الفصل الثانى عشـــر

التغيرات الفسيولوجية التى تطرأ على محاصيل الخضر 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 إلى المستهلك ، بما فى ذلك طرق التخزين المختلفة التى تعمل على إطالة فترة احتفاظ الخضر بجودتها ، والمعاملات التى تجرى بغرض إسراع نضجها . ونتناول بالدراسة فى هذا الفصل 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 ـ بصورة عامة ـ تقسيم هذه التغيرات إلى تغيرات مرغوبة وأخرى غير مرغوبة .

التغيرات المرغوبة التالية للحصاد

من أهم التغيرات المرغوبة التى تحدث فى محاصيل الخضر بعد الحصاد 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 .

فالطماطم تحصد ـ عادة ـ بين طور النضج الأخضر وطور النضج الوردى حسب

درجة الحرارة السائدة ، والمدة التى تمر من الحصاد إلى التسويق ، وتستكمل الثمار تلونها قبل وصولها إلى المستهلك .

والقاوون الشبكى يكتسب أفضل طعم ونكهة بعد ٢ - ٣ أيام من التخزين .

أما القاوون الأملس ، فتلزمه المعاملة بالإيثيلين لاستكمال النضج بعد الحصاد كما أوضحنا فى الفصل السابق .

٢ - يعتبر تبييض الكرفس من التغيرات المرغوبة التى تحتاج هى الأخرى إلى المعاملة بالإيثيلين .

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

التغيرات غير المرغوبة التالية للحصاد

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 ، 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 - تَكَوُّن لون بنى غير مرغوب فيه 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 حرارة أقل من ٥°م ؛ حيث تتراكم السكريات تحت هذه الظروف . ويؤدى ذلك إلى اكتساب البطاطس لونًا بنيا داكنًا ، بدلا من اللون الأصفر الذهبى المرغوب فيه عند القلى فى الزيت بسبب احتراق السكريات . 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 ـ كالبسلة ، والذرة السكرية ـ عند تخزينها فى درجة حرارة مرتفعة ؛ فتفقد الذرة السكرية ٦٠٪ من محتواها من السكر خلال يوم واحد من التخزين فى 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 . وقد تزداد الصلابة نتيجة لنمو الألياف ، كما فى الكرفس .

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 (عن Kader وآخرين ١٩٨٥) .

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 تدريجيا بعد ذلك .

ومن البديهى أن يكون النتح فى كثيرٍ من الخضر الورقية بمعدلات أعلى منها 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 ـ كالكرنب ـ أن تتحمل فقدًا رطوبيا تصل نسبته إلى ١٠٪ من وزن الرءوس ، لكنها تحتاج ـ حينئذ ـ إلى بعض التقليم والتهذيب قبل عرضها فى الأسواق . ويوضح جدول (١٢ - ١) معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (درجة حرارة ٢٧°م ، ورطوبة نسبية ٦٠٪) .

ومن الممكن خفض الفقد الرطوبى بتعبئة الخضروات فى عبوات بلاستيكية ، إلا أنها تَحدُّ من تبادل الغازات ، كما تبطئ التوصيل الحرارى . وقد تفقد الخضروات

جدول (١٢ - 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

المعبأة جزءا كبيرا 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 ، ما دامت 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 كبيرا ، ويقل - تدريجيا - مع انخفاض درجة الحرارة . ويعطى جدول (١٢ - ٢) أمثلة تبين أهمية كلٍّ من درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء ؛ وبالتالى على الفقد الرطوبى من الخضر المخزنة .

ويوضح جدول (١٢ - ٣) الحد الأقصى المسموح به للفقد الرطوبى فى الخضر المخزنة ؛ حيث لا تكون بعدها صالحة للتسويق . هذا . . وبرغم أن جزءا من الفقد فى الوزن يرجع إلى التنفس ، إلا أن ذلك الجزء لا يُعْتَدُّ به ، بالمقارنة بالفقد الرطوبى .

جدول (١٢ - 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 - درجة حرارة الخضر ٢١°م	١٠٠	١٨,٧٦
درجة حرارة الهواء صفر°م	١٠٠	٤,٥٨
الفرق فى ضغط بخار الماء		١٤,١٨
٢ - درجة حرارة الخضر صفر°م	١٠٠	٤,٥٨
درجة حرارة الهواء صفر°م	٥٠	٢,٢٩
الفرق فى ضغط بخار الماء		٢,٢٩
٣ - درجة حرارة الخضر ٢,٢°م	١٠٠	٥,٣٧
درجة حرارة الهواء ٢,٢°م	٩٠	٤,٨٣
الفرق فى ضغط بخار الماء		٠,٥٤
٤ - درجة حرارة الخضر صفر°م	١٠٠	٤,٥٨
درجة حرارة الهواء صفر°م	٩٠	٤,١٢
الفرق فى ضغط بخار الماء		٠,٤٦

أضرار تنشأ عن عيوب فى المخازن

تصاب محاصيل الخضر بأضرار معينة نتيجة لوجود عيوب خاصة فى المخازن ، ومن هذه الأضرار ما يلى :

أضرار الأمونيا

تحدث أضرار الأمونيا Ammonia Injury عندما يتسرب الغاز من أجهزة التبريد ؛ حيث تتلون الأنسجة الخارجية للخضر المخزنة بلونٍ بنيٍّ أو أخضر مُسْوَدٍّ . وقد تؤدى

obeikandi.com

جدول (١٢ - 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 - 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
السبانخ	٣
الذرة السكرية	٧
الطماطم	٧
اللفت	٥
الخس	٣ - ٥

الأضرار الشديدة إلى ليونة الأنسجة الداخلية ، وفقد الخضر صلاحيتها للتسويق . ويحدث الضرر ـ عادة ـ عندما يصل تركيز الأمونيا فى جو المخزن إلى ١,٠٪ ، ولكنه لا يظهر إلا بعد عدة ساعات من التعرض لهذا التركيز ؛ ولهذا يوصى بوضع أجهزة للتنبيه بتسرب 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

obeikandl.com

الخضر المخزنة غير حساسة لذلك الغاز ، مع عدم زيادة تركيزه على ١٪ (Lurtz & Hardenburg ١٩٦٨) .

أضرار نقص الأكسجين

يحدث النقص فى الأكسجين من جرّاء تنفس الخضروات المخزنة مع عدم توفرتهوية جيدة فى المخازن ، 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 التجمد

تحدث أضرار التجمد Freezing Injury من جرّاء 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 . وتتعرض الخضروات لتلك الأضرار فى المخازن ؛ إما نتيجة للإهمال فى اختيار درجة الحرارة المناسبة للتخزين ، وإما لعدم كفاءة منظم الحرارة فى أجهزة التبريد .

وتختلف الخضروات كثيرا من حيث درجة الحرارة التى تتجمد عليها ، وكذلك 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

obeikandl.com

عروش ، والقنبيط ، والكرفس ، والبصل ، والبقدونس ، والبسلة ، والفجل بدون عروش ، والسبانخ ، والقرع العسلى .

٣ - خضروات أكثر تحملا 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 . فمثلا . . 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 ضررٍ يذكر ، بينما لا تتحمل البطاطس التجمد ولو لفترة قصيرة . ومن الطبيعى أن تنخفض المقدرة على التخزين 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 دون 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 إلا بعد أن تدفأ نسبيا .

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

المحصول	الأعراض
الخرشوف	انفصال البشرة وتلون الأجزاء التى تنفصل عنها البشرة ـ والتى تأخذ شكل تقرحات ـ بلون يميل إلى الأبيض أو الرصاصى الفاتح ، ثم لا يلبث أن يصبح اللون بنيا بعد تكسّر القروح .
الهليون	تصبح قمة المهاميز داكنة اللون ، وبقية أنسجتها مائية المظهر . وعند تفكك التجمد فإن المهاميز تصبح مهترئة .
البنجر	تصبح الجذور مائية المظهر خارجيا وداخليا ، وتكتسب الأوعية الناقلة أحيانًا لونًا أسود .
البروكولى	تكون أصغر البراعم الزهرية فى مركز القرص أكثرها حساسية للتجمد . وتكتسب البراعم المتجمدة لونًا بنيًا ، وتعطى رائحة قوية غير مقبولة عند تفككها .
الكرنب	تصبح الأوراق مائية المظهر ونصف شفافة ، وتنفصل عنها البشرة بعد تفككها .
الجزر	تظهر بالجذور تقرحات ، وشقوق متعرجة ، كما تبدو الجذور من الداخل مائية المظهر بعد تفككها .
القنبيط	تكتسب الأقراص لونًا بنيا ، وتعطى رائحة قوية غير مرغوبة عند طهيها .
الكرفس	تبدو الأوراق وأعناق الأوراق ذابلة ومائية المظهر بعد تفككها . ويكون تجمد الأعناق أسرع من تجمد أنصال الأوراق .
الثوم	تبدو الفصوص مائية المظهر بعد تفككها ، وتأخذ لونًا أصفر ضاربًا إلى الرمادى .
الخس	تظهر تقرحات ، وتموت خلايا البشرة بعد انفصالها ، وتصبح بنية اللون ، وتزداد حساسية الرؤوس للأضرار الميكانيكية والتحلل .
البصل	تكون الأبصال المفككة طرية ، وتأخذ لونًا أصفر ضاربًا إلى الرمادى ، وتبدو مائية المظهر فى المقطع العرضى . ويكون التجمد ـ عادة ـ محصورا فى أعناق الأوراق (الحراشيف المتشحمة المكونة للبصلة) كل منها منفردة .
الفلفل الحلو	يموت كل نسيج البشرة أو جزء منه ، ويبدو مائى المظهر ، وتتعرض الثمرة للتنقير والانكماش ، كما تتحلل بعد تفككها .
البطاطس	لا تبدو أضرار التجمد واضحة على الدرنة من الخارج ، ولكنها قد تظهر على صورة مناطق رمادية أو رمادية ضاربة إلى الزرقة تحت جلد الورقة . وتكون الدرنات المفككة طردية وما ئية المظهر .
الفجل	تبدو الأنسجة المفككة نصف شفافة ، وتكون الجذور طريَّة ومنكمشة .
البطاطا	تتلون الأنسجة الوعائية بلون بنى ضارب إلى الصفرة ، وتبدو بقية الأنسجة مائية المظهر ،

(يتبع)

المحصول	الأعراض
	وتأخذ لونًا أخضر ضاربًا إلى الصفرة . وتكون الجذور طرية وشديدة القابلية للإصابة بالتحلل .
الطماطم	تصبح الثمار مائية المظهر ، وتكون طرية بعد تفككها . وعندما يكون تجمد الثمار جزئيا ، يشاهد حد فاصل واضح بين النسيجين المتجمد وغير المتجمد ، وخاصة فى الثمار الخضراء .
اللفت	تظهر بقع صغيرة مائية المظهر على سطح الجذور . وتبدو الأنسجة المتأثرة بالتجمد رصاصية اللون أو رمادية ، وتعطى رائحة غير مرغوبة .

أضرار البرودة

تقسيم المحاصيل البستانية حسب حساسيتها لأضرار البرودة

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

وتقسم المحاصيل البستانية ـ حسب حساسيتها لأضرار البرودة ـ إلى ثلاث مجموعات ؛ كما يلى :

١ - محاصيل تتحمل البرودة :

تتناسب فترة صلاحية خضروات هذه المجموعة للتخزين عكسيا مع درجة الحرارة ما دامت درجة الحرارة أعلى من درجة التجمد .

٢ - محاصيل حساسة للبرودة :

تزداد فترة صلاحية خضروات هذه المجموعة للتخزين كلما انخفضت درجة الحرارة حتى درجة معينة تختلف باختلاف المحصول ، ثم تنخفض فترة الصلاحية للتخزين مع أى انخفاض أكثر من ذلك فى درجة الحرارة . وتعرف هذه الدرجة باسم درجة الحرارة

obeikandi.com

الحرجة لحدوث أضرار البرودة ، وهى تتراوح ـ عادة ـ بين حوالى ١٠ - ١٣م . وتنتمى إلى هذه المجموعة معظم الخضر والفواكه الاستوائية وتحت الاستوائية .

٣ - محاصيل حساسة قليلا للبرودة :

تقل درجة الحرارة الحرجة ـ التى تحدث عندها أضرار البرودة ـ قليلا فى خضروات هذه المجموعة مقارنة بخضروات المجموعة السابقة ، وهى تتراوح ـ عادة ـ بين حوالى ٣ و ٤م (عن Wang ١٩٩٤ أ) .

ولدرجة الحرارة المنخفضة تأثير متجمع Cumulative ؛ حيث يبدأ فى الحقل قبل الحصاد ، ويستمر مع التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة . وكثيرا ما تبدو الخضر 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 .

أعراض اضرار البرودة

من 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 - حدوث انهيار داخلى بالأنسجة النباتية .

٧ - تكون الخضروات أكثر عرضة للإصابة بالنموات الفطرية السطحية والتحلل (عن Kader وآخرين ١٩٨١) .

وتكون هذه الأعراض مصاحَبة ـ عادةً ـ بزيادة فى معدل التنفس ، وإنتاج الإيثيلين ، والقابلية للإصابة بالأمراض ، وفى التغيرات المؤدية إلى الشيخوخة ،

وخاصة بعد إخراج المنتجات من المخازن الباردة إلى درجة الحرارة العادية لأجل تسويقها .

ويوضح جدول (١٢ - ٤) أعراض أضرار البرودة فى الخضر المختلفة ، وأقل درجة حرارة مأمونة يمكن أن تخزن عليها تلك الخضروات ، دون أن تتعرض لهذه الأضرار .

جدول (١٢ - ٤) : أضرار البرودة فى الخضر المختلفة ، وأقل درجة حرارة مأمونة يمكن أن 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 - ١٠	نقر وتحلل سطحى
شهد العسل - الكاسابا - الفارسى	٧ - 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 - ١٠	ظهور مناطق مائية مع طراوة الثمار وتحللها
الخضراء المكتملة النمو	١٣	عدم اكتمال التلون وعفن الترنارى

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 جرّاء 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) .

وسائل الحد من أضرار البرودة

حاول الباحثون جعل المنتجات البستانية الاستوائية وتحت الاستوائية أكثر تحملا لأضرار البرودة ؛ حتى يمكن تخزينها فى درجات حرارة أكثر انخفاضًا ؛ وبذا . . تزداد فترة تخزينها . ومن أهم الوسائل التى اتبعت لتحقيق هذا الهدف ما يلى :

التعريض لحرارة منخفضة

يؤدى تعريض المنتجات البستانية الحساسة لأضرار البرودة لحرارة منخفضة تزيد قليلا على الحرارة الحرجة ـ قبل تخزينها مباشرة ـ إلى خفض حساسيتها لتلك الأضرار . وقد أثبتت هذه الطريقة جدواها فى كل من الخيار ، والباذنجان ، والفلفل ، والطماطم ، والكوسة ، والجريب فروت .

ويتم التعريض ـ السابق للتخزين ـ للحرارة المنخفضة إما مرة واحدة ، وإما بصورة تدريجية وهى الطريقة الأفضل . فمثلا . . أظهرت ثمار الباذنجان التى عوملت بحرارة ١٥°م لمدة يومين ، ثم بحرارة ١٠°م لمدة يوم واحد نُقَرًا أقل بعد تخزينها على ٦,٥°م عن تلك التى لم تعامل ـ قبل تخزينها ـ إلا بحرارة ١٥°م لمدة يومين .

وقد تبين أن المعاملة بالحرارة المنخفضة قبل التخزين البارد صاحبتها زيادة فى مستويات الليبيدات الفوسفاتية فى الأغشية الخلوية ، وفى درجة عدم

التشبع للأحماض الدهنية التى توجد بالأغشية ، وتثبيط للزيادة التى يسببها التخزين البارد فى نسبة الاستيرول إلى الليبيدات الفوسفاتية ، وزيادة فى البولى أمين والألدهيدات ذات السلاسل الطويلة . وربما تؤدى جميع هذه التغيرات إلى خفض أضرار البرودة .

التعريض لحرارة مرتفعة

عرف تأثير المعاملة بالحرارة المرتفعة قبل التخزين البارد فى خفض أضرار البرودة منذ عام ١٩٣٦ ؛ حينما وُجد أن تعريض ثمار الجريب فروت لحرارة ٣٨°م لمدة ١٧ - ٢٢ ساعة قلل جوهريا من ظهور النقر بها ؛ عندما خزنت بعد تلك المعاملة على حرارة ٤,٥°م . ومنذ ذلك الحين ثبتت أهمية هذه المعاملة فى تقليل أضرار البرودة فى عديد من الخضر الاستوائية وتحت الاستوائية ؛ مثل : الخيار ، والبطاطا ، والطماطم ، والبطيخ (عن Wang ١٩٩٤ أ) .

هذا إلا أن الحدود المأمونة لمعاملة التعريض للحرارة العالية تختلف من محصول لآخر ؛ فبينما تستجيب الزبدية لحرارة ٣٦°م ، وتظهر بها أضرار الحرارة العالية عند تعريضها لحرارة ٣٨°م ، فإن الطماطم تستجيب لحرارة تتراوح بين ٣٦ و ٤٠°م (عن Kleing & Lurie ١٩٩٢) .

كما أدى تعريض ثمار الطماطم لحرارة ٣٨°م ـ لمدة ثلاثة أيام قبل تخزينها ـ إلى المكافحة الكاملة للفطر Botrytis cinerea الذى يصيب الثمار بالعفن والتحلل أثناء تخزينها (Fallik وآخرون ١٩٩٣) .

وفى الكوسة أدت معاملة الثمار بالماء الدافئ على حرارة ٤٢°م لمدة ٣٠ دقيقة إلى تقليل أضرار البرودة عندما خزنت الثمار بعد ذلك على حرارة ٥°م ، ثم نقلت إلى ٢٠°م ، وقد ازدادت الفائدة من معاملة الحرارة العالية عندما تركت الثمار لمدة يومين على حرارة ١٥°م بعد معاملة الحرارة العالية وقبل تخزينها على حرارة ٥°م (Wang ١٩٩٤ ب) .

وبالمقارنة . . وجد Whitaker (١٩٩٤) أن إنضاج ثمار الطماطم جزئيا على حرارة ٢٠°م لمدة ثلاثة أيام ـ قبل تخزينها على حرارة ٥°م لمدة ٢٠ يومًا ـ كان أكثر كفاءة

فى خفض أضرار البرودة من تعريضها ـ قبل التخزين ـ لحرارة عالية مقدارها ٣٨°م لنفس فترة الثلاثة أيام .

ولا تقتصر فائدة معاملة الحرارة العالية على المحاصيل الحساسة للبرودة فقط، بل تتعداها كذلك إلى بعض محاصيل المناطق الباردة . ففى البروكولى . . وُجد أن غمس البراعم فى الماء على حرارة ٤٥°م لمدة ١٤ دقيقة أدى إلى تأخير اصفرارها ـ على حرارة ٢٠°م ـ لمدة ٢ – ٣ أيام . كما أدت المعاملة ـ كذلك ـ إلى إبطاء فقد البروتينات الذائبة ، وحامض الأسكوربيك ، وخفض معدل التنفس ، ومعدل إنتاج غاز الإيثيلين . وفى دراسة أخرى وجد Forney (١٩٩٥) أن غمس البروكولى فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة دقيقتين كان أفضل معاملة لتأخير الاصفرار والتحلل، مع تجنب ظهور الروائح غير المرغوبة ، والفقد فى الوزن .

وقد أُرجعت الحماية التى توفرها معاملة التعريض للحرارة المرتفعة قبل التخزين البارد إلى أسباب مختلفة ؛ منها : تكوين بروتينات معيّنة (heat shock proteins) فى الطماطم ، وزيادة فاعلية عملية المعالجة فى البطاطا ، وتكوين مركبات مضادة للفطريات ـ مثل الاسكوبارون scoparone ـ فى الليمون الأضاليا .

التدفئة المتقطعة

التدفئة المتقطعة intermittent warming هى تعريض المنتجات المخزنة فى حرارة منخفضة ـ لفترة واحدة أو أكثر من فترة ـ فى حرارة مرتفعة . ويجب أن تتم هذه المعاملة قبل أن تتقدم أضرار البرودة إلى مرحلة لا رجوع فيها ؛ لأن ذلك إن حدث فهو يعنى أن معاملة التدفئة تؤدى إلى إسراع ظهور أعراض البرودة ؛ ولذا . . فإن توقيت معاملة التدفئة يعد أمرا حيويا ، ومن الأهمية بمكان التعرف على بدايات حدوث أضرار البرودة .

وقد اتبعت طريقة التدفئة المتقطعة فى تجنب أضرار البرودة فى كلٍّ من الليمون الأضاليا ، والبامية والخيار ، والفلفل الحلو ، والكوسة ، والخوخ ، والنكتارين . ولكل محصول منها الفترات الحرجة ـ الخاصة به ـ المناسبة لمعاملة التدفئة .

فمثلا . . وجد Cabrera & Saltveit (١٩٩٠) أن تدفئة ثمار الخيار بنقلها من ٢,٥°م إلى ١٢,٥°م لمدة ١٨ ساعة كل ثلاثة أيام قلل من أضرار البرودة التى ظهرت

عليها . وبالمقارنة . . فقد ظهرت أضرار شديدة للبرودة ـ تمثلت فى تنقير شديدة وتحلل ـ عندما خزنت الثمار على حرارة ثابتة مقدارها ٢,٥°م لمدة ١٣ يومًا ، وذلك بعد ستة أيام من نقلها إلى ٢٠°م ، بينما لم تظهر أية أعراض لأضرار البرودة عندما خزنت الثمار على حرارة ثابتة مقدارها ١٢,٥°م ، ثم نقلت بعد ذلك إلى حرارة ٢٠°م .

ومن بين النظريات الافتراضية التى اقترحت لتفسير تأثير التدفئة المتقطعة أن رفع درجة الحرارة فى وسط معاملة البرودة يحفز النشاط الأيضى ؛ الأمر الذى يسمح للأنسجة النباتية بتصريف المركبات الوسطية أو المركبات السامة التى تتراكم خلال فترة التعريض للبرودة ؛ بتحويلها إلى مركبات غير ضارة . كذلك قد تسمح تدفئة الأنسجة لفترات قصيرة بمعالجة الأضرارالتى تحدث للأغشية الخلوية ، وعضّيات الخلية ، والمسارات الأيضية خلال فترة التعريض للبرودة . كما قد تفيد التدفئة فى إعادة توفير المركبات التى تستنفذ أو التى لا يمكن تمثيلها خلال معاملة البرودة . وقد تلعب تلك التغيرات الحرارية الفجائية (من البرودة إلى الدفء ثم إلى البرودة) دورا فى زيادة تمثيل الأحماض الدهنية غير المشبعة ؛ الأمر الذى يجعل الأغشية الخلوية أكثر مرونة ، ويزيد من تحملها للحرارة المنخفضة (عن Wang ١٩٩٤ أ) .

التخزين فى الجو المعدل

لا يكون للتخزين فى الجو المعدل تأثير متساوٍ على أضرار البرودة فى كل الثمار الاستوائية وتحت الاستوائية ؛ فهو يقلل من أضرارها فى البامية ، والزبدية ، والأناناس ، والجريب فروت ، ويزيد من أضرارها فى الخيار ، والفلفل ، والليمون البنزهير ، ولا تأثير له على أضرار البرودة فى الليمون الأضاليا ، والباباظ ، والطماطم .

المعاملات الكيميائية

من بين المعاملات الكيميائية التى أثبتت جدواها فى خفض أضرار البرودة ما يلى :

الكالسيوم	الزيوت المعدنية
زيت القرطم	الزيوت النباتية
الاسكوالين squalene	إيثوكسى كوين ethoxyquin
بنزوات الصوديوم	

إيمازليل imazalil ، وهو : 1-(2-(2,4-dichlorophenyl)-2-(2-propenyloxylethyl) -1-H-imidazole

ثيابندازول thiabendazole ، وهو : 2- (4-thiazolyl) benzimidazole

يبدو أن الكالسيوم يعمل على تقوية الجدر الخلوية والأغشية الخلوية ، ويجعل الأنسجة أكثر قدرة على تحمل الشد الناتج من التعرض للبرودة . وقد قللت المعاملة بالكالسيوم أضرار البرودة فى الزبدية والبامية .

وتعمل بنزوات الصوديوم والإثيوكسى كوين على منع حدوث الأكسدة peroxidation فى الأحماض الدهنية غير المشبعة فى ليبيدات الأغشية الخلوية ؛ الأمر الذى يحافظ على سلامة الأغشية الخلوية حال تعرضها للبرودة . وقد أثبتت تلك المركبات فاعليتها مع كلٍّ من الخيار والفلفل .

أما المبيدات الفطرية thiabendazole ، و imazalil فإنها تمنع الإصابات الكامنة ، وتقلل تكوين النقر ، وتؤخر شيخوخة القشرة فى البرتقال والجريب فروت .

وتمنع الزيوت المعدنية وزيت القرطم التغيرات فى اللون التى تحدث تحت القشرة فى الموز عند تعرضه للبرودة ، وقد يكون لهما وللزيوت النباتية دور فى تقليل الفقد الرطوبى وخفض أضرار الأكسدة .

أما الاسكوالين squalene فهو شمع طبيعى يوجد فى قشرة الجريب فروت . وقد وجد أن إضافة المزيد منه إلى القشرة يحمى ثمار الجريب فروت من أضرار البرودة .

معاملات منظمات النمو

من أهم معاملات منظمات النمو التى كان لها تأثير إيجابى فى خفض أضرار البرودة ما يلى :

١ - حامض الأبسيسيك فى كل من الجريب فروت والكوسة .

٢ - الإيثيلين فى شهد العسل .

٣ - تعمل الترايازولات triazoles (مثل : البكلوبترازول paclobutrazol ، ويونى كونازول uniconazole ، والترايادميفون triadimefon) على حماية المركبات التى

توجد فى الأغشية الخلوية من أضرارالأكسدة ؛ وبذا . . فإنها تزيد من مقاومة النباتات ـ وخاصة العشبية منها ـ لأضرار الصقيع .

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

وقد أوضحت دراسات Lurie وآخرين (١٩٩٥) أن معاملة نباتات الفلفل الحلو قبل الحصاد بأى من منظمات النمو : بكلوبترازول ، ويونى كونازول ، ومفليوداید mefluidide أدت إلى حماية الثمار ـ الخضراء والحمراء ـ من التعرض لأضرار الصقيع عندما خزنت على حرارة ٢°م لمدة ٢٨ يومًا .

أضرار الإيثيلين

تنتج الخضروات والفاكهة غاز الإيثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها ، وهو يعد من الهرمونات الطبيعية التى تكون نشطة فسيولوجيا فى تركيزات تصل ـ فى حدها الأدنى ـ إلى ٠,١ حتى ٠,٥ جزءا فى المليون فى مختلف الثمار . وعلى خلاف ما كان شائعًا . . فإن الإيثيلين هو الذى يحفز ويقدح التغيرات التى تؤدى إلى النضج ، وليس أحد نواتج عملية النضج (Oeller وآخرون ١٩٩١) .

معدل إنتاج الخضر والفاكهة للإيثيلين

تتباين منتجات الخضر والفاكهة ـ كثيرا ـ فى معدل إنتاجها لغاز الإيثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها كما هو مبين فى جدول (١٢ - ٥) .

ومن أهم العوامل التى تؤدى إلى زيادة معدلات إنتاج المنتجات البستانية لغاز الإيثيلين ما يلى :

١ - وصول الثمار إلى مرحلة النضج .

٢ - الأضرار الميكانيكية .

٣ - الإصابات المرضية .

٤ - ارتفاع درجة الحرارة حتى ٣٠°م .

جدول (١٢ - ٥) معدل إنتاج بعض منتجات الخضر والفاكهة لغاز الإيثيلين بالجزء فى المليون فى حرارة ٢٠م .

معدل إنتاج غاز الإيثيلين (ميكروليتر / كجم / ساعة)	المنتج
٠,١ - ٠,١	الكريز ـ الموالح ـ العنب ـ الفراولة ـ الخضر الورقية ـ الخضر الجذرية ـ البطاطس
١,٠ - ٠,١	البلوبرى ـ الخيار ـ البامية ـ الأناناس ـ الفلفل
١٠ - ١	الموز ـ التين ـ شهد العسل ـ المانجو ـ الطماطم
١٠٠ - ١٠	التفاح ـ الأفوكادو ـ الكانتالوب ـ النكتارين ـ الباباظ ـ المشمش ـ الكيوى ـ الخوخ ـ الكمثرى ـ البرقوق
١٠٠ <	السابوته ـ الـ Passion fruit

الأضرار التى يحدثها غاز الإيثيلين

إن أهم الأضرار التى يحدثها غاز الإيثيلين هو إسراع تدهور المنتجات البستانية . وتجدر الإشارة إلى أنه لا توجد علاقة بين إنتاج المنتجات البستانية للإيثيلين وبين سرعة تدهورها بعد الحصاد ، ولكن تعريضها لتركيزات عالية من الغاز يسرع كثيرا من وصولها إلى حالة الشيخوخة .

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 .

ويمكن إيجاز أهم الأضرار التى يحدثها غاز الإيثيلين فيما يلى :

١ - فقدان اللون الأخضر :

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

obeikandl.com

أ ـ أدى تعرض الكرنب لـ ١٠ - ١٠٠ جزء فى المليون من الإيثيلين أثناء التخزين فى حرارة ١°م لمدة خمسة 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 تقدر بحوالى ١ - ٥ أجزاء فى المليون .

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

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

د ـ 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 . فمثلا . . 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 ـ 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 على الترتيب : peroxidase ، و polyphenol oxidase ، و esterase ، و cellulase ، و pectinase

ب ـ برغم أن تعرض جذور البطاطا للإيثيلين قد قلل من صلابتها بعد الطهى ـ وهى صفة مرغوبة ـ إلا أن المعاملة كان لها تأثير سئ على اللون والطعم .

جـ ـ أدى تعرض مهاميز الهليون لتركيز ١٠٠ جزء 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 ـ تكون مادة مرة (عبارة عن isocumarin) فى الجزر .

ب ـ تكون طعم مر فى الكرنب عند التعرض للغاز بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون .

٥ - تبرعم البطاطس :

تنمو البراعم من عيون البطاطس عند تعرضها لغاز الإيثيلين بتركيز جزأين 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 ٠,١ 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 النسيج الوسطى (الميزوفيل) تمتد حتى النسيج الوعائى ؛ حيث يتدهور نسيج الميزوفيل ، وتنشأ عن ذلك انخفاضات صدئة تشبه النقر (عن Kader ١٩٨٥) .

وسائل تجنب اضرار غاز الإيثيلين

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

١ - إزالة الغاز من المخازن أولا بالتهوية الجيدة .

٢ - تجنب مصادر الغاز التى من أهمها :

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

ب ـ إزالة الثمار الزائدة النضج أولا بأول .

جـ ـ إزالة الثمار المجروحة .

د ـ عدم ترك الثمار المنتجة للإيثيلين مع الثمار الأخرى الأقل إنتاجًا للغاز . ويستفاد فى هذا الشأن من جدول (١٢ - ٦) الذى تقسم فيه ثمار الخضر والفاكهة الطازجة حسب إمكانات خلطها أثناء النقل والتخزين ؛ بناء على احتياجاتها من درجات الحرارة والرطوبة ، ومعدل إنتاجها من غاز الإيثيلين ، ومدى حساسيتها لهذا الغاز .

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

العلاقة بين أضرار البرودة وإنتاج الإيثيلين

فى محاولة لدراسة العلاقة بين أضرار البرودة وإنتاج الإيثيلين فى الثمار الحساسة للحرارة المنخفضة . . وُجد أن تعريض ثمار الخيار لحرارة ٢,٥°م أسرع من تمثيل مركب 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ، وهو الذى يتحول إنزيميا إلى إيثيلين ، وذلك مقارنة بالثمار التى خزنت على حرارة ١٣°م . وحدث أعلى تمثيل للإيثيلين بعد أربعة أيام من التعريض للحرارة المنخفضة ، ثم توقف فى اليوم السادس . أما الـ ACC فقد وصل إلى أعلى مستوى له فى اليوم السابع بعد معاملة البرودة ، ثم تدنى إلى مستوى منخفض بعد اليوم التاسع .

ويبدو أن التعرض للحرارة المنخفضة فترة طويلة يضر بالنظام الذى يحول الـ ACC إلى إيثيلين . كما أن درجات الحرارة المفرطة فى الانحراف (سواء أكان ذلك

جدول (١٢ - ٦) : تقسيم محاصيل الخضر والفاكهة الطازجة حسب إمكانات 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) .

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

بالارتفاع ، أم بالانخفاض) تثبط من تمثيل الإيثيلين من خلال تثبيطها لنشاط الإنزيمات المسئولة عن تكوينه .

وحيث إن الإيثيلين غالبًا ما يزيد إنتاجه عند تعرض الأنسجة النباتية لحرارة منخفضة أو عالية لفترات محدودة . . فإنه يبدو أن الأضرار الفيزيائية التى تحدث بالأغشية البلازمية للخلايا النباتية وعضّياتها ـ من جراء التعرض للحرارة المتطرفة ـ هى التى قد تعمل على إعادة تسكين decompartmentalization الإنزيمات المسئولة عن تمثيل الإيثيلين ؛ بما يؤدى إلى زيادة إنتاجه (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

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 .

تقسيم الخضروات حسب معدل التنفس بعد الحصاد

تقسم الخضروات إلى خمس مجاميع حسب معدل تنفس أنسجتها بعد الحصاد كما يلى (عن Kader وآخرين ١٩٨٥) :

المجموعة	معدل التنفس عند ٥°م (مجم CO_2/ كجم / ساعة)	الخضر
التنفس منخفض جدا	< ٥	الخضر المجففة (ومن الفاكهة التمر والنقل)
التنفس منخفض	٥ – ١٠	البصل والبطاطس
التنفس متوسط	١٠ – ٢٠	الكرنب ، والجزر ، والخس ، والفلفل ، والطماطم ،
التنفس مرتفع	٢٠ – ٤٠	والفراولة ، والقنبيط ، وفاصوليا الليما
التنفس مرتفع جدا	٤٠ – ٦٠	الخرشوف ، والفاصوليا ، وكرنب بروكسل
التنفس شديد الارتفاع	> ٦٠	الهليون ، والبروكولى ، وعيش الغراب ، والبسلة ، والسبانخ ، والذرة السكرية

ويلاحظ من التقسيم السابق لمعدل التنفس فى محاصيل الخضر أنه ينخفض كلما ازدادت درجة نضج الأنسجة فى الأعضاء النباتية التى يتم حصادها ، سواء أكانت جذورا ، أم سيقانًا ، أم أوراقًا ، أم أزهارا ، أم بذورا (عن Snowdon ١٩٩٠) .

تأثير درجة الحرارة على معدل تنفس وتدهور الخضر 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 و١٠°م ، وبمقدار الضعف مع كل زيادة فى درجة الحرارة بعد ذلك مقدارها ١٠ درجات مئوية فيما بين ١٠ و٣٥°م ؛ أى تخضع الزيادة فى معدل التنفس مع ارتفاع درجة الحرارة فى هذا المدى لقانون فانت هوف Van't Hoff .

ويعرف مقدار التضاعف فى معدل التنفس (أو أيّ من العمليات الحيوية الأخرى) مع كل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية باسم Temperature Quotient ، ويعطى الرمز Q_{10} . ويبين جدول (١٢ - ٧) الـ Q_{10} بالنسبة لمعدل التدهور فى عدد من الخضروات.

جدول (١٢ - ٧) : تأثير التغير فى درجة الحرارة بمقدار ١٠ درجات مئوية على معدل تدهور بعض الخضروات (Q_{10}) .

المحصول والتقدير[1]	الـ (Q_{10}) عند التغير فى درجة الحرارة (من - إلى °م)		
	صفر - ١٠	١٠ - ٢٠	٢٠ - ٣٠
الهليون : ١	٢,٧	٢,٤	١,٨
٢	٥,٨	٢,٧	١,٤
٣	١٠,٠	٢,٠	٢,٠
كرنب بروكسل : ١	٣,٨	٢,٧	١,٩
الكرفس : ١	٤,١	٢,٣	١,٩
خس الرءوس : ١	٢,٥	٢,٢	١,٩
البسلة : ١	٣,٣	٢,٨	٢,٠
٢	٢٧,٥	٢,٦	١,٥
الفجل : ١	٢,٩	٢,٣	١,٦
السبانخ : ١	٣,٣	٢,٥	١,٨
الذرة السكرية : ٢	٣,٩	٣,٦	١,٥

(أ) : التقدير على أساس الوقت اللازم مروره : ١ - لوصول المنتج إلى حالة غير صالحة للبيع ، و٢ - لفقد المنتج لـ ٣٠٪ من السكر الموجود به ابتداء ، و٣ - لحدوث زيادة مقدارها ٥٠٪ فى نسبة الألياف .

وتتباين قيمة Q_{10} بتغير درجة الحرارة فى عديد من العمليات البيولوجية ، بما فى ذلك التنفس (جدول ١٢ - ٦) ، وهى تتراوح بالنسبة للتنفس ـ عادة ـ بين ١,٠ و ٥,٠ ، وتكون أعلى ما يمكن بين صفر ، و١٠م .

ويجب أن تعتمد قيمة Q_{10} المقدرة على معدل تنفس المنتج فى البداية ؛ ذلك لأنه بعد تخزينه فى درجات حرارة مختلفة يصبح المنتج فى أعمار فسيولوجية متباينة ، وتصبح معدلات التنفس المقدرة له مضللة .

هذا . . ولا يعنى ارتفاع معدل التنفس الابتدائى لمحصولٍ ما أنه بالضرورة ذو Q_{10} مرتفعة ، والعكس ـ كذلك ـ صحيح .

ويبين فى جدول (١٢ - ٨) مثالا افتراضيا يوضح العلاقة ما بين الـ Q_{10} للتنفس ومعدل تدهور المنتج أثناء التخزين ، معبرا عنه بفترة الصلاحية للتخزين والنسبة المئوية للفقد اليومى .

جدول (١٢ - ٨) : العلاقة بين Q_{10} للتنفس ومعدل تدهور المنتج أثناء التخزين .

التغير فى الحرارة (°م)	Q_{10} المفترضة[أ]	سرعة التدهور النسبية	فترة التخزين النسبية	الفقد اليومى (٪)
حرارة الأساس : صفر	–	١,٠	١٠٠	١
صفر - ١٠	٣,٠	٣,٠	٣٣	٣
١٠ - ٢٠	٢,٥	٧,٥	١٣	٨
٢٠ - ٣٠	٢,٠	١٥,٠	٧	١٤
٣٠ - ٤٠	١,٥	٢٢,٠	٤	٢٥

(أ) : Q_{10} = (معدل التدهور عند حرارة T + ١٠°م) / معدل التدهور عند حرارة T °م .

وتقسم الخضروات حسب معدل تنفسها فى مختلف درجات الحرارة كما يلى :

١ - خضروات بطيئة فى معدل تنفسها (أقل من ١٠ مجم ثانى أكسيد كربون / كجم / ساعة عند ١٠°م ، أو أقل من ٤٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ٢٠°م) ، وتشمل : البطاطس ، والبصل ، والخيار .

٢ - خضروات ذات معدل تنفس متوسط (١٠ - ٢٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ١٠م ، أو ٤٠ - ٨٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ٢٠م) وتشمل : الفلفل ، والجزر ، والطماطم ، والباذنجان .

٣ - خضروات ذات معدل تنفس عال (٢٠ - ٤٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ١٠م ، أو ٨٠ - ١٢٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ٢٠م) ، وتشمل : الفجل .

٤ - خضروات ذات معدل تنفس عال جدا (أكثر من ٤٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ١٠م أو ١٢٠ مجم CO_2 / كجم / ساعة عند ٢٠م) ، وتشمل : البصل الأخضر ، والقنبيط ، والبسلة ، والشبت ، والبقدونس ، والقاوون ، والبامية ، وعيش الغراب (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤ أ) .

تأثير الاكسجين 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 بـ « التخزين فى الجو المعدل Modified Atmosphere » . ويحتوى الجو المعدل عادة على ٣ - ٥٪ أكسجينًا ، ونحو ٥٪ ثانى أكسيد الكربون .

ويلزم دائمًا توفر كمية كافية من الأكسجين ؛ حتى يستمر التنفس هوائيا وينطلق الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون ؛ لأن غياب الأكسجين يجعل التنفس لا هوائىّ ، 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 .

ظاهرة الكلايمكترك 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 - تدريجيا - مع كبر حجم الثمار ، حتى تصل إلى أكبر حجم لها . ويطلق على هذه المرحلة اسم « ما قبل الكلايمكتريك Preclimacteric Stage » .

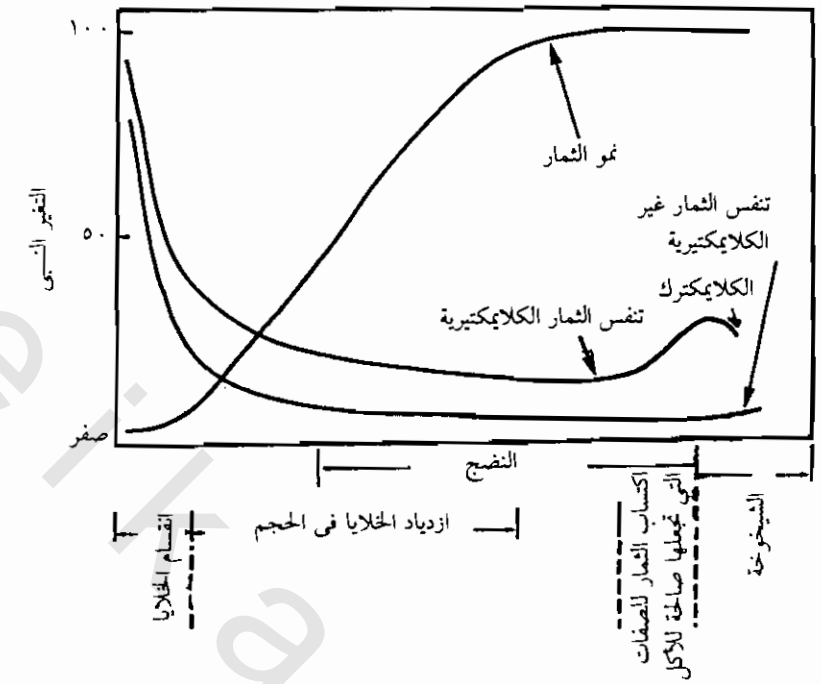
٢ - تبدأ المرحلة الثانية بعد وصل الثمار إلى أكبر حجم لها ، وتستمر أثناء نضجها . ويحدث أثناءها ارتفاع حاد فى معدل التنفس يصل إلى أقصاه عند اكتمال نضج الثمار . ويطلق على هذه المرحلة اسم « الكلايمكتريك » ، أو «ذرة التنفس Climacteric Stage » (شكل ١٢ - ٢) .

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

١ - ثمار تحدث فيها ظاهرة الكلايمكتريك ، وتسمى الثمار الكلايمكتيرية Climac-teric Fruits ، ومن أمثلتها : التفاح ، والتين ، والكمثرى ، والمشمش ، والخوخ ، والبرقوق ، والزبدية ، والمانجو ، والموز ، والباباظ ، والسابوتا ، والبشملة ، والطماطم ، والقاوون - خاصة الكانتلوب ، وكيزان العسل - والبطيخ .

٢ - ثمار غير كلايمكتيرية Non-Climacteric fruits : لا يلاحظ بها تغيرات كبيرة فى معدل التنفس بعد القطف . ومن أمثلتها : الكريز ، والزيتون ، والعنب ، والموالح ، والأناناس ، والفراولة ، والخيار ، والفلفل ، والباذنجان (شكل ١٢ - ١) .

وبرغم صحة هذا التقسيم من حيث التغيرات الملاحظة فى معدل التنفس بعد القطف ، إلا 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 نباتيا بعد القطف . والبعض الآخر يقطف بعد اكتمال نموه ، ولكنه يستهلك قبل نضجه نباتيا ، كالفلفل ، فلا تلاحظ به الظاهرة ،



شكل (١٢ - ١) : طرز نمو وتنفس الثمار أثناء تطورها (عن Wills وآخرين ١٩٨١) .

كما أن بعض الثمار تقطف بعد اكتمال نضجها ؛ فتكون ظاهرة الكلايمكتريك قد حدثت بها قبل القطف ، كما فى العنب ، والتين ، والفراولة (النبوى وآخرون ١٩٧٠) .

انطلاق الطاقة اثناء عملية التنفس

يصاحب التنفس انطلاق طاقة كبيرة حسب المعادلة التالية :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ kilo calorie}$$

وكلما ازداد معدل التنفس ، ازدادت كمية الطاقة المنطلقة ؛ فمثلا . . يؤدى ارتفاع درجة الحرارة من صفر إلى ١٥°م إلى زيادة كمية الطاقة المنطلقة إلى ستة أضعاف تقريبًا فى الذرة السكرية والبسلة . وتصل الزيادة إلى عشرة أضعاف عند وصول درجة الحرارة إلى ٢٧°م . وفى السبانخ تصل الزيادة فى الطاقة المنطلقة إلى تسعة أضعاف تقريبًا مع ارتفاع درجة الحرارة من صفر إلى ١٥°م .

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 .

طريقة حساب الطاقة المنطلقة

تتوقف احتياجات التبريد فى المخازن على كمية الطاقة المنطلقة من الخضر المخزنة أثناء تنفسها . وتحسب كمية الطاقة المنطلقة يوميا بضرب معدل التنفس (فى صورة ملليجرامات CO_2 / كجم / ساعة) فى ٢٢٠ . وقد حصل على هذا العامل بضرب ٢,٥٥ جم كالورى (من الحرارة التى تنطلق مع كل ملليجرام من CO_2 المنتج عند تأكسد سكر سداسى) فى ٨٦,٣ . وهذا العامل (٨٦,٣) هو ناتج تحويل سعرات حرارية / كجم / ساعة إلى Btu / طن / يوم .

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

تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر

يبين جدول (١٢ - ٩) كمية الطاقة التى تنطلق من مختلف الخضروات عند تخزينها فى درجات حرارة مختلفة . وكما أسلفنا . . فإن كمية الطاقة المنطلقة تتحدد بكل من معدل التنفس الابتدائى للمنتج ، والـ Q_{10} المحسوبة لتنفسه فى مختلف درجات الحرارة . ويستفاد من تلك البيانات فى حساب احتياجات التبريد للخضر المخزنة .

ويوضح شكل (١٢ - ٢) تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة - نتيجة للتنفس - فى بعض الخضر والفاكهة .

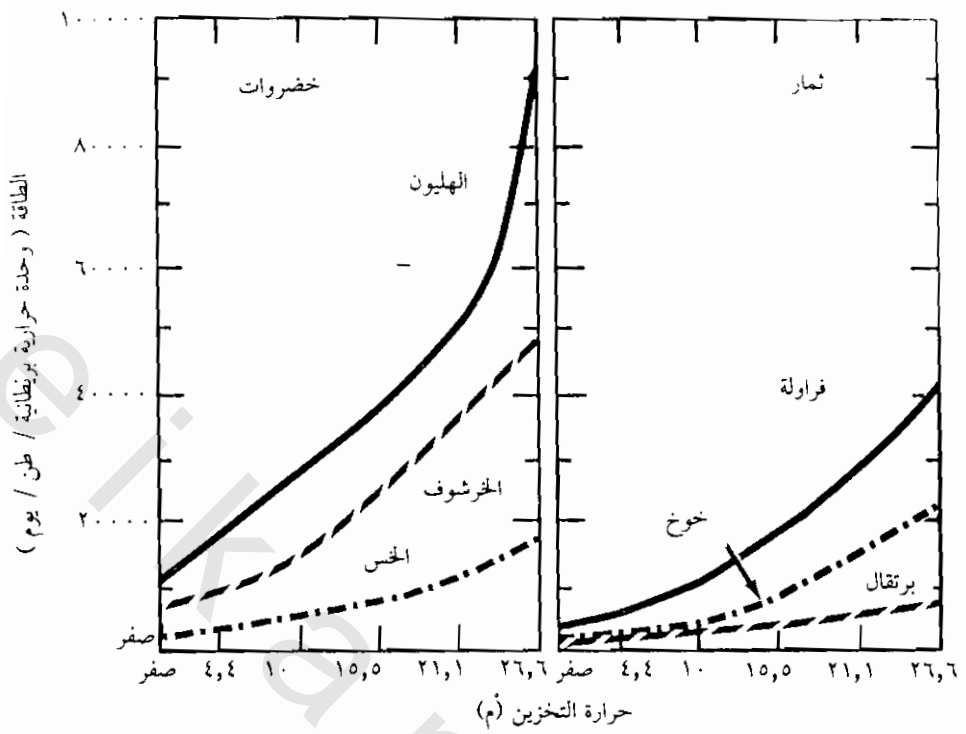
جدول (١٢ - ٩) : كمية الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر الطازجة عند تخزينها فى درجات حرارة مختلفة (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

الخضر	الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية / طن / يوم) فى حرارة (°م)				
	صفر	٤,٤	١٥,٥	٢٠ - ٢١,١	٢٥ - ٢٦,٦
الخرشوف	٥,٥ - ٩,٩	٧,٧ - ١٣,٢	٢٠,٩ - ٣١,٩	٣٠,١ - ٥١,٣	٣٣,٩ - ٦٦,٢
الهليون	٦,٢ - ١٣,٢	١٣,٠ - ٢٣,١	٢٥,٥ - ٥١,٥	٣٨,٣ - ٥٩,٢	٨١,٨ - ١٠٤,٧
فاصوليا الليما (القرون)	٢,٣ - ٦,٦	٤,٣ - ٧,٩	٢٢,٠ - ٢٧,٤	٢٩,٢ - ٣٩,٤	-
فاصوليا الليما (البذور الخضراء)	٣,٩ - ٧,٧	٦,٤ - ١٣,٤	-	٤٦,٥ - ٥٨,٤	-
الفاصوليا الخضراء	٥,٥ - ٩,٠	٩,٢ - ١١,٤	٣٢,١ - ٤٤,١	٤٥,٤ - ٥٣,٠	-
البنجر (بدون عروش)	٢,٧	٤,١	٧,٢	-	-
البروكولى	٤,١ - ٤,٧	٧,٦ - ٣٥,٢	٣٨,٢ - ٧٤,٨	٦١,٢ - ٧٥,٠	١٢٣,٢ - ١٩٣,٦
كرنب بروكسل	٢,٢ - ٦,٦	٤,٨ - ١٠,٦	١٤,١ - ٢٩,٩	١٨,٩ - ٣٧,٨	-
الكرنب	١,٠ - ١,٤	١,٧ - ٢,٧	٤,١ - ٥,٧	٦,١ - ١٠,٨	١٠,٧ - ١٤,٠
الجزر	٢,١ - ٤,٥	٢,٣ - ٥,٨	٥,٧ - ١١,٨	١٠,١ - ٢٠,٩	-
القنبيط	٣,٦ - ٤,٢	٤,٢ - ٤,٨	٩,٤ - ١٠,٨	١٦,٥ - ١٨,٩	١٨,٥ - ٣٠,٨
الكرفس	١,٦	٢,٤	٨,٢	١٤,٢	-
الذرة السكرية	٦,٦ - ١١,٣	٩,٤ - ١٨,٣	٣٣,٣ - ٣٨,٤	٥٩,٠ - ٦٨,٤	٦٢,٠ - ٩٥,٨
الخيار	-	-	٣,٣ - ٧,٣	٣,١ - ١٠,٦	٤,٢ - ١٢,١
الثوم	٠,٩ - ٣,١	٢,٠ - ٧,٣	٣,١ - ٦,٤	٢,٩ - ٥,٥	-
فجل الحصان	١,٨	٣,١	٧,٢	٩,٨	-
كرنب أبو ركبة	٢,٢	٣,٦	١٠,٨	-	-
الكرات أبو شوشة	٢,١ - ٧,٣	٤,٣ - ٦,٤	١٨,٢ - ٢٥,٧	-	٢٣,٦ - ٢٦,١
خس الرءوس	١,٣ - ٣,٧	٢,٩ - ٤,٤	٧,٠ - ٩,٩	١١,٢ - ١٣,٢	١٦,١ - ٢٠,١
الخس الورقى	٤,٢ - ٦,٠	٥,٣ - ٧,٦	١١,٣ - ١٦,٣	١٨,١ - ٢٦,١	٢٦,٤ - ٣٨,٠
الخس الرومين	-	٤,٠ - ٥,١	٨,٦ - ١٠,٩	١٣,٣ - ١٦,٩	٢١,٠ - ٢٦,٧
القاوون الشبكى	١,١ - ١,٣	١,٩ - ٢,٢	٧,٤ - ٨,٥	٩,٨ - ١٤,٢	١٣,٧ - ١٥,٧

(يتبع)

تابع جدول (١٢ - ٩) .

الخضر	الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية / طن / يوم) فى حرارة (°م)				
	صفر	٤,٤	١٥,٥	٢٠ - ٢١,١	٢٥ - ٢٦,٦
شهد العسل	-	٠,٧ - ١,١	٢,٦ - ٣,٥	٤,٤ - ٥,٩	٥,٨ - ٧,٦
البطيخ	-	٠,٧ - ٠,٩	-	٣,٨ - ٥,٥	-
عيش الغراب	٦,٢ - ٩,٦	١٥,٦	-	٥٨,٠ - ٦٩,٦	-
البامية	-	١١,٦ - ١٢,٩	٣٠,٤ - ٣٣,٧	٥٤,٥ - ٦٠,٣	٧٢,١ - ٧٩,٧
البصل (الرءوس)	٠,٦ - ٠,٧	٠,٧ - ٠,٨	٢,٣ - ٢,٥	٣,١ - ٤,٢	٦,٠ - ٦,٤
البصل الأخضر	٢,٣ - ٤,٩	٣,٨ - ١٥,٠	١٤,٥ - ٢١,٤	١٧,٣ - ٣٤,٣	٢١,٥ - ٤٦,١
الجزر الأبيض	٢,٦ - ٣,٤	١,٩ - ٣,٩	٧,١ - ٩,٤	-	-
البسلة (القرون)	٦,٧ - ١٠,٣	١٢,١ - ١٦,٨	٣٩,٣ - ٤٤,٥	٥٤,٠ - ٧٩,٥	٧٥,٥ - ٨٢,٩
البسلة (البذور الخضراء)	١٠,٤ - ١٦,٦	١٧,٤ - ٢١,٤	-	٧٦,٧ - ١٢٢,٤	-
الفلفل الحلو	-	١,١ - ٤,٧	٤,٤ - ١٢,٦	٥,٠ - ١٤,٣	٧,٩ - ١٦,٣
البطاطس غير المكتملة النمو	-	٢,٦	٢,٩ - ٦,٨	٤,٠ - ٩,٩	-
البطاطس المكتملة النمو	-	٠,٦ - ١,٩	١,٣ - ٢,٦	١,٨ - ٣,٥	-
الفجل (بعروش)	٣,٢ - ٣,٨	٤,٢ - ٤,٦	١٥,٤ - ١٧,١	٢٧,٣ - ٣٠,٠	٣٤,٨ - ٤٢,٤
الفجل (بدون عروش)	٠,٧ - ٢,١	١,٣ - ٢,٩	٤,٩ - ٩,٣	٩,٨ - ١٢,٧	١٣,٣ - ١٩,٥
الروبارب	١,٨ - ٢,٩	٢,٤ - ٤,٠	٦,٨ - ١٠,٦	٨,٨ - ١٢,٥	-
السبانخ	٤,٢ - ٤,٩	٧,٦ - ١٢,٧	٢٩,٥ - ٤٩,٢	٣٧,٩ - ٦٣,٢	-
الكوسة (بترنط)	-	-	-	-	١٤,٥ - ٢٦,٨
الكوسة	٢,٦ - ٢,٨	٣,١ - ٤,١	١٦,٥ - ٢٠,٠	١٨,٧ - ٢١,٤	-
البطاطا غير المعالجة	-	-	٦,٣	-	١١,٩ - ١٦,١
البطاطا المعالجة	-	-	٤,٣ - ٥,٣	-	-
الطماطم الخضراء المكتملة النمو	-	١,١ - ١,٨	٣,٦ - ٦,٢	٦,٢ - ٩,١	٧,٦ - ١١,٢
الطماطم الحمراء	-	١,٣	٥,٣ - ٦,٤	٥,٣ - ٩,٧	٦,٦ - ١١,٥
اللفت	١,٩	٢,١ - ٢,٢	٤,٧ - ٥,٣	٥,٣ - ٥,٥	-
الكرسون المائى	٤,٣ - ٥,٨	٩,٦ - ١٠,٧	٣٦,٤ - ٤٥,٠	-	-



شكل (١٢ - ٢) : تأثير درجة حرارة التخزين على معدل تنفس بعض الخضروات والفاكهة (للمقارنة) ؛ وبالتالى على كمية الطاقة المنطلقة منها .

تأثير مدة التخزين على معدل انطلاق الطاقة من مختلف الخضر

يتحدد معدل تنفس الخضر بعمرها الفسيولوجى ؛ الأمر الذى يتحدد ـ بدوره ـ بكلٍّ من درجة حرارة التخزين وفترة التخزين ـ كما أسلفنا ـ حيث يزداد العمر الفسيولوجى للخضر بارتفاع درجة حرارة التخزين ، أو بزيادة فترة التخزين ، أو بكليهما . ومع تقدم العمر الفسيولوجى . . يتناقص معدل التنفس ـ عند كل درجة حرارة ـ بزيادة فترة التخزين ، وتتناقص معه كمية الطاقة المنطلقة من الخضر ، كما هو مبين فى جدول (١٢ - ١٠) بالنسبة لكل من الهليون ، وخس الرءوس ، والبطاطس (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

جدول (١٢ - ١٠) : تأثير مدة التخزين على الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر فى درجات الحرارة المختلفة .

الخضر ومدة التخزين باليوم	كمية الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية / طن / يوم) فى حرارة (°م)					
	صفر	٢,٢	٥	١٠	١٥	٢٠
الهليون						
١	١٣,٢	١٥,٨	٢٣,١	٤٧,١	٥١,٥	٥٩,٢
٢	١٠,١	١٢,٨	١٦,٩	٣١,٠	٣٩,٦	٤٦,٤
٣	٥,٦	١١,٠	١٤,٣	٢٦,٠	٣٤,٨	٤٠,٩
٤	٧,٩	٩,٧	١٢,٥	٢١,٨	٣١,٢	٣٨,٣
٦	-	-	١١,٧	١٧,٢	٢٥,٥	-
٨	٧,٠	٧,٥	١٣,٠	١٥,٤	-	-
خس الرؤوس						
١	٣,٧	-	٤,٤	٨,٨	٩,٠	١٣,٢
٥	٢,٠	-	٢,٩	٥,٥	٨,٦	١٢,٣
البطاطس						
٢	-	-	١,٣	٢,٢	٢,٦	٣,٥
٦	-	-	١,٨	١,٨	١,٨	٢,٤
١٠	-	-	١,٥	١,٥	١,٥	١,٨

obeikandl.com