

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد

تدخل ضمن دراسة فسيولوجيا ما بعد الحصاد Post-Harvest Physiology كافة التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على الخضروات بعد حصادها ، والمعاملات التي تجرى لها بغرض إبطاء هذه التغيرات ، والمحافظة على جودة الخضروات لحين وصولها إلى المستهلك ، بما فى ذلك طرق التخزين المختلفة التي تعمل على إطالة فترة احتفاظ الخضر بجودتها ، والمعاملات التي تجرى بغرض إسراع نضجها . ونتناول بالدراسة فى هذا الفصل التغيرات التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد .

إن جميع التغيرات التي 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 .

التغيرات المرغوبة التالية للحصاد

من أهم التغيرات المرغوبة التي تحدث فى محاصيل الخضر بعد الحصاد ما يلى :

١ - كل التغيرات التي تؤدي إلى تحسين الصفات التي تجعل الثمار صالحة للأكل ، سواء من حيث اللون ، أم النكهة ، أم القوام . وهى تغيرات تصاحب استكمال النضج فى الثمار التي تحصد قبل تمام نضجها ؛ كما فى الطماطم ، والقاوون الشبكي ، والقاوون الأملس .

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

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

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

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

٢ - يعتبر تبيض الكرفس من التغيرات المرغوبة التي تمتاج هي الأخرى إلى المعاملة بالإيثيلين .

٣ - ومن التغيرات المطلوبة أيضاً تحول النشا إلى سكر أثناء فترة العلاج في جذور البطاطا ، وفي ثمار القرع العسلي ، ومع إطالة فترة التخزين ، وفي الجزر في الأيام الأولى من التخزين .

التغيرات غير المرغوبة التالية للحصاد

تشمل التغيرات غير المرغوبة كل ما يؤدي إلى تدهور المحصول وتلفه . وهي في غالب الأمر امتداد للتغيرات المرغوبة التي 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 يلي :

التغيرات في اللون

قد تحدث تغيرات غير مرغوبة في اللون . ومن أمثلتها ما يلي :

١ - فقدان الكلوروفيل - أى فقدان اللون الأخضر - في الخضار التي تؤكل خضراء ؛ كالخضار الورقية ، والخيار ، والفاصوليا ، والبسلة الخضراء وغيرها .

٢ - تكون لون بني غير مرغوب فيه نتيجة لأكسدة المواد الفينولية ، كما في البطاطس .

٣ - اخضرار درنات البطاطس عند تعرضها للضوء .

التغيرات في الكربوهيدرات

من أمثلة التغيرات غير المرغوبة في المواد الكربوهيدراتية ما يلي :

١ - تحول النشا إلى سكر في البطاطس المخزنة على حرارة أقل من ٥ م° ؛ حيث تتراكم السكريات تحت هذه الظروف . ويؤدي ذلك إلى اكتساب البطاطس لوناً بنياً داكناً ، بدلا من اللون الأصفر الذهبي المرغوب فيه عند القلى في الزيت بسبب احتراق السكريات . ويرجع ذلك التغير في اللون إلى السكريات المختزلة فقط ، وتختلف الأصناف في مدى قابليتها لتراكم السكريات المختزلة عند التخزين في درجات الحرارة المنخفضة .

٢ - تحول السكر إلى نشا في بعض الخضروات - كالبسلة ، والذرة السكرية - عند تخزينها في درجة حرارة مرتفعة ؛ فتفقد الذرة السكرية ٦٠٪ من محتواها من السكر خلال يوم واحد من التخزين في حرارة ٣٠ م° ، بالمقارنة بـ ٦٪ فقط عند التخزين في الصفر المئوي . ويصاحب فقدان السكر انخفاض كبير في 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 في الكرفس .

التغيرات في الطعم

تحدث التغيرات غير المرغوبة في الخضراوات المخزنة ؛ نتيجة لما يحدث بها من تغيرات في الأحماض العضوية ، والبروتينات ، والأحماض الأمينية ، والدهون .

فقدان الفيتامينات

تفقد الخضروات المخزنة جزءاً من محتواها من الفيتامينات ، ويكون ذلك واضحاً بوجه خاص في فيتامين ج . ويمكن تقليل هذا الفقد بسرعة تبريد المحصول بعد الحصاد ، وتخزينه في درجات حرارة منخفضة ، كما يفيد التخزين في الجو المعدل الذي تقل فيه نسبة الأكسجين في تقليل أكسدة الفيتامينات .

النموات النباتية

يحدث أثناء التخزين أن تتكون نموات نباتية بالثمار ؛ كما في الحالات التالية :

- ١ - تزييع البطاطس ، والبصل ، والثوم ، والخضر الجذرية ، كالجزر واللفت ؛ ويقلل ذلك من صلاحيتها للتسويق .
- ٢ - نمو الجذور فى الجزر ؛ ويقلل ذلك أيضاً من قيمتها التسويقية .
- ٣ - إنبات البذور داخل الثمار ؛ وهو الأمر الذى قد يحدث أحياناً فى ثمار بعض سلالات الطماطم والفلفل .
- ٤ - استطالة مهاميز الهليون والتواؤها لأعلى إذا كانت بوضع أفقى أثناء التخزين .
وتصاحب ذلك زيادة فى صلاحيتها .
- ٥ - ظهور نموات زغبية بأقراص القنبيط (عن Kader وآخرين ١٩٨٥) .

الفقد فى الوزن

تفقد الخضروات المخزنة جزءاً 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 تدريجياً بعد ذلك .
ومن البديهي أن يكون النتح فى كثير 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 - كالكرنب - أن تتحمل فقداً رطوبياً تصل نسبته إلى ١٠٪ من وزن الرءوس ، لكنها تحتاج - حينئذ - إلى بعض التقليل والتهذيب قبل عرضها فى الأسواق . ويوضح جدول (١٢ - ١) معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (درجة حرارة ٢٧م ، ورطوبة نسبية ٦٠٪) .

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

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضرا بعد الحصاد

جدول (١٢ - ١) : معدل الفقد اليومي في وزن الخضرا المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (درجة حرارة ٢٧م ، ورطوبة نسبية ٦٠٪) (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

| معدل الفقد اليومي (%) | الخضرا |
|-------------------------|-----------------------|
| ٨,٤ | الهلين |
| ٤,٠ | الفاصوليا الخضراء |
| ٣,٦ | الجزر (بدون أوراق) |
| ٣,١ | البنجر (بدون أوراق) |
| ٢,٥ | الخيار |
| ٢,٢ | قرع الكوسة |
| ٠,٩ | الطماطم |
| ٠,٣ | القرع العسلي |

المعبأة جزءا كبيرا من رطوبتها إلى العبوات الخشبية ؛ ولهذا ينصح أحيانا ببل الصناديق الخشبية قبل تعبئتها .

وتعتبر الرطوبة النسبية في المخازن أهم العوامل المتحكمة في الفقد الرطوبي ؛ لأن الرطوبة النسبية في المسافات البينية لأنسجة معظم الخضروات تبلغ ٩٩٪ على الأقل ؛ ويعنى ذلك استمرار فقدانها للرطوبة ، ما دامت الرطوبة النسبية في الجو المحيط بها تقل عن ذلك . ويطلق على الفرق في ضغط بخار الماء بين الجو الداخلى لأنسجة المنتجات المخزنة والجو الخارجى اسم "Vapor-pressure" .

ويحدث معظم الفقد في الرطوبة أثناء مراحل التبريد المبدئى ؛ حيث يكون الفرق في ضغط بخار الماء كبيرا ، ويقل - تدريجيا - مع انخفاض درجة الحرارة . ويعطى جدول (١٢ - ٢) أمثلة تبين أهمية كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية في التأثير على الفرق في ضغط بخار الماء ؛ وبالتالي على الفقد الرطوبي من الخضرا المخزنة .

ويوضح جدول (١٢ - ٣) الحد الأقصى المسموح به للفقد الرطوبي في الخضرا المخزنة ؛ حيث لا تكون بعدها صالحة للتسويق . هذا . . . ورغم أن جزءا من الفقد في الوزن يرجع إلى التنفس ، إلا أن ذلك الجزء لا يُعَدُّ به ، بالمقارنة بالفقد الرطوبي .

جدول (١٢ - ٢) : أهمية درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء ؛ وبالتالي على الفقد الرطوبى فى الخضـر المخزنة (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨) .

| المثال | الرطوبة النسبية (%) | ضغط بخار الماء (مم زئبق) |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| ١ - درجة حرارة الخضـر ٢١م | ١٠٠ | ١٨,٧٦ |
| درجة حرارة الهواء صفرم | ١٠٠ | ٤,٥٨ |
| الفرق فى ضغط بخار الماء | | |
| | | ١٤,١٨ |
| ٢ - درجة حرارة الخضـر صفرم | ١٠٠ | ٤,٥٨ |
| درجة حرارة الهواء صفرم | ٥٠ | ٢,٢٩ |
| الفرق فى ضغط بخار الماء | | |
| | | ٢,٢٩ |
| ٣ - درجة حرارة الخضـر ٢,٢م | ١٠٠ | ٥,٣٧ |
| درجة حرارة الهواء ٢,٢م | ٩٠ | ٤,٨٣ |
| الفرق فى ضغط بخار الماء | | |
| | | ٠,٥٤ |
| ٤ - درجة حرارة الخضـر صفرم | ١٠٠ | ٤,٥٨ |
| درجة حرارة الهواء صفرم | ٩٠ | ٤,١٢ |
| الفرق فى ضغط بخار الماء | | |
| | | ٠,٤٦ |

أضرار تنشأ عن عيوب فى المخازن

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

أضرار الامونيا

تحدث أضرار الامونيا Ammonia Injury عندما يتسرب الغاز من أجهزة التبريد ؛ حيث تتلون الأنسجة الخارجية للخضـر المخزنة بلون بني أو أخضر مسودّ . وقد تؤدى

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضراوات بعد الحصاد

جدول (١٢ - ٣) : الحد الأقصى المسموح به لفقد الرطوبة في الخضراوات المخزنة ؛ حيث تصبح

الخضراوات بعدها غير صالحة للبيع (عن Fordham & Biggs ١٩٨٥) .

| الخضراوات | الحد الأقصى المسموح به لفقد الرطوبة (%) |
|-------------------------|---|
| الهلبيون | ٨ |
| الفول الرومي | ٦ |
| البنجر (جذور) | ٧ |
| البروكولي | ٤ |
| الكرنب بروكسل | ٨ |
| الكرنب (أصناف مختلفة) | ٧ - ١٠ |
| الجزر (جذور) | ٨ |
| الجزر (بأوراقه) | ٤ |
| القمبيط | ٧ |
| الكرفس | ١٠ |
| الكراث أبو شوشة | ٧ |
| البصل | ١٠ |
| الجزر الأبيض | ٧ |
| البطاطس | ٧ |
| السلة (بالقرون) | ٥ |
| السبانخ | ٣ |
| الذرة السكرية | ٧ |
| الطماطم | ٧ |
| اللفت | ٥ |
| الحس | ٣ - ٥ |

الأضرار الشديدة إلى ليونة الأنسجة الداخلية ، وفقد الخضراوات صلاحيتها للتسويق . ويحدث الضرر - عادة - عندما يصل تركيز الأمونيا في 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 ممكناً ، أو بمعادلة الأمونيا بغاز ثاني أكسيد الكبريت Sulfurdioxide إن كانت

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

أضرار نقص الأكسجين

يحدث النقص في الأكسجين من جرّاء تنفس الخضروات المخزنة مع عدم توفرتهدوية جيدة في المخازن ، ويكون ذلك مصحوباً بزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون . وتختلف الخضروات في مدى حساسيتها لذلك .

ومن الأضرار التي يحدثها نقص الأكسجين ما يلي :

١ - ظهور حالة القلب الأسود في درنات البطاطس .

٢ - تبقع قرون الفاصوليا الخضراء ببقع بنية اللون .

أضرار التجمد

تحدث أضرار التجمد Freezing Injury من جرّاء تكون البلورات الثلجية في الخلايا بأنسجة الخضروات ؛ حيث يبدو النسيج المتجمد بعد إخراجه من المخزن وتعرضه لدرجة الحرارة العادية كما لو كان منقوعاً في الماء Water-soaked . وتعرض الخضروات لتلك الأضرار في المخازن ؛ إما نتيجة للإهمال في اختيار درجة الحرارة المناسبة للتخزين ، وإما لعدم كفاءة منظم الحرارة في أجهزة التبريد .

وتختلف الخضروات كثيراً من حيث درجة الحرارة التي تتجمد عليها ، وكذلك مدى تعرضها للضرر من جرّاء التجمد . وتقسم الخضروات في هذا الشأن إلى ثلاث مجاميع كالتالي :

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

٢ - خضروات متوسطة في درجة تحملها للتجمد ؛ فيمكنها تحمل التجمد الخفيف مرة أو مرتين . وتشمل هذه المجموعة : البروكولي ، والكرنب ، والجزر بدون

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضراوات بعد الحصاد

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

٣ - خضروات أكثر تحملاً 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 ركة ، والجزر الأبيض ، والروتاباجا ، والسلسفيل ، واللفت .

هذا . . ولا توجد علاقة بين درجة الحرارة التي تتجمد عندها الخضروات وبين درجة تحملها لأضرار التجمد . فمثلاً . . 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 الطبيعي 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 » ، وأحياناً « التبريد الفائق super cooling » . وقد تستمر الخضروات على هذه الحالة لعدة ساعات دون أن تتجمد ، لكنها تتجمد في الحال إذا ما حُركت العبوات أو اهتزت . ولهذا السبب يحسن عدم تحريك الخضروات المخزنة إلا بعد رفع درجة حرارة المخازن ؛ تجنباً للاحتمال كونها في حالة تبريد فائق . وتعد البطاطس من أبرز الأمثلة على ذلك ؛ فهي من أكثر الخضروات حساسية للتجمد ، ولكنها تبقى دون تجمد وهي معرضة لدرجة حرارة - ٢ م لعدة ساعات ، طالما أنها ساكنة .

كذلك ، فإن أضرار الخضروات تكون شديدة الحساسية للتجريح والأضرار الميكانيكية وهي متجمدة ، وهذا سبب آخر يدعوا إلى عدم تداول الخضروات عند إخراجها من المخازن إلا بعد أن تدفأ نسبياً .

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

| المحصول | الأعراض |
|--------------|---|
| الحرشوف | انفصال البشرة وتلون الأجزاء التي تنفصل عنها البشرة - والتي تأخذ شكل تقرحات - بلونٍ يميل إلى الأبيض أو الرصاصي الفاتح ، ثم لا يلبث أن يصبح اللون بنيًا بعد تكسّر القروح . |
| الهلين | تصبح قمة المهاميز داكنة اللون ، وبقية أنسجتها مائية المظهر . وعند تفكك التجمد فإن المهاميز تصبح مهترقة . |
| البنجر | تصبح الجذور مائية المظهر خارجيا وداخليا ، وتكتسب الأوعية الناقلة أحيانا لونًا أسود . |
| البروكولي | تكون أصفر البراعم الزهرية في مركز القرص أكثرها حساسية للتجمد . وتكتسب البراعم المتجمدة لونًا بنيًا ، وتعطى رائحة قوية غير مقبولة عند تفككها . |
| الكرب | تصبح الأوراق مائية المظهر ونصف شفافة ، وتنفصل عنها البشرة بعد تفككها . |
| الجزر | تظهر بالجزر تقرحات ، وشقوق متعرجة ، كما تبدو الجذور من الداخل مائية المظهر بعد تفككها . |
| القمييط | تكتسب الأقراص لونًا بنيًا ، وتعطى رائحة قوية غير مرغوبة عند طهيها . |
| الكرفس | تبدو الأوراق وأعناق الأوراق ذابلة ومائية المظهر بعد تفككها . ويكون تجمد الأعناق أسرع من تجمد اتصال الأوراق . |
| الثوم | تبدو الفصوص مائية المظهر بعد تفككها ، وتأخذ لونًا أصفر ضاربًا إلى الرمادي . |
| الحس | 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 الرمادي ، وتبدو مائية المظهر في المقطع العرضي . ويكون التجمد - عادة - محصورا في أعناق الأوراق (الحراشيف المتشحمة المكونة للبصلة) كل منها منفردة . |
| الفلفل الحلو | يموت كل نسيج البشرة أو جزء منه ، ويبدو مائي المظهر ، وتتعرض الثمرة للتنتير 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 الدرنة المفككة طرية ومائية المظهر . |
| الفجل | تبدو الأنسجة المفككة نصف شفافة ، وتكون الجذور طرية ومنكشمة . |
| البطاطا | تلون الأنسجة الوعائية بلون بني ضارب إلى الصفرة ، وتبدو بقية الأنسجة مائية المظهر ، |

(يتبع)

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضرا بعد الحصاد

| المحصول | الأعراض |
|---------|---|
| | وتأخذ لونًا أخضر ضاربًا إلى الصفرة . وتكون الجذور طرية وشديدة القابلية للإصابة بالتحلل . |
| الطماطم | تصبح الثمار مائية المظهر ، وتكون طرية بعد تفكيكها . وعندما يكون تجمد الثمار جزئياً ، يشاهد حد فاصل واضح بين النسيجين المتجمد وغير المتجمد ، وخاصة في 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 في معظم الخضروات الاستوائية وشبه الاستوائية عندما تخزن في حرارة أعلى من درجة تجمدها ، وأقل من ٥ - ١٥ م . ويتوقف الحد الأعلى للمجال الحرارى الذى تحدث فيه أضرار البرودة على نوع المحصول .

وتقسم المحاصيل البستانية - حسب حساسيتها لأضرار البرودة - إلى ثلاث مجموعات ؛ كما يلي :

١ - محاصيل تتحمل البرودة :

تناسب 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

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

٣ - محاصيل حساسة قليلا للبرودة :

تقل درجة الحرارة الحرجة - التى تحدث عندها أضرار البرودة - قليلا فى خضروات هذه المجموعة مقارنة بخضروات المجموعة السابقة ، وهى تتراوح - عادة - بين حوالى ٣ و ٤ م (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 مصاحبة - عادةً - بزيادة فى معدل التنفس ، وإنتاج الإيثيلين ، والقابلية للإصابة بالأمراض ، وفى التغيرات المؤدية إلى الشيخوخة ،

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضرا بعد الحصاد

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

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

جدول (١٢ - ٤) : أضرار البرودة في الخضرا المختلفة ، وأقل درجة حرارة مأمونة يمكن أن تخزن عليها تلك الخضروات ، دون أن تتعرض لهذه الأضرار .

| أعراض أضرار البرودة | الحد الأدنى المأمون لدرجة الحرارة (م°) | الخضرا |
|--|---|-----------------------------------|
| russeting ونقر pitting وصدأ | ٧ | الفاصوليا الخضراء |
| decay ونقر وبقع مائية water-soaking وتحلل | ٧ | الخيار |
| انسحاق أو احتراق scald سطحي وعفن الترنارى | ٧ | الباذنجان القاوون |
| نقر وتحلل سطحي | ٧ - ١٠ | الشيكى |
| نقر وتحلل سطحي وعدم النضج | ٧ - ١٠ | شهد العسل - الكاسابا - الفارسي |
| نقر وطعم غير مستساغ | ٤ | البطيخ |
| اسوداد وظهور مناطق مائية وتحلل | ٧ | البامية |
| نقر وعفن الترنارى | ٧ | الفلفل الخلو |
| تكون لون بني ضارب للحمرة mahogany browning | ٣ | البطاطس |
| تحلل وعفن الترنارى | ١٠ | القرع العسلى وقرع الشتاء |
| تحلل ونقر وظهور لون داخلى أسود | ١٣ | البطاطا الطماطم : |
| ظهور مناطق مائية مع طراوة الثمار وتحللها | ٤ - ١٠ | الحمراء |
| عدم اكتمال اللون وعفن الترنارى | ١٣ | الخضراء المكتملة النمو |

وتكون الأعراض الخارجية لأضرار البرودة انعكاساً 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 الكهربائي لراشحات الأنسجة tissue leachates المتأثرة بالبرودة كدليل على مقدار الضرر الذي حدث بالأغشية الخلوية ؛ حيث تؤدي زيادة الأضرار بالأغشية إلى زيادة الراشحات ؛ ومن ثم زيادة قدرتها على التوصيل الكهربائي .

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

وسائل الحد من أضرار البرودة

حاول الباحثون جعل المنتجات البستانية الاستوائية وتحت الاستوائية أكثر تحملاً لأضرار البرودة ؛ حتى يمكن تخزينها في درجات حرارة أكثر انخفاضاً ؛ وبذا . . . تزداد فترة تخزينها . ومن أهم الوسائل التي اتبعت لتحقيق هذا الهدف ما يلي :

التعرض لحرارة منخفضة

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

ويتم التعريض - السابق للتخزين - للحرارة المنخفضة إما مرة واحدة ، وإما بصورة تدريجية وهي الطريقة الأفضل . فمثلاً . . . أظهرت ثمار الباذنجان التي عوملت بحرارة ١٥م لمدة يومين ، ثم بحرارة ١٠م لمدة يوم واحد نقرًا أقل بعد تخزينها على ٦,٥م عن تلك التي لم تعامل - قبل تخزينها - إلا بحرارة ١٥م لمدة يومين .

وقد تبين أن المعاملة بالحرارة المنخفضة قبل التخزين البارد صاحبته زيادة في مستويات الليبيدات الفوسفاتية في الأغشية الخلوية ، وفي درجة عدم

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد ———
التشبع للأحماض الدهنية التي توجد بالأغشية ، وتثبيط للزيادة التي يسببها التخزين
البارد في نسبة الاستيرول إلى الليبيدات الفوسفاتية ، وزيادة في البولى أمين
والألدهيدات ذات السلاسل الطويلة . وربما تؤدي جميع هذه التغيرات إلى خفض
أضرار البرودة .

التعرض لحرارة مرتفعة

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

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

كما أدى تعرض ثمار الطماطم لحرارة ٣٨م - لمدة ثلاثة أيام قبل تخزينها - إلى
المكافحة الكاملة للفطر *Botrytis cinerea* الذي يصيب الثمار بالعفن والتحلل أثناء
تخزينها (Fallik وآخرون ١٩٩٣) .

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

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

فى خفض أضرار البرودة من تعريضها - قبل التخزين - لحرارة عالية مقدارها ٣٨م 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 ٤٥م لمدة ١٤ دقيقة أدى إلى تأخير اصفرارها - على حرارة ٢٠م - لمدة ٢ - ٣ أيام . كما أدت المعاملة - كذلك - 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 ٥٠م لمدة دقيقتين كان أفضل معاملة لتأخير الاصفرار والتحلل، مع تجنب ظهور الروائح غير المرغوبة ، والفقد فى الوزن .

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

التدفئة المتقطعة

التدفئة المتقطعة intermittent warming هى تعريض المنتجات المخزنة فى حرارة منخفضة - لفترة واحدة أو أكثر من فترة - 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 أمراً حيوياً ، ومن الأهمية بمكان التعرف على بدايات حدوث أضرار البرودة .

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

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

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضار بعد الحصاد —————

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

ومن بين النظريات الافتراضية التي 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 التي تتراكم خلال فترة التعريض للبرودة ؛ بتحويلها إلى مركبات غير ضارة . كذلك قد تسمح تدفئة الأنسجة لفترات قصيرة بمعالجة الأضرار التي تحدث للأغشية الخلوية ، وعضيات الخلية ، والمسارات الأيضية خلال فترة التعريض للبرودة . كما قد تفيد التدفئة فى إعادة توفير المركبات التي تستنفذ أو التي لا يمكن تمثيلها خلال معاملة البرودة . وقد تلعب تلك التغيرات الحرارية الفجائية (من البرودة إلى الدفء ثم إلى البرودة) دوراً فى زيادة تمثيل الأحماض الدهنية غير المشبعة ؛ الأمر الذى يجعل الأغشية الخلوية أكثر مرونة ، ويزيد من تحملها للحرارة المنخفضة (عن Wang ١٩٩٤) .

التخزين فى الجو المعدل

لا يكون للتخزين فى الجو المعدل تأثير متساو 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 التي 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 : 2-(2-(2,4-dichlorophenyl)-2- (1-propenyloxyethyl) -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 في الزبدية والبامية .

وتعمل بنزوات الصوديوم والإيثوكسى كوين على منع حدوث الأكسدة-peroxida- tion في الأحماض الدهنية غير المشبعة في 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 في البرتقال والجريب فروت .

وتمنع الزيوت المعدنية وزيت القرطم التغيرات في اللون التى تحدث تحت القشرة في 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 النمر

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 كوناازول uniconazole ، والترايادميفون triadimefon) على حماية المركبات التى

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد —————

توجد في الأغشية الخلوية من أضرار الأكسدة ؛ وبذا . . فإنها تزيد من مقاومة النباتات - وخاصة العشبية منها - 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 ١٩٩٤) .

وقد أوضحت دراسات Lurie وآخرين (١٩٩٥) أن معاملة نباتات الفلفل الحلو قبل الحصاد بأى من منظمات النمو : بـكلوبترازول ، ويونى كوناـزول ، ومغليودايد mefluidide أدت إلى حماية الثمار - الخضراء والحمراء - من التعرض لأضرار الصقيع عندما خزنت على حرارة ٢م لمدة ٢٨ يوماً .

أضرار الإيثيلين

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

معدل إنتاج الخضر والفاكهة للإيثيلين

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

ومن أهم العوامل التي تؤدي إلى زيادة معدلات إنتاج المنتجات البستانية لغاز الإيثيلين ما يلي :

- ١ - وصول الثمار إلى مرحلة النضج .
- ٢ - الأضرار الميكانيكية .
- ٣ - الإصابات المرضية .
- ٤ - ارتفاع درجة الحرارة حتى ٣٠م .

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

| المنتج | معدل إنتاج غاز الإيثيلين (ميكروليتر / كجم / ساعة) |
|--|--|
| الكرز - الموالح - العنب - الفراولة - الخضر الورقية - الخضر الجذرية - البطاطس | ٠,١ - ٠,١ |
| البلوبري - الخيار - البامية - الأناناس - الفلفل | ١,٠ - ١,٠ |
| الموز - التين - شهد العسل - المانجو - الطماطم | ١٠ - ١ |
| التفاح - الأفوكادو - الكانتالوب - النكتارين - البابا - المشمش - الكيوي - الخوخ - الكمثرى - البرقوق | ١٠٠ - ١٠ |
| السابوتة - ال Passion fruit | ١٠٠ < |

الأضرار التي يحدثها غاز الإيثيلين

إن أهم الأضرار التي 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 .

ويؤدي وجود الثمار ذات المعدلات المرتفعة في إنتاج الغاز مثل : التفاح ، والكمثرى ، والبرقوق ، والأفوكادو ، والقاوون الشبكي ، والبابا ، والخوخ ، بجانب الخضر الحساسة للغاز إلى حدوث أضرار كثيرة .

ويمكن إيجاز أهم الأضرار التي يحدثها غاز الإيثيلين فيما يلي :

١ - فقدان اللون الأخضر :

فالإيثيلين يسرع من تحلل الكلوروفيل ، ويؤدي إلى اصفرار الأنسجة الخضراء ؛ فتتخفف بذلك صفات الجودة في الخضر الورقية ، وفي الثمار الخضراء الأخرى ، كالبروكولي ، والخرشوف . ومن أمثلة ذلك ما يلي :

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد —

أ - أدى تعرض الكرنب لـ ١٠ - ١٠٠ جزء في المليون من الإيثيلين أثناء التخزين في حرارة ٢٠م لمدة خمسة أسابيع إلى فقدان اللون الأخضر وسقوط الأوراق . وتعتبر بعض أصناف الكرنب أكثر حساسية في هذا الشأن ؛ حيث تفقد اللون الأخضر في تركيزات أقل من الإيثيلين تقدر بحوالى ١ - ٥ أجزاء في المليون .

ب - أدى تركيز ٤ أجزاء في المليون من الغاز إلى زيادة الاصفرار ومعدل التدهور في كرنب بروكسل ، والبروكولى ، والقنبيط في درجة حرارة ٢٠م .

ج - لوحظ أن ثمار الكوسة المعرضة لتركيز ٥ أجزاء في المليون من الغاز في درجة حرارة ١٥ - ٢٠م قد فقدت لونها الأخضر .

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

٢ - انفصال الأوراق والأعضاء النباتية الأخرى Abscission :

يؤدى التعرض للإيثيلين إلى انفصال الأوراق وسقوطها في الكرنب ، وكرنب بروكسل ، والقنبيط ، والخضر الورقية ، وانفصال البراعم في البروكولى ، وانفصال أوراق الكأس في الباذنجان . فمثلا . . أدى تعرض ثمار الباذنجان لغاز الإيثيلين بتركيز ١ - ١٠ أجزاء في 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 يلي :

أ - أدى تعرض ثمار البطيخ للإيثيلين بتركيز ٥ - ٦٠ جزءاً في المليون إلى فقدان الثمار لصلابتها ، ونقص سمك قشرة الثمرة ، وتهتك أنسجتها . وقد صاحب ذلك زيادة في نشاط الإنزيمات التالية على الترتيب : peroxidase ، و polyphenol oxidase ، و esterase ، و cellulase ، و pectinase .

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

ج - أدى تعرض مهاميز الهليون لتركيز ١٠٠ جزء في المليون من الإيثيلين لمدة ساعة إلى زيادة صلابتها ، وكان ذلك مصحوباً بزيادة فى نشاط إنزيم البيروكسيداز 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 يؤدي أيضاً 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 جزء فى المليون .

٥ - تبرعم البطاطس :

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

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 و ٠ جزء فى المليون لظهور هذا العيب الفسيولوجى بصورة كبيرة أثناء الشحن العادى فى حرارة ٥م 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 أضرار غاز الإيثيلين

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

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد

- ١ - إزالة الغاز من المخازن أولاً بالتهوية الجيدة .
- ٢ - تجنب مصادر الغاز التي من أهمها :
 - أ - الجمرات والآلات التي تعمل بالوقود : فيجب عدم تركها دائرة في المخازن دون استعمال . ويفضل استخدام الرافعات fork lifts التي تعمل بالكهرباء .
 - ب - إزالة الثمار الزائدة النضج أولاً بأول .
 - ج - إزالة الثمار المجروحة .
 - د - عدم ترك الثمار المنتجة للإيثيلين مع الثمار الأخرى الأقل إنتاجاً للغاز . ويستفاد في هذا الشأن من جدول (١٢ - ٦) الذي 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 الفيروميكوليت ، والسيليكاجل ، والبرليت ؛ حيث تتحول البرمنجنات بواسطة الغاز من صورة MnO_4^- ذات اللون القرمزي إلى الصورة MnO_2 ذات اللون البنى (Sherman ١٩٨٥) .

العلاقة بين أضرار البرودة وإنتاج الإيثيلين

في محاولة لدراسة العلاقة بين أضرار البرودة وإنتاج الإيثيلين في الثمار الحساسة للحرارة المنخفضة . . وُجد أن تعريض ثمار الخيار لحرارة $٢,٥^{\circ}C$ أسرع من تمثيل مركب ACC 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid ، وهو الذي يتحول إنزيمياً إلى إيثيلين ، وذلك مقارنة بالثمار التي خزنت على حرارة $١٣^{\circ}C$. وحدث أعلى تمثيل للإيثيلين بعد أربعة أيام من التعريض للحرارة المنخفضة ، ثم توقف في اليوم السادس . أما الـ ACC فقد وصل إلى أعلى مستوى له في اليوم السابع بعد معاملة البرودة ، ثم تدنى إلى مستوى منخفض بعد اليوم التاسع .

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

تكنولوجيا إنتاج الخضر

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 | ٩٥ - ٩٠ | الكمثرى - التفاح - المشمش - الخوخ - النكتارين - البرقوق - الفراولة - التين - البلح - العنب (غير المعامل بغاز ثنائي أكسيد الكبريت) . |
| ٢ | صفر - ١ | ٩٥ - ٩٠ | الخرشوف - الجزر - البنجر - الفجل - اللفت - البصل الأخضر - الخس - السبانخ - البقدونس - الكرفس - الكرات - الكرنب - القرنبيط - البسلة - الفول الأخضر . |
| ٣ | صفر - ١ | ٧٠ - ٦٥ | البصل الجاف - الثوم الجاف . |
| ٤ | ٥ - ٨ | ٩٠ - ٨٥ | البرتقال - اليوسفي - الرمان - الزيتون - القاون . |
| ٥ | ٧ - ٨ | ٩٥ - ٩٠ | الفاصوليا - اللوبيا - الخيار - القثاء - قرع الكوسة - البطاطس . |
| ٦ | ١٠ - ١٢ | ٩٥ - ٩٠ | الأفوكادو (الزبدية) - الجوافة - الطماطم المكتملة النضج - الفلفل - الباذنجان - البامية - البطيخ - الشمام - كيزان العسل . |
| ٧ | ١٢ - ١٤ | ٩٠ - ٨٥ | الموز - المانجو - الباباؤ - القشطة - الجريب فروت - الليمون الأضاليا - الليمون البلدي المالح - الطماطم (مكتملة التكوين خضراء) . |
| ٨ | ١٢ - ١٤ | ٩٠ - ٨٥ | البطاطا - القلقاس . |

بالارتفاع ، أم بالانخفاض) تثبط من تمثيل الإيثيلين من خلال تثبيطها لنشاط الإنزيمات المسؤولة عن تكويبه .

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد —————

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

تنفس منتجات الخضر بعد الحصاد

يمكن إرجاع غالبية التغيرات التي تطرأ على الخضروات بعد الحصاد إلى تنفس أنسجتها ، وما يصاحب ذلك من نشاط إنزيمي 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 يلي (عن Kader وآخرين ١٩٨٥) :

| الخضر | معدل التنفس عند ٢٠°م (مجم CO ₂ /كجم / ساعة) | المجموعة |
|---|---|----------------------|
| الخضر المجففة (ومن الفاكهة التمر والنقل) | > ٥ | التنفس منخفض جدا |
| البصل والبطاطس | ١٠ - ٥ | التنفس منخفض |
| الكرونب ، الجزر ، الخس ، والفلفل ، والطماطم ، | ٢٠ - ١٠ | التنفس متوسط |
| والقراولة ، والقنبيط ، وفاصوليا الليما | ٤٠ - ٢٠ | التنفس مرتفع |
| الخرشوف ، والفاصوليا ، وكرونب بروكسل | ٦٠ - ٤٠ | التنفس مرتفع جدا |
| الهليون ، والبروكولي ، وعيش الغراب ، والبسلة ، والسيانخ ، والذرة السكرية | ٦٠ < | التنفس شديد الارتفاع |

ويلاحظ من التقسيم السابق لمعدل التنفس في محاصيل الخضر أنه ينخفض كلما ازدادت درجة نضج الأنسجة في الأعضاء النباتية التي يتم حصادها ، سواء أكانت جذورا ، أم سيقاناً ، أم أوراقاً ، أم أزهاراً ، أم بذورا (عن Snowdon ١٩٩٠) .

تأثير درجة الحرارة على معدل تنفس وتدهور الخضـر أثناء التخزين

يكون تنفس الخضروات أقل ما يمكن في درجة الحرارة الأعلى من درجة التجمد مباشرة، ثم يزيد معدل التنفس بمقدار ٢ - ٣ أضعاف فيما بين الصفر المئوي و١٠م ، وبمقدار الضعف مع كل زيادة في درجة الحرارة بعد ذلك مقدارها ١٠ درجات مئوية فيما بين ١٠ و٣٥م ؛ أي تخضع الزيادة في معدل التنفس مع ارتفاع درجة الحرارة في هذا المدى لقانون فانت هوف Van't Hoff .

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

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

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

(أ) : التقدير على أساس الوقت اللازم مروره : ١ - لوصول المنتج إلى حالة غير صالحة للبيع ، و ٢ - لفقد المنتج لـ ٣٠٪ من السكر الموجود به ابتداء ، و ٣ - لحدوث زيادة مقدارها ٥٠٪ في نسبة الألياف .

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد

وتباين قيمة Q_{10} بتغير درجة الحرارة في عديد من العمليات البيولوجية ، بما في ذلك التنفس (جدول ١٢ - ٦) ، وهي تتراوح بالنسبة للتنفس - عادة - بين ١,٠ و ٥,٠ ، وتكون أعلى ما يمكن بين صفر ، و ١٠م .

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

هذا . . ولا يعنى ارتفاع معدل التنفس الابتدائي لمحصول ما أنه بالضرورة ذو Q_{10} مرتفعة ، والعكس - كذلك - صحيح .

ويبين في 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 اليومي .

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

| الغير في الحرارة (م°) | Q_{10} المفترضة ^(١) | سرعة التدهور النسبية | فترة التخزين النسبية | الفقد اليومي (%) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| 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 |

(١) : $Q_{10} = (\text{معدل التدهور عند حرارة } T + ١٠م) / (\text{معدل التدهور عند حرارة } T م)$.

وتقسم الخضروات حسب معدل تنفسها في مختلف درجات الحرارة كما يلي :

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

٢ - خضروات ذات معدل تنفس متوسط (١٠ - ٢٠ مجم CO₂ / كجم / ساعة عند ١٠م ، أو ٤٠ - ٨٠ مجم CO₂ / كجم / ساعة عند ٢٠م) وتشمل : الفلفل ، والجزر ، والطماطم ، والباذنجان .

٣ - خضروات ذات معدل تنفس عال (٢٠ - ٤٠ مجم CO₂ / كجم / ساعة عند ١٠م ، أو ٨٠ - ١٢٠ مجم CO₂ / كجم / ساعة عند ٢٠م) ، وتشمل : الفجل .

٤ - خضروات ذات معدل تنفس عال جدا (أكثر من ٤٠ مجم CO₂ / كجم / ساعة عند ١٠م أو ١٢٠ مجم CO₂ / كجم / ساعة عند ٢٠م) ، وتشمل : البصل الأخضر ، والقنبيط ، والبسلة ، والشبت ، والبقدونس ، والقاوون ، والبامية ، وعيش الغراب (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤ أ) .

تأثير الأكسجين على معدل التنفس

يؤدي خفض نسبة الأكسجين وزيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في جو المخزن إلى خفض معدل التنفس في الخضر المخزنة ، ويسمى ذلك الإجراء بـ « التخزين في الجو المعدل Modified Atmosphere » . ويحتوى الجو المعدل عادة على ٣ - ٥ ٪ أكسجيناً ، ونحو ٥ ٪ ثاني أكسيد الكربون .

ويلزم دائماً توفر كمية كافية من الأكسجين ؛ حتى يستمر التنفس هوائياً وينطلق الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون ؛ لأن غياب الأكسجين يجعل التنفس لا هوائياً ، ويتكون الكحول ، وحامض الخليك ، وثاني أكسيد الكربون . والكحول ضار بالأنسجة النباتية ، ويؤدي إلى موت الخلايا . كما أن المركبات الوسطية الأخرى التى تتكون أثناء عملية التنفس اللاهوائى هذه ضارة أيضاً . فدرنات البطاطس يتكون بها التيروزين tyrosine المستول عن اللون الأسود فى الدرنات المصابة بحالة القلب الأسود ، وتتكون بالكربن 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

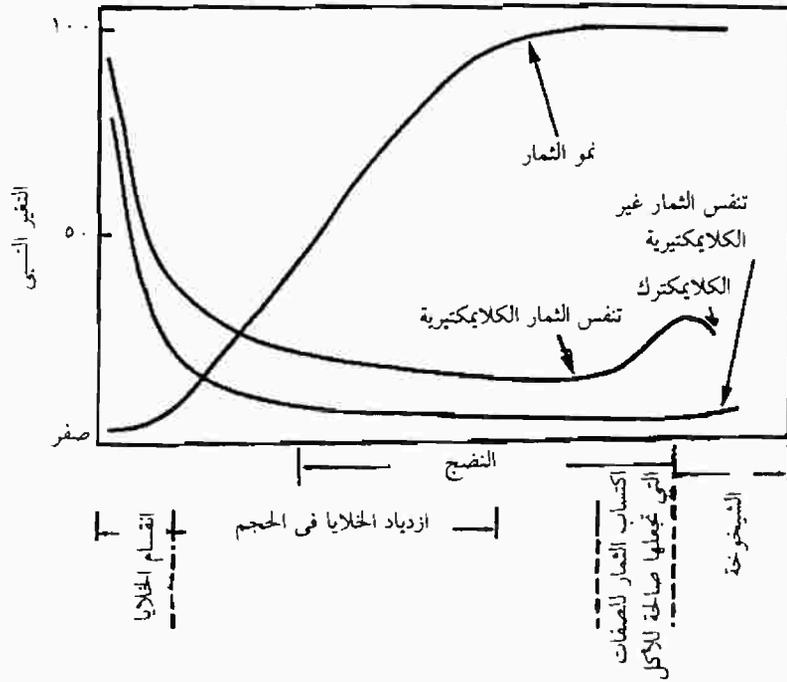
اكتشف Kidd & West ظاهرة الكلايمكترك Climacteric أثناء دراستهما للتغيرات في معدل تنفس ثمار التفاح عند نضجها ؛ فقد لاحظا أن ثمار التفاح تمر بثلاث مراحل كالتالي :

- ١ - في المرحلة الأولى يحدث انخفاض طفيف في معدل التنفس ، يستمر - تدريجيا - مع كبر حجم الثمار ، حتى تصل إلى أكبر حجم لها . ويطلق على هذه المرحلة اسم « ما قبل الكلايمكترك Preclimacteric Stage » .
- ٢ - تبدأ المرحلة الثانية بعد وصل الثمار إلى أكبر حجم لها ، وتستمر أثناء نضجها . ويحدث أثناءها ارتفاع حاد في معدل التنفس يصل إلى أقصاه عند اكتمال نضج الثمار . ويطلق على هذه المرحلة اسم « الكلايمكترك » ، أو « ذرة التنفس Climacteric Stage » (شكل ١٢ - ٢) .

وتقسم الثمار حسب التغيرات التي تلاحظ في معدل التنفس بها بعد القطف إلى قسمين :

- ١ - ثمار تحدث فيها ظاهرة الكلايمكترك ، وتسمى الثمار الكلايمكترية Climacteric Fruits ، ومن أمثلتها : التفاح ، والتين ، والكمثرى ، والمشمش ، والخوخ ، والبرقوق ، والزبدية ، والمأنجو ، والموز ، والباباظ ، والسابوتا ، والبشملة ، والطماطم ، والقاوون - خاصة الكانتلوب ، وكيزان العسل - والبطيخ .
- ٢ - ثمار غير كلايمكترية Non-Climacteric fruits : لا يلاحظ بها تغيرات كبيرة في معدل التنفس بعد القطف . ومن أمثلتها : الكريز ، والزيتون ، والعنب ، والموالح ، والأناناس ، والفراولة ، والخيار ، والفلفل ، والبادنجان (شكل ١٢ - ١) .

وبرغم صحة هذا التقسيم من حيث التغيرات الملاحظة في معدل التنفس بعد القطف ، إلا أنه يمكن القول بأن ظاهرة الكلايمكترك تحدث في جميع الثمار اللحمية إذا قطف بعد اكتمال نموها مباشرة ، لكن ما يحدث هو أن بعض الثمار - كالخيار ، والكوسة ، والبادنجان - 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 ،

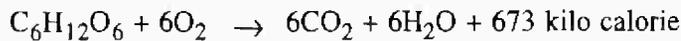


شكل (١٢ - ١) : طرز نمو وتنفس الثمار أثناء تطورها (عن Wills وآخرين ١٩٨١).

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

انطلاق الطاقة أثناء عملية التنفس

يصاحب التنفس انطلاق طاقة كبيرة حسب المعادلة التالية :



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

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد

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

طريقة حساب الطاقة المنطلقة

تتوقف احتياجات التبريد في المخازن على كمية الطاقة المنطلقة من الخضر المخزنة أثناء تنفسها . وتحسب كمية الطاقة المنطلقة يوميا بضرب معدل التنفس (في صورة ملليجرامات CO₂ / كجم / ساعة) في ٢٢٠ . وقد حصل على هذا العامل بضرب ٢,٥٥ جم كالورى (من الحرارة التي تنطلق مع كل ملليجرام من CO₂ المنتج عند تأكسد سكر سداسى) في ٨٦,٣ . وهذا العامل (٨٦,٣) هو ناتج تحويل سعرات حرارية / كجم / ساعة إلى Btu / طن / يوم .

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

تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر

يبين جدول (١٢ - ٩) كمية الطاقة التي تنطلق من مختلف الخضروات عند تخزينها في درجات حرارة مختلفة . وكما أسلفنا . . . فإن كمية الطاقة المنطلقة تتحدد بكل من معدل التنفس الابتدائي للمنتج ، والـ Q₁₀ المحسوبة لتنفسه في مختلف درجات الحرارة . ويستفاد من تلك البيانات في حساب احتياجات التبريد للخضر المخزنة .

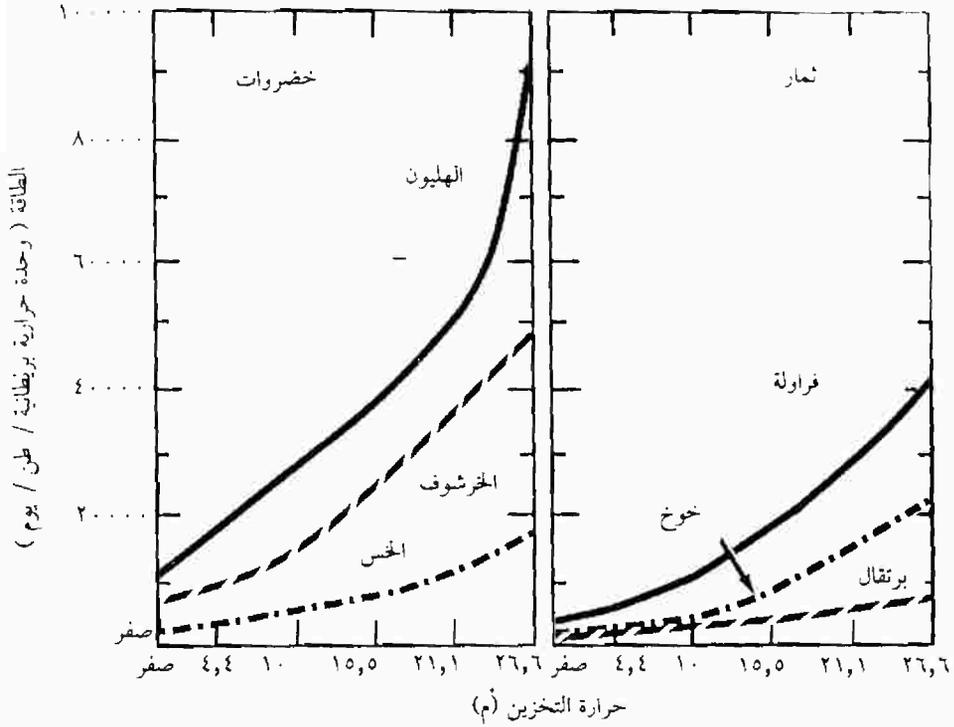
ويوضح شكل (١٢ - ٢) تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة - نتيجة للتنفس - في بعض الخضر والفاكهة .

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

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

(يتبع)

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



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

تأثير مدة التخزين على معدل انطلاق الطاقة من مختلف الخضر

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

التغيرات الفسيولوجية التي تطرأ على محاصيل الخضر بعد الحصاد —————
 جدول (١٢ - ١٠) : تأثير مدة التخزين على الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر في درجات الحرارة المختلفة .

| الخضرة ومدة التخزين باليوم | كمية الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية / طن / يوم) في حرارة (م°) | | | | | |
|----------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | صفر | ٢,٢ | ٥ | ١٠ | ١٥ | ٢٠ |
| الهلون | | | | | | |
| 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 | - | - |
| خمس 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 |