiology of horticultural crops- A list of selected references. Dept. of Veg. Crops, Univ. of Calif., Davis; Veg. Crops Series 169. 44p.

Lipton, W.J. 1975. Controlled atmospheres for fresh vegetables and fruits- why and when. **In** N.F. Haard and D.K. Salunkhle (Ed.) 'Symposium: Postharvest Biology and Handling of fruits and Vegetables'; pp. 130-143. The AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Lipton, W.J. 1977. Compatability of fruits and vegetables during transport in mixed loads. United States Dept. Agr., Agr. Res. Serv., Market. Res. Report No. 1070. 7p.

Lorenz, O.A. and D.N. Maynard. 1980. (2nd ed.) Knott's handbook for vegetable growers. Wiley-Inter Science, N.Y. 390p.

Lutz, J.M. and R.E. Hardenburg. 1968. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S. Dept. Agr., Agr. Handbook 66. 94p.

Parsons, C.S., R.E. Anderson and R.W. Penney. 1970, Storage of mature-green tomatoes in controlled atmospheres. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 791-794.

Sherman, M. 1985. Control of ethylene in the postharvest environment. HortScience 20: 57-60

Stewart, J.K. and H.M. Couey. 1963. Hydrocooling vegetables: a practical guide to predicting final temperatures and cooling times. U.S. Dept. Agr., Mark. Res. Rep. 637. 32p.

Ware, G.W. and J.P. McCollum. 1980. (3rd ed.). Producing vegetable crops. The Interstate printers & Pub., Inc., Danville, Illinois. 607p.