الأسس النظرية للتخزين

الأسس البيولوجية

إن صلاحية محاصيل الخضر والفاكهة للتخزين الطويل تتحدد من خلال قابلية التخزين وإمكانية التخزين فيها .

قابلية التخزين : وهي صلاحية أصناف الخضر والفواكه لأن تخزن طيلة فترة محددة دون فقد يذكر بالوزن أو بالإصابة بالأحياء الدقيقة الممرضة أو مظاهر التدهور الفيزيولوجي وبدون تردي في مواصفاتها الغذائية والاستهلاكية النوعية. وهذا المؤشر الهام مرتبط بالطبيعة البيولوجية النباتية لأصناف الخضر والفواكه. ويعد مؤشر قابلية التخزين للأصناف ضمن مقاييس تقيم الجودة وأصبح يذكر كأحد المؤشرات الهامة أثناء توصيف الصنف مثل الإنتاجية والمقاومة للظروف البيئية غير الملائمة. والمناعة ضد الإصابة بالأمراض والحشرات وغيرها في الموصفات النوعية للصنف.

إن درجة قابلية التخزين يمكن أن يعبر عنها بطول فترة التخزين بالشروط المثالية إضافة لسيادة الظروف الملائمة المحيطة بالثمار خلال موسم النمو وعندما يتم إجراء كل المعاملات الزراعية المناسبة. وعندما لا تتجاوز النسبة العامة للفقد بالمحصول المخزن ١٠-١٥% مع احتفاظ الثمار بمواصفات الجودة . وتقسم محاصيل الخضر والفواكه حسب قابلية التخزين إلى عالية ومتوسطة ومنخفضة .

- **إمكانية التخزين :** وهي عبارة عن مدى ظهور قابلية تخزين أنواع وأصناف الثمار والخضار في ظروف الموسم نفسه وفي منطقة معينة ضمن مستوى محدد من المعاملات والخدمات الزراعية وعند إتباع نظام تخزيني محدد . ويمكن التعبير عنها كذلك بطول فترة التخزين ومقدار الفقد بالمنتجات ودرجة تغير مواصفات جودة الثمار خلال فترة التخزين .

يمكن الحصول ولدرجة محددة على تقييم المقدرة التخزينية لهذا الصنف عندما تتوافق أو تتقارب الظروف الجوية والبيئية المحيطة في موسم النمو بما فيها العمليات الزراعية والخدمة إضافة لإتباع طرق التخزين الملائمة . وعندما تتوافق نسبياً إمكانية التخزين مع المقدرة التخزينية لثمار الخضر والفاكهة فإن إمكانية التخزين تكون جيدة وتتقارب إمكانية التخزين مع المقدرة التخزينية للثمار في حال وجود ظروف بيئية وزراعية وتخزينية مناسبة ويمكن أن تتدنى إمكانية التخزين عند وجود الظروف غير الملائمة(ظروف الخدمة والعمليات الزراعية – الظروف البيئية والجوية – شروط ونظام التخزين) .

تشكل الخضار والفواكه مجموعة خاصة بالنسبة للاعتبارات التخزينية تتميز عن المنتجات الزراعية الأخرى بعدد من المؤشرات والمواصفات وذلك لارتفاع محتواها المائي ، ولذلك تسمى أحياناً منتجات زراعية غضة أو رطبة. وهذا يوضح :

١) ارتفاع شدة نشاطها الحيوي وعملية تبادل المواد فيها أثناء التخزين مقارنة بالمنتجات الزراعية الأخرى مثل الحبوب .

٢) ارتفاع شدة فقد الرطوبة منها بالتبخر خاصة مع انخفاض الرطوبة النسبية في جو التخزين وبسبب ضعف مقاومة أنسجة الطبقات السطحية .

٣) ضعف مناعتها نسبياً للإصابة بالأحياء الدقيقة المسببة للأمراض حيث تشكل أنسجة الخضر والفواكه وسطاً ملائماً لنموها ونشاطها ولذلك تعتبر عمليات تخزين الخضار والفواكه من المهام الصعبة والتي تتطلب تأمين شروط خاصة أثناء التخزين إضافة لتأمين الأجهزة والتقنيات وإنشاء النماذج الملائمة من مخازن التبريد .

وبحسب قابلية الخضر والفاكهة للتخزين يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات :

١ – مجموعة الخضار ثنائية الحول بما فيها البطاطا .

٢ – مجموعة الثمار بما فيها الخضار الثمرية .

٣ – مجموعة الخضار الورقية والأعناب وثمار اللوزيات .

١ – قابلية الخضار والبطاطا للتخزين :

إن الجزء المستخدم بالتغذية في هذه المجموعة هو عبارة العضو الادخاري من النبات والتي تتراكم فيه المواد الغذائية الادخارية والمهمة في حياة النبات وفي تغذية الإنسان لذلك تشكل الجزء الذي يتم تخزينه مثل : درنات البطاطا – أبصال البصل والثوم – جذور اللفت والشوندر والجزر والفجل – رؤوس الملفوف وغيرها من الأجزاء النباتية الحاملة لبراعم النبات . وفي موسم النمو الثاني تتشكل من براعم النمو الموجودة في الخضار البذرية الثنائية الحول بذور النبات وبالتالي مرحلة تخزين الأجزاء الادخارية للخضار الثنائية الحول تقع كمرحلة توقف النمو بين مراحل نمو وتطور النبات إلا أن هذه الأجزاء الادخارية تكون مهيأة لأن تبقى حية وتتحمل ظروف الموسم غير الملائمة إن كان بالحقل أو بالتخزين أو الأوساط الجافة .

وبالتالي إن طبيعة مرحلة تخزين الأعضاء الادخارية في الخضار ثنائية الحول والتي تعتبر مرحلة عدم نمو ومعيقة لتطور النبات هي التي تحدد القدرة التخزينية للمحصول . وهكذا خلال مرحلة التخزين تكون البراعم الموجودة في الأجزاء الادخارية المخزنة في حالة سكون طبيعي إلا أنه خلال فترة التخزين هذه تستمر بعض العمليات الفيزيولوجية والتي بالنهاية تبدأ عندها مرحلة تهيئة البراعم للإنبات . وهذه المرحلة تتشكل وتتم ببطء نسبياً إلا أنه عندما تصبح البراعم جاهزة

ومهيأة ويبدأ إنبات البراعم عندها تجري عمليات الإنبات بسرعة ويصعب السيطرة عليها وعملياً يكون المحصول قد فقد الكثير من مواصفات التسويقية والتخزينية. وإن طبيعة فترة السكون ليست واحدة عند مختلف الخضر والفاكهة .

– عند البطاطا والبصل يوجد فترة سكون طويلة وحتمية . فعندما تدخل الدرنات والأبصال فترة السكون فلا يمكن كسره حتى لو توفرت الظروف الملائمة للإنبات .

– عند الملفوف والأجزاء الجذرية يمكن كسر مرحلة السكون إذا توافرت الظروف المناسبة للنمو والإنبات إلا أن درجة حرارة التخزين المنخفضة تعتبر من الظروف غير المناسبة للبرعمة وبالتالي يمكن إعاقة حدوثه لفترة محددة أثناء التخزين ومن هنا نستنتج أن السكون عند مثل هذه المحاصيل ليس بالعميق كما في المجموعة الأولى . وبالنتيجة يمكن القول إن طبيعة مرحلة السكون وعمقها ودرجة حدوثها (ببدايتها أو بنهايتها ....) تشكل الأساس البيولوجي لتحديد القدرة التخزينية لمحاصيل الخضر ثنائية الحول . وبالتالي كلما كانت فترة السكون طويلة كلما كانت القدرة التخزينية أعلى .

ولا بد من الإشارة أن ظروف التخزين تساعد في إطالة فترة السكون كونها تبطئ من شدة العمليات الفيزيولوجية المختلفة وخاصة درجة الحرارة . كما أن ظروف التخزين والحرارة والرطوبة المنخفضة تعرقل وتؤخر حدوث الإنبات حتى لو انتهت فترة السكون الطبيعية . ولذلك عند تخزين الخضار يجب العمل على إتباع نظم وشروط التخزين المناسبة لمنع أو عرقلة عملية الإنبات وتعمل على استمرار طور السكون قدر الإمكان . بالإضافة إلى تخفيض النسبة المئوية للفقد بالوزن والفقد الناتج عن الإصابة بالأمراض . وذلك يمكن تحقيقه بانخفاض درجة الحرارة إلى حدودها الدنيا بحيث لا تسبب أضراراً فيزيولوجية للمادة المخزنة أو تسيء إلى مواصفاتها الاستهلاكية .

٢ – قابلية التخزين في ثمار التفاحيات والخضار الثمرية:

قبل وصول الثمار إلى حالة النضج بعد القطاف تبقى الثمار قابلة للتخزين إذا توافرت الظروف التخزينية المناسبة مع نسبة فقد منخفضة بالوزن وأقل قدر من التلف الناتج عن الإصابة بالأحياء الدقيقة والأمراض الفيزيولوجية . ومع نهاية النضج تتدهور حالة الثمرة بسرعة وتفقد مواصفاتها التسويقية وترتفع نسب الفقد فيها حتى لو خزنت في شروط تخزينية مثلى . لذلك فإن مرحلة تخزين ثمار الأنواع المهيأة للنضج بعد القطاف (الثمار الكلايمكتيرية) هي الفترة اللازمة لوصول الثمار إلى حالة النضج الكامل . وهذه الأنواع من الثمار تتميز بقابلية تخزين عالية مقارنة بتلك الثمار التي تكون فيها مرحلة النضج بعد القطاف قصيرة جداً أو غير موجودة نهائياً (الثمار غير الكلايمكتيرية والتي غير مؤهلة للنضج بعد القطاف) .

٣ – قابلية تخزين الخضار الورقية ، الأعناب ، الثمار اللوزية :

إن قابلية تخزين الخضر الورقية منخفضة كون الأوراق تشكل مسطح متسع للتبخر ولذلك تذبل هذه المنتجات بسرعة كبيرة إضافة لارتفاع شدة تنفسها ولا وجود لأي طبقة حماية على البشرة . أما الأعناب سطح التبخر فيها ليس بكبير إلا أن تكوين طبقة الحماية فيها ضعيف لا يقيها من التبخر وكذلك هذه الثمار طرية ولينة وتمتلك أنسجة لزجة وهشة إضافة إلى أن خاصية غرويات الخلية فيها على مسك وتثبيت الماء ضعيفة ولذلك تفقد الخلايا مائها بسرعة خاصة في ظروف الحرارة المرتفعة . وهذا ينطبق كذلك على ثمار اللوزيات كما أن هذه المجوعة تتميز بارتفاع شدة التنفس ولذلك نجد ارتفاع واضح في شدة تحولات المواد فيها كالحلمهة والتي تبدأ حتى في المرحلة الأولى من التخزين وبعدها تدخل الثمار في حالة تموت الأنسجة.

مما تقدم نستنتج أن المنتجات غير المهيأة للتخزين تتطلب ظروف تخزينية خاصة للمحافظة عليها من الفقد والتلف مثل : التغليف بأكياس من البولي إتيلين ضمن العبوات وتعبئة الأكياس بخليط غازي محدد التركيب ، تخفيض درجة حرارة الثمار بسرعة إلى درجة حرارة التخزين ومع ذلك تبقى إمكانية تخزين هذه الثمار حتى في الظروف المناسبة محدودة وإذا كان لابد من حفظها لفترة طويلة عندها يجب حفظها بطرق الحفظ الأخرى (تجميد – تعليب – تجفيف ... الخ) .

عوامل التخزين

إن المهمة الأساسية للتخزين هي تأمين الظروف التي تبطئ من سير العمليات الحيوية التي تحدث في الثمار والخضار مع المحافظة عليها في مستوى يضمن تأخير نضجها وتطورها وبالتالي تأخير شيخوختها دون انخفاض في جودتها ومواصفاتها الاستهلاكية. لذلك يتوقف نجاح التخزين على الشروط الموجودة في غرفة التخزين والتي نسميها عوامل التخزين، والتي يمكن تعريفها بالعناصر المناخية القابلة للتنظيم وهي : درجة الحرارة ، الرطوبة النسبية ، التركيب الغازي لهواء المخزن ، التهوية . ويمكن عن طريق التحكم بهذه العوامل تقليل الفقد الذي يحصل في ثمار الفاكهة والخضار المخزنة وبالتالي إطالة فترة تخزينها .

أولاً : درجة الحرارة :

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر في حدوث التغيرات الطبيعية أو الظاهرية في المحصول كونها تؤثر بشكل مباشر وكبير على الشدة التنفسية للثمار إضافة لتأثيرها على سرعة تبخر الماء في المنتجات . كما يمكن تنظيمها بشكل سهل وبسيط عن طريق أجهزة التبريد في الغرف المبردة . إن تنظيم درجة الحرارة في المخزن يعتبر العامل الأساسي للتخزين لأن درجة الحرارة هي الأساس التي تبنى عليه عمليات التخزين كونها أهم مؤثر في التغيرات المختلفة

التي تطرأ على المنتجات الطازجة . أما عوامل التخزين الأخرى تكون كعوامل مساعدة لدرجة الحرارة لأنها وبدون الحرارة لا يمكنها أن تطيل أو تحافظ على ثمار الخضر والفاكهة وتطيل تخزينها .

إن خفض درجة الحرارة يخفض من فعالية الأنزيمات المسؤولة عن التنفس وبالتالي تنخفض الشدة التنفسية بشكل ملحوظ . كما تخفض درجة الحرارة من نمو الأحياء الدقيقة وإمكانية انتشارها بشكل كبير وهذا بالنتيجة يؤدي إلى إطالة مدة تخزين الثمار . وعموماً يجب تخزين ثمار الفاكهة والخضار في درجات حرارة منخفضة . ولقد استطاع Streif عام ١٩٧٤ إيجاد علاقة خطية بين انخفاض درجة الحرارة ومدة تخزين ثمار التفاح . وقال إن انخفاض درجة الحرارة بمقدار (١) درجة كالفن يؤدي إلى زيادة مدة التخزين بمقدار عشرة أيام، أما Struclec عام ١٩٧٣ ذكر أن مدة التخزين عند ثمار التفاح يمكن تخفيضها بمقدار ستة أيام بارتفاع درجة حرارة التخزين بمقدار (١) درجة كالفن وذلك في المجال الحراري من (٤-٢٠م^{o}) .

إن فترة تخزين ثمار التفاح تزداد بشكل منتظم نوعاً ما كلما انخفضت درجة الحرارة حتى (٢-٣م^{o}) أما خفضها عن هذا الحد فيكون تأثيرها ذو فعالية محدودة في حين أن شدة العمليات الحيوية وبالتالي مسار النضج عند ثمار الإجاص ينخفض بشكل واضح عند انخفاض درجة الحرارة لأقل من(+٥م^{o}) . هذه الاختلافات يجب الأخذ بها أثناء التخزين ولذلك عند اختيار درجة حرارة التخزين يجب مراعاة عدة نقاط أهمها :

١ – **النوع والصنف** : تختلف الأنواع بالنسبة لدرجة الحرارة الملائمة للتخزين وكذلك تختلف الأصناف ضمن النوع الواحد . فمثلاً أغلب أصناف التفاح تخزن على درجة حرارة (+١ ... ٤) ولكن بعض الأصناف تتضرر على هذه الدرجة ويجب تخزينها على درجة حرارة (+٤... ٥) ويمكن تقسيم الثمار بالنسبة لدرجة حرارة التخزين إلى اربع مجموعات :

جدول رقم (١-٥) : الظروف الأساسية لتخزين الفاكهة والخضار

النوع	درجة حرارة التخزين (م ^{o})	رطوبة الهواء (%)	مدة التخزين
بطاطا	٢ – ٦	٨٥ – ٩٠	٥ – ٨ أشهر
ملفوف	– ١ ... صفر	٩٠ – ٩٦	٤ – ٧ أشهر
زهرة	صفر	٩٠ – ٩٥	٤ – ٦ أشهر
جزر	صفر	٩٠ – ٩٥	٧ – ٤ أشهر
شوندر	صفر	٩٠ – ٩٥	٣ – ٧ أشهر
لفت وفجل	صفر	٩٠ – ٩٥	١ – ٦ أشهر

بصل	– ٢ ... صفر	حتى ٨٠	٦ – ٨ أشهر
ثوم	–٢ ... صفر	٨٥ – ٩٠	٦ – ٨ أشهر
خيار	١٠	٩٠ – ٩٥	١ – ٢ أسبوع
يقطين	٨ – ١٠	٧٠ – ٩٠	٣ – ٦ أشهر
بطيخ أصفر	٢ – ١٠	٩٥ – ٩٠	١ – ٣ أشهر
بندورة	٢ – ١٢	٨٥ – ٩٥	١ – ٣ أسابيع
إجاص	–١ ... + ٥	٨٥ – ٩٥	٤ – ٦ أشهر
لوزيات	صفر	٩٠ – ٩٥	١ – ٣ أسابيع
تفاح	–١ ... + ٣	٨٥ – ٩٥	٤ – ٨ أشهر
ليمون	صفر ... + ١٠	٨٥ – ٩٠	١ – ٤ أشهر
برتقال	٢ – ٧	٨٥ – ٩٠	٢ – ٥ أشهر
مندرين	٤ – ٧	٨٥ – ٩٠	١ – ٤ أشهر
عنب	–١ ... صفر	٨٥ – ٩٠	١ – ٦ أشهر
خس	صفر	٩٠ – ٩٥	٢ – ٤ أسابيع

– المجموعة الأولى : وتخزن هذه المجموعة بشكل جيد على درجة حرارة أقل من الصفر المئوي قليلاً (–١ ... ٠) مثل البصل والثوم والملفوف والعنب .

– المجموعة الثانية : وتضم القسم الأكبر من الفاكهة والخضار وتخزن بشكل جيد على درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي أو أعلى قليلاً منه (٠ حتى +٢).

– المجموعة الثالثة : وتخزن ثمار هذه المجموعة بشكل جيد على درجة حرارة (٠– ٢–١٠م^{o}). وتضم البطاطا ، الخيار ، الفليفلة ، الحمضيات وبعض أصناف التفاح والإجاص والبندورة غير الناضجة .

المجموعة الرابعة : وتخزن ثمارها على درجة حرارة اعلى من ١٠مْ. وتضم الموز – الليمون الحامض – البندوره الخضراء.

٢ – **درجة نضج الثمار أثناء الجمع** : يتوقف اختيار درجة حرارة التخزين على درجة نضج الثمار أثناء الجمع :

آ – إذا جمعت الثمار في درجة النضج الفيزيولوجي :

تكون درجة حرارة التخزين عادة عند حدها الأدنى المسموح به للنوع والصنف .

ب – إذا جمعت الثمار وهي غير ناضجة تخزن على درجة حرارة مرتفعة نسبياً لكن ضمن الحدود المسموح بها للنوع والصنف حتى يتسنى لهذه الثمار أن تستمر فيها عمليات النضج

لاستكمال مواصفاتها الاستهلاكية وإذا خزنت بعض الثمار غير الناضجة عند درجة حرارة منخفضة فقد تفقد قدرتها على النضج . ويلاحظ ذلك عند تخزين البندورة الخضراء عند درجة حرارة (٤-٥م^{o}) .

٣ – الهدف من استخدام المنتجات المخزنة : عند تحديد درجة حرارة التخزين يجب الأخذ بعين الاعتبار الهدف من استعمال الثمار بعد التخزين كما يلي :

– إذا كان المطلوب تسويق كمية من التفاح في الفترة الأولى من التخزين في هذه الحالة يجب المحافظة على درجة حرارة مرتفعة نسبياً من أجل التعجيل في نضج الثمار بعد الجمع وبلوغها المواصفات الاستهلاكية الجيدة خلال فترة التخزين القصيرة .

– إذا كان المطلوب تخزين كمية من البطاطا من أجل تصنيعها ففي هذه الحالة يجب تخفيض نسبة السكر فيها (حتى لا تكون منتجات التصنيع رديئة) ولتحقيق ذلك ترفع درجة حرارة التخزين إلى ١٥م^{o} ولمدة ٢-٣ أسابيع قبل التصنيع .

٤ – يراعى أن بعض الأنواع وبعض الأصناف تظهر درجة حساسية عالية لانخفاض درجة الحرارة إلى المجال (٠- ١٠ م^{o}) تظهر هذه الحساسية وخاصة في الأنواع والأصناف ذات المنشأ المداري وشبه المداري : كالموز – الحمضيات – البندورة – البطاطا – بعض أصناف التفاح – الإجاص . عند تخزين هذه المنتجات في درجات الحرارة المنخفضة تظهر عليها أضرار البرودة والتي تبدو بشكل واضح بعد إخراج المنتجات من ظروف التبريد إلى ظروف التسويق العادية .

٥ – عدم السماح بتجميد أنسجة الثمار أثناء التخزين : حيث تقع نقطة تجمد أنسجة الثمار تحت الصفر المئوي بقليل وذلك حسب النوع والصنف وإذا خزنت الثمار عند نقطة التجمد أو أقل منها يعرض الثمار لأضرار كبيرة تسمى بأضرار التجمد ولذلك يجب تخزين الثمار والخضار على درجات حرارة أعلى من نقطة تجمدها (وذلك بحدود تعود لطبيعة النوع والصنف) بالرغم من تحمل بعض المحاصيل كالملفوف والبصل والثوم ظروف درجات حرارة التجمد . وهذا مع مراعاة أنه لا توجد علاقة بين حساسية المحصول للتجمد وبين درجة تجمده بل يعود عدم تماثل تأثير التجميد في أنواع الثمار المختلفة إلى تركيبها الكيميائي حيث كلما زادت نسبة المواد الذائبة بالعصير الخلوي انخفضت نقطة التجمد .

٦ – مراعاة عدم السماح بارتفاع درجة حرارة التخزين عن الحدود المسموح بها بالنسبة للنوع والصنف. وبشكل عام تتحمل المحاصيل الدرنية والجذرية والبصلية درجات الحرارة المرتفعة أثناء التخزين أكثر من المحاصيل الثمرية .

٧ – **مراعاة عدم تذبذب درجات حرارة التخزين** والذي يعود إلى :

- الخطأ في طريقة ضبط الأجهزة .
- الزيارات المتكررة مع تكرار إخراج وإدخال الثمار من وإلى غرفة التبريد .
- عدم كفاية العزل الحراري .

وإن التقلبات والتغيرات في درجة حرارة التخزين يؤدي لضرر الثمار المخزنة بشكل كبير . لأن المنتجات المخزنة تتأقلم حالتها الفيزيولوجية مع درجة حرارة التخزين عند استقرارها بحدود ثابتة ولكن عند ارتفاعها وانخفاضها عن ذلك ينعكس سلباً على حالتها الفيزيولوجية وبالتالي على التغيرات البيوكيميائية داخل الثمار وخاصة شدة التنفس وهذا يساعد على ظهور الاختلالات والأمراض الفيزيولوجية التي تكون سبباً في فسادها .

٨ – **زمن التبريد** : إن الفترة اللازمة للوصول بدرجة حرارة الثمار إلى درجة حرارة التخزين المطلوبة تلعب دوراً حاسماً وهاماً في إنجاح عملية التخزين . فكلما كانت الفترة اللازمة للوصول بالمادة المخزنة إلى نفس درجة حرارة التخزين أسرع كلما انخفض مقدار الفقد الذي يحصل لها أثناء التخزين . وكقاعدة عامة يجب الاعتماد عليها هي : إن محاصيل الخضر والفاكهة والتي فترات تخزينها قصيرة كالمحاصيل الورقية (خس – سبانخ) يجب أن تخفض درجة حرارتها بسرعة أكبر (٤٨–٧٢ ساعة) من تلك التي تخزن لفترات طويلة كالتفاح والبصل والملفوف (خلال ٩٦–١٤٤ ساعة) وهذا ما يسمى بالتبريد الأولي.

ثانياً – رطوبة الهواء في جو التخزين :

تعتبر الرطوبة في جو المخزن من العوامل المهمة في تخزين ثمار الفاكهة والخضار ويتوقف التخزين الجيد لهذه المنتجات على توفر رطوبة مرتفعة في هواء غرف التبريد وذلك للتقليل من الفقد في وزن الثمار الناتج بشكل رئيسي عن فقد الماء بالبخر مما يؤدي إلى ذبول الثمار وتجعدها وكرمشة سطحها .

وتختلف قدرة الهواء على حمل واستيعاب كميات مختلفة من الماء باختلاف درجة الحرارة ..

فالهواء الساخن يستطيع حمل كمية أكبر من بخار الماء مقارنة بالهواء البارد وعند درجة حرارة معينة نجد أن الهواء يستطيع حمل بخار الماء حتى تصل كمية البخار إلى حد معين لا يستطيع بعدها أن يحمل الهواء مزيداً من البخار وهذه الحالة يطلق عليها بالهواء المشبع . أي أن تركيز البخار وصل إلى تركيز التشبع . وإذا ارتفعت درجة حرارة الهواء نجد أن قابليته على حمل البخار تزداد فيصبح تركيز البخار به أقل من تركيز التشبع ويمكن له حمل كمية إضافية من بخار الماء . أما إذا انخفضت درجة حرارة الهواء نجد أن قابليته على حمل بخار الماء تقل وبالتالي تزداد كمية البخار عن تركيز التشبع فيبدأ بخار الماء في التكثف عند اللحظة التي

تصل فيها درجة حرارته إلى الدرجة التي يكون فيها تركيز التشبع معادلاً لكمية بخار الماء الموجود في الهواء وهذه الدرجة تعرف بنقطة الندى .

عند إخراج الثمار من أماكن التبريد يجب أن تكون درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة نقطة الندى للهواء الخارجي . لأن تكاثف الرطوبة على سطح منتجات الخضر والفواكه قد يكون السبب الأساسي لتلفها كونها تشكل الوسط المناسب لنمو ونشاط الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض وخاصة الأعفان.

تعتبر عملية الوصول إلى درجات رطوبة نسبية مرتفعة والاحتفاظ بها داخل غرف التبريد من العمليات الصعبة خاصة كون الرطوبة النسبية الملائمة لتخزين أغلب الخضر والفواكه مرتفعة . فغالباً ما تتكاثف الرطوبة على سطح أنابيب التبخير الباردة وأحياناً تتجمد مكونة الجليد وفي كلتا الحالتين يتسبب عنها انخفاض معامل انتقال الحرارة فتكون عملية التبريد بطيئة وتبقى تعمل بشكل مستمر وهذا يعرضها لسرعة التلف لذلك لا بد من إزالة الثلج بصفة مستمرة يدوياً أو آلياً . وغالباً ما تكون أجهزة التبريد الحديثة مصممة على أساس إذابة الجليد آلياً وخلال فترات زمنية محدده .

إن اغلب أنواع الخضر والفواكه تخزن في رطوبة نسبية للهواء من ٨٥-٩٥% فهذا المستوى من الرطوبة في جو التخزين يخفض شدة تبخر الماء منها إلى الحدود الدنيا . وبالتالي المحافظة على جودة المحاصيل ولفترة طويلة خلال التخزين .

كما تختلف محاصيل الخضر والفواكه في محتواها المائي كذلك تختلف في شدة فقد الماء بالظروف الواحدة إضافة لاختلافها في مدى تأثير نسب الفقد في مواصفاتها التخزينية والتسويقية فمثلاً بعض المحاصيل كالثوم والبصل تعتبر الرطوبة النسبية الملائمة لها أثناء التخزين (٦٥-٧٠%) كون مواصفاتها التشريحية (مغلفة بأوراق سطحية جافة) تحد من عمليات فقد الماء ولا تتأثر مواصفاتها التسويقية كثيراً عندما تفقد كمية محددة من مائها . ومن جهة أخرى الرطوبة النسبية العالية للهواء أثناء تخزينها . تهيئ الظروف المناسبة لنمو الأحياء الدقيقة وخاصة الأعفان وبالتالي ارتفاع معدل الإصابة بالأمراض وزيادة نسبة التلف.

إن زيادة فقد الماء أثناء التخزين يتوقف على الخصائص النوعية وبالتالي على المواصفات التشريحية الخاصة بكل نوع وكل صنف. ولذلك نجد أن بعض الأنواع والأصناف تذبل بسرعة خلال التخزين لأن بنيتها مهيأة لفقد الماء ولذلك يجب أن تخزن في وسط عالي الرطوبة لتخفيض شدة هذه العلمية مثل : الخيار الكوسا- الفجل – الجزر – (الثمار التي تؤكل غير ناضجة) وبعض أصناف التفاح ذات القشرة الرقيقة والطبقة الشمعية الضعيفة التكوين والمحاصيل الورقية . ولذلك تخزن مثل هذه المحاصيل في رطوبة نسبية ٩٦-٩٨% .

وعند وجود قشرة سميكة قوية أو تغطي الثمرة طبقة شمعية سميكة تساعد في خفض شدة فقد الماء عندها ينصح بتخزين مثل تلك المحاصيل في رطوبة نسبية ٧٥-٨٠% مثل : اليقطين والحمضيات وغيرها من المنتجات .

عندما يتم إدخال محاصيل الخضر والفاكهة إلى غرف التخزين غالباً ما تكون الرطوبة النسبية منخفضة في هذه الغرف لعدم وجود مصادر أو أجهزة الترطيب المساعدة على رفع رطوبة الغرف لذلك ترتفع الرطوبة النسبية في جو المخزن تدريجياً على حساب فقد الرطوبة من الثمار حيث تتناسب نسبة الرطوبة عكساً مع سرعة تبخر الماء من المحصول فكلما كانت الرطوبة النسبية منخفضة في جو التخزين كلما زادت سرعة فقد الرطوبة من الثمار المخزنة وبالتالي تتناقص سرعة فقد الرطوبة تدريجياً مع ارتفاع الرطوبة النسبية في هواء المخزن إلى أن تستقر سرعة فقد الرطوبة عند الوصول إلى مستوى مرتفع ومحدد للرطوبة فكلما كان الفرق بين تركيز الماء في أنسجة الثمار وتركيز الماء في جو التخزين مرتفع كلما أدى ذلك إلى زيادة انتشار الماء على هيئة بخار ماء من داخل أنسجة المحصول إلى سطحه.

ولذلك نلاحظ ارتفاع النسبة المئوية للفقد في وزن الثمار بالفترة الأولى من التخزين هذا إضافة لتأثير العوامل الأخرى كدرجة حرارة المحصول .

وبشكل عام يجب أن يدرس نظام الرطوبة النسبية في جو التخزين ويتحدد بحيث يحقق أقل نسبة ممكنة للفقد في رطوبة الثمار أو جعلها في الحدود المسموح بها وبنفس الوقت يحقق منع أو عرقلة نمو الأحياء الدقيقة المسببة لتلف الثمار. ولكل نوع من محاصيل الخضر والفواكه رطوبة نسبية ملائمة لتحقيق ذلك مع الأخذ بعين الاعتبار الاختلاف بين الأصناف أحياناً ضمن النوع الواحد .

يمكن رفع نسبة الرطوبة في البراد أو المخزن بعدة طرق :

- في حالة التخزين العادي يمكن رش أرضية المخزن بالماء من حين لآخر أو توضع أوعية مملوءة بالماء في أرضية المخزن أو وسائل أخرى مشابهة .
- ترطيب صناديق التخزين بالماء .
- عزل تام وكافي لجدران وأرضية المخزن .
- تغطية أو تغليف المادة المخزنة .
- ترطيب الهواء أثناء التهوية .
- في مخازن التبريد المخصصة فيمكن رفع نسبة الرطوبة فيها بسرعة عن طريق تسخين الماء كهربائياً في خزان مفتوح القمة فيتبخر الماء حيث يدفع لداخل مخزن التبريد بواسطة المراوح أو يمكن بواسطة آلات الترطيب الخاصة التي تعمل أوتوماتيكياً ومتصلة بمنظم رطوبة للتحكم في نسبة الرطوبة داخل غرف التخزين .

ثالثاً – التهوية وتجدد الهواء :

تطلق ثمار الفاكهة والخضار أثناء تخزينها كميات من الحرارة والرطوبة إضافة إلى نواتج أخرى مضرة بمسار تخزين هذه المنتجات . فلا بد من العمل على إبعادها من جو التخزين بإمرار تهوية كافية ضمن المخزن وإدخال هواء جديد في بعض الأحيان عن طريق تصميم منتجات قابلة للإغلاق في جدران المخزن.وتهدف عملية التهوية في غرف التخزين إلى ما يلي :

١

رابعاً – تركيب هواء المخزن :

نتيجة لعمليات تنفس الثمار داخل غرف التبريد تتراكم كميات من غاز ثاني أكسيد الكربون بينما تتناقص كميات غاز الأكسجين في حو التخزين . وإذا وصل تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون إلى نسب مرتفعة مع الانخفاض الشديد بالمقابل بتركيز غاز الأكسجين سوف يؤدي ذلك لأضرار كبيرة بالثمار حيث تصبح في حالة اختناق وتتعطل عمليات التنفس الهوائي وتتحول الثمار إلى عمليات التنفس اللاهوائي وهذا يسرع في تلفها ويكسبها الطعوم غير المقبولة بسبب تراكم منتجات التنفس اللاهوائي في أنسجة الثمار ولذلك لا بد من مراقبة تركيب الوسط الغازي وتبديل هواء المخزن من حين إلى آخر. إضافة إلى أن الثمار تنتج الغازات الأخرى مثل الايتلين الذي يحرض عمليات نضج الثمار وبالتالي تقليص فترة التخزين ولذلك يتم عزله من جو التخزين أثناء التهوية . وحالياً تخزن الثمار والخضار في الأوساط الغازية المحددة التركيب الغازي بهدف إبطاء عمليات النضج وإطالة فترة التخزين كطريقة مساندة لطرق التخزين بالتبريد .