٣- التبريد فى عربات الشحن المبردة: يناسب البطاطس التى تشحن فى الجو الحار.
٤- التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء: يناسب البطاطس والبصل.

ثالثًا: الخضر الثمرية

تضم هذه المجموعة ما يلى:

١- الخضر ذات الثمار غير المكتملة التكوين: البقوليات (فاصوليا الليما، والفاصوليا العادية الخضراء، والبسلة الخضراء، واللوبيا الخضراء)، والخيار، والكوسة، والباذنجان، والفلفل، والبامية، والذرة السكرية.

٢- الخضر ذات الثمار المكتملة التكوين: القاوون، والبطيخ، والقرع العسلى، وقرع الشتاء، والطماطم، والفراولة.

وتتبع مع هذه الخضروات طرق التبريد الأولى التالية:

١- التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء: يناسب القاوون، والبسلة، والفلفل، والكوسة، والطماطم.

٢- التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء مع بل المُنتَج Forced-air Evaporative Cooling: يستعمل بدرجة محدودة مع الكوسة، والفلفل، والباذنجان، والطماطم الكريزية.

٣- التبريد المائى:

يستعمل قبل التدريج والتعبئة فى تبريد القاوون، والذرة السكرية. ويجرى الفرز قبل فترة التبريد الأولى وبعدها، والتى نادرًا ما تكفى لتبريد المنتج إلى درجة الحرارة المطلوبة.

٤- التبريد بالثلج: يستعمل بدرجة محدودة مع القاوون، كتبريد إضافى للذرة السكرية المعبأة (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

التغيرات الفسيولوجية التالية للحصاد

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 موروفولوجية، 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 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 – عادة – 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 بالإثيلين لاستكمال النضج بعد الحصاد.

٢– يعتبر تبييض الكرفس من التغيرات المرغوبة التى تحتاج هى الأخرى إلى المعاملة بالإثيلين.

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- فقد الكلوروفيل — أى فقدان اللون الأخضر — فى الخضر التى تؤكل خضراء؛ كالخضر الورقية، والخيار، والفاصوليا، والبسلة الخضراء وغيرها.

٢- تكوّن 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 بنيًّا داكنًا، بدلاً 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 — كالبسلة، والذرة السكرية — 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.

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، وتخزينه فى درجات حرارة منخفضة، كما يفيد التخزين فى الجو المعدل الذى تقل فيه نسبه الأكسجين فى تقليل أكسدة الفيتامينات.

وقد وجد لدى مقارنة بعض خصائص الجودة فى ثمار الطماطم التى تكمل نضجها على النبات بتلك التى تكمله فى المخزن بعد الحصاد على ١٥ أو ٣٠°م أن اللون كان أفضل فى حالتى النضج على النبات وفى المخزن على ١٥°م، مقارنة باللون فى المخزن على ٣٠°م. وقد أثرت حرارة التخزين العالية إيجابيًّا على محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك، وسلبيًّا على محتواها من الليكوبين، بينما لم يتأثر محتوى الثمار من الفينولات الكلية بظروف النضج (Pék وآخرون ٢٠١٠).

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 الأسبرجس 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 تدريجيًّا بعد ذلك.

ومن البديهى 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 فقدًا رطوبيًّا تصل نسبته إلى ١٠٪ من وزن الرؤوس، لكنها تحتاج — حينئذٍ — إلى بعض التقليم والتهذيب قبل عرضها فى الأسواق، ويوضح جدول (٢١-٣) معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (حرارة ٢٧°م، ورطوبة نسبية ٦٠٪).

كما يبين جدول (٢١-٤) الحد الأقصى للفقد الرطوبى فى محاصيل الخضر، والتى يصبح بعدها المنتج غير صالح للتسويق.

جدول (٢١-٣): معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخـــزين غير مناسبة (حرارة ٢٧ °م، ورطوبة نسبية ٦٠٪) (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

الخضر	معدل الفقد اليومى (٪)
الأسبرجس	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

جدول (٢١-٤): الحد الأقصى الممكن للفقد الرطوبى من محاصيل الخضر، والتى يصـــبح بعدها المنتج غير صالح للتسويق (Ben-Yehoshua & Radov ٢٠٠٣).

المحصول	الحد الأقصى الممكن للفقد الرطوبى (٪)
الأسبرجس	٨
الفول الرومى	٦
فاصوليا ملتى فلورا (المدادة)	٥
البنجر (جذور)	٧
البنجر (بالأوراق)	٥
كرنب بروكسل	٨
الكرنب	٧
الجزر (جذور)	٨
الجزر (بالأوراق)	٤
القنبيط	٧
الكرفس	١٠
الخيار	٥
الكرات أبو شوشة	٧

تابع جدول (٢١-٤).

المحصول	الحد الأقصى الممكن للفقد الرطوبى (٪)
الخس	٣
البصل (الأبصال)	١٠
الجزر الأبيض	٧
البطاطس	٧
البسلة	٥
الفلفل الأخضر	٧
السبانخ	٣
البروكولى	٤
الفراولة	٦
الذرة السكرية	٧
الطماطم	٧

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

وتعتبر الرطوبة النسبية فى المخازن أهم العوامل المتحكمة فى الفقد الرطوبى؛ لأن الرطوبة النسبية فى المسافات البينية لأنسجة معظم الخضروات تبلغ ٩٩٪ على الأقل؛ ويعنى ذلك استمرار فقدها للرطوبة، 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 deficit".

ويحدث معظم الفقد فى الرطوبة أثناء مراحل التبريد الأولى؛ حيث يكون الفرق فى ضغط بخار الماء كبيرًا، ويقل — تدريجيًّا — مع انخفاض درجة الحرارة. ويعطى جدول (٢١-٥) أمثلة تبين أهمية كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء؛ وبالتالى على الفقد الرطوبى من الخضر المخزنة.

جدول (٢١-٥): أهمية درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء؛ وبالتالى على الفقد الرطوبى فى الخضر المخزنة (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

المحصول	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		١٤,٨
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

التلوث الميكروبى

يحدث التلوث الميكروبى - الممرض للإنسان - للخضر من خلال ثلاثة مصادر رئيسية، هى: التربة، والبراز (الغائط)، والعمال القائمين بعمليات التداول. ومن بين أكثر الميكروبات الممرضة التى تحمل فى التربة، والتى غالبًا ما تتلوث بها الخضر التى تلامس التربة، كلاً من: *Bacillus cereus*، و *Clostridium botulinum*، و *Listeria monocytogenes*. كذلك فإن استخدام مخلفات الإنسان والحيوان - غير المعاملة - فى التسميد أو الرى يكون مصدرًا لكل من: *C. jejuni*، والـ enterotoxigenic *Escherichia*