

16 - 1 التبريد والتخزين البارد : Refrigeration and cold storage

16-1-1 مقدمة :

يعتبر الحفظ بالتبريد من أقدم الطرق المستخدمة في حفظ الأغذية . فقد سعى الإنسان منذ العصور القديمة للإستفادة من الأماكن الباردة فكان يحفظ الأغذية في الكهوف والآبار العميقة حيث تنخفض درجة الحرارة بها عن الجو الخارجى كما إستخدم الأوانى للمصنوعة من مواد مسامية في تبريد الماء حيث يتم التبريد نتيجة التبخير.

وفى أوائل القرن التاسع عشر بدأ الإنسان فى إستخدام الثلج الطبيعى المتكون على أسطح البحيرات خلال فصل الشتاء فى حفظ الأغذية حيث إستخدم ما يسمى بالثلجات الطبيعية Ice boxes .

وعندما حدث تقدم فى علم الديناميكا الحرارية بدأت صناعة الثلج على نطاق صناعى بكميات يمكن الإعتماد عليها فى حفظ الأغذية .

وفى عام 1864 أستطاع Ferdinand Carre أن يصمم أول آلة تبريد . وفى عام 1870 تم تصميم ماكينة تبريد تعمل بضغط غاز النشادر بواسطة العالم Carl Linde فى ألمانيا والعالم David Boyle فى الولايات المتحدة الأمريكية . ثم أتسع مجال هندسة التبريد مما أدى إلى إستخدام مخازن لتبريد وحفظ الأغذية .

وقد أصبح التبريد الآن عاملاً هاماً فى تداول ونقل وتخزين الأغذية . وحالياً فإن ما يقرب من 80 ٪ من الأغذية يتم تبريدها على درجات الحرارة المنخفضة بعد حصادها مباشرة حتى إستهلاكها وخلال المراحل المختلفة لتداولها . وأصبح من السهل تخزين الأغذية ونقلها إلى الأماكن البعيدة مما أدى إلى حدوث توازن فى أسعار الأغذية طوال العام .

يقصد بالتخزين البارد cold storage الإحتفاظ بالأغذية مبردة على درجات حرارة أعلى من درجات تجمدها وتتراوح عادة بين -2.2° إلى 15.5° م (28-60° ف) . والثلجات المنزلية تعمل على مجال حرارى من 4.5 إلى 7° م (40-45° ف) مع ملاحظة أن معظم الأغذية لا يبدأ تجمدها إلا بعد الوصول إلى درجة حرارة -2.2° م (28° ف) أو أقل من ذلك . والتبريد يتم فيه خفض درجة حرارة المادة الغذائية من درجة الحرارة المحيطة إلى درجة

حرارة التخزين المبرّد. وقد يستخدم لفظ chilling على التبريد إذا كان خفض درجة حرارة المادة الغذائية يتم سريعاً بهدف الوصول إلى درجة حرارة قريبة من درجة التجميد.

ومن أهم عوامل فساد الأغذية هو نمو الكائنات الحية الدقيقة (بكتريا - عفن - خميرة) ولكل منها درجة حرارة ملائمة للنشاط والنمو. وتعمل درجات الحرارة المنخفضة على إبطاء نمو الأحياء الدقيقة أو توقف نشاطها كما أنها تعمل على إبطاء التفاعلات الكيماوية في الأغذية (مثل أكسدة الدهون - التحلل الذاتي في الأسماك) وتأخير النشاط الإنزيمي فيها. وكلما كانت درجة الحرارة أكثر انخفاضاً ساعد ذلك على ببطء التفاعلات الكيماوية والنشاط الإنزيمي والنمو الميكروبي.

والمواد الغذائية سواء نباتية أو حيوانية تحتوي على عدد كبير من الأحياء الدقيقة ولكل من هذه الأحياء درجة حرارة مثلى للنمو ولذلك فإن خفض درجة حرارة الأغذية سيكون له تأثير مختلف على الأحياء الدقيقة حيث أن خفض درجة حرارة الغذاء بمقدار 10°م (يؤدي إلى خفض معدل أى تفاعل كيماوى إلى النصف) كما يوقف نمو بعض الأحياء الدقيقة ويبطئ نمو بعضها الآخر وكلما زادت درجة الحرارة إنخفاضاً بإتجاه الصفر المئوى (32°ف) سيقل عدد الأحياء الدقيقة التى يمكنها النمو ويحد من تكاثرها حيث سيقف نمو الكائنات الحية المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة thermophiles والكائنات الحية المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة mesophiles بينما الكائنات الحية المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة إجباراً وإختياراً psychrophiles , psychrotrophes ستلتمو ببطء.

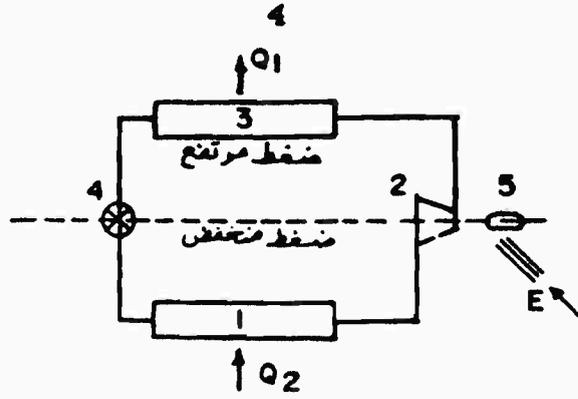
ولذلك فالتخزين على درجات حرارة منخفضة تتراوح بين 28°ف ، 50°ف cold storage سيقلل من فترة حفظ الأغذية حيث أن التبريد يبطئ من نشاط كثير من الأحياء الدقيقة ولكن لا يقتلها حيث وجد أن كثيراً من البكتريا المرضية التى تفرز السموم لا تستطيع النمو على درجات حرارة أقل من 30°ف . كما أن نشاط الإنزيمات سواء كان مصدرها المادة الغذائية أو الأحياء الدقيقة سيظل مستمراً ولكن ببطء. وبذلك يقل الضرر الناتج من التفاعلات الكيماوية (الأكسدة - التغييرات فى اللون - الأكسدة الذاتية فى الأسماك) والتأثيرات السلبية على القيمة الغذائية.

وقد يستخدم التبريد لأغراض أخرى فى الأغذية بخلاف إطالة فترة الحفظ مثل البلورة وعملية إنضاج aging اللحوم والجبن والديبذ ، وتسهيل إجراء بعض العمليات التصنيعية للأغذية مثل تقطيع اللحم وتقطيع الخبز إلى شرائح .

16-1-2 نظم التبريد : Refrigeration Systems

أولاً : نظام التبريد بالضغط : Compression refrigeration System

تعتبر الطرق التى تعتمد على إستخدام الطاقة الميكانيكية لإزالة الحرارة من الوسط من أقدم طرق التبريد وأكثرها شيوعاً حتى عصرنا هذا . حيث تعتمد على تدوير سائل التبريد و حدوث التوازن بين السائل وبخاره وتستمر هذه العملية بإعادة ضغط الغاز الناتج وتبريده حيث يتحول إلى سائل مرة أخرى لتستمر الدورة . وفى نظام التبريد الميكانيكى بالضغط (شكل رقم 1-16) يمر سائل التبريد المضغوط من الخزان receiver إلى أجهزة التبخير evaporators (مواسير حلزونية) خلال صمام التمدد expansion valve (الذى ينظم كمية سائل التبريد التى تمر إلى المبخر حيث يتحول من سائل إلى بخار ويمتص الحرارة من الوسط المحيط (جسم التلاجة) . والغاز الناتج المحمل بالحرارة يتم سحبه (بالموتور) إلى الكباس compressor لضغطه ومنه يدفع إلى المكثف condenser حيث يتم تبريده (بالماء أو الهواء) وتكثيفه إلى سائل لتعاد الدورة مرة أخرى حيث تبدأ من جهة الضغط المرتفع عند صمام التمدد . وتتوقف كفاءة عمالية التبريد على مساحة سطح الأنابيب الحلزونية فى المبخر حيث تزداد الكفاءة بزيادة سطح هذه الأنابيب وكذا على نوع وخواص سائل التبريد المستخدم refrigerant ويمكن توضيح دورة التبريد بالضغط بواسطة الديناميكا الحرارية فى منحنيات درجة الحرارة - الإنتروپى temperature - entropy (شكل رقم 2-16 (أ)) أو الضغط - إنثالپى pressure - enthalpy (شكل رقم 2-16 (ب)).



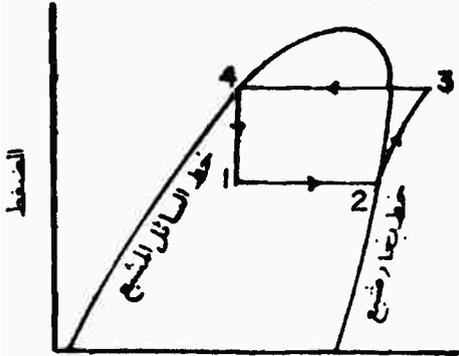
- 1- المبخر - 2- الكباس - 3- المكثف
4- صمام التمدد - 5- موتور

شكل رقم 16 - 1 : دورة للتبريد بالضغط

المصدر : Hui (1992).

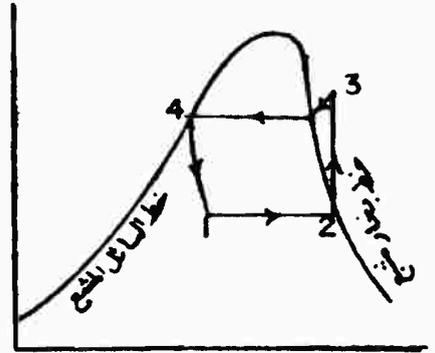
E = الطاقة الداخلة في الموتور Q_2 = الطاقة الناتجة من المبخر Q_1 = الطاقة الناتجة من المكثف

$$Q_1 = Q_2 + E$$



انثالبي Enthalpy

(ب)



انتروبي Entropy

(أ)

شكل رقم : 16 - 2

دياجرام الديناميكا الحرارية لدورة التبريد بالضغط

(أ) درجة الحرارة - انتروبي temperature - entropy

(ب) الضغط - انثالبي pressure - enthalpy

المصدر : Hui (1992).

حيث يتضح منها أن سائل التبريد ذا الضغط المرتفع ودرجة الحرارة المعدلة يمر من الخزان (نقطة 4) ليصل إلى صمام التمدد (نقطة 1) حيث يتمدد سائل التبريد ويتحول إلى غاز في المبخر ويمتص الحرارة من جسم التلاجة ويتحول إلى بخار مشبع ذي ضغط ثابت (نقطة 2)، ثم يتم ضغط الغاز المشبع الناتج (له درجة حرارة منخفضة وضغط منخفض) في الكباس (نقطة 3) لينتج بخاراً محمضاً (له درجة حرارة مرتفعة وضغط مرتفع) ويصل إلى المكثف ليتم تكثيفه وتعاد الدورة مرة أخرى.

ثانياً : نظام التبريد بالإمتصاص : Absorption refrigeration system

يستخدم في هذا النظام الطاقة الحرارية بدلاً من الطاقة الميكانيكية المستخدمة في نظام التبريد بالضغط. ويعتبر هذا النظام أقل تكلفه من النظام السابق وغالباً تستخدم فيه الأمونيا كسائل تبريد حيث تمر الأمونيا من صمام التمدد إلى المبخر لتمتص الحرارة وتتحول إلى بخار أمونيا كما في نظام التبريد بالضغط والذي يمر إلى absorber (خزان به أمونيا مخففة) حيث تمتص أبخرة الأمونيا به فيتكون محلول أمونيا مركز والذي يدفع بواسطة طلمبات إلى المولد generator من خلال مبادل حراري heat exchanger وفي المولد يتم تسخين سائل الأمونيا المركز ليتحول إلى بخار أمونيا ذات ضغط مرتفع ثم يمر خلال عامود تقطير analyzer - rectifier ليتم فصل الماء الزائد منه ثم يمر بدوره إلى المكثف كما سبق في نظام التبريد بالضغط ليتم تبريده وتكثيفه ليمر للخزان وتعاد الدورة مرة أخرى.

16-1-3 سوائل التبريد : Refrigerants

يوجد العديد من سوائل التبريد المستخدمة في نظم التبريد وتختلف في خواصها وكفاءتها في عملية التبريد ويرمز لها بالحرف R ولكل منها رقم خاص ومن أهمها :

أولاً : الأمونيا : NH_3 : R. 717

تعتبر الأمونيا إقتصادية وسهلة الاستخدام ويسهل الكشف عنها عند التسرب خارج جهاز التبريد. والأمونيا ثابتة لا تحترق ولا تساعد على الإحتراق وإن كان الهواء المحتوى على 16 - 27% أمونيا يصبح قابل للإنفجار. درجة غليان سائل الأمونيا 28- ف (-33.3م). .

ثانياً : مركبات الكلورو والفلورو ميثان والإيثان :

The chloro and fluoro methanes and ethanes :

وهي مجموعة مركبات تباع تحت أسماء تجارية بإسم الفريون freons ولها أرقام مختلفة تبعاً للتركيب الكيماوى لها ومن أشهرها ما يلى :-

أ- ثلاثى كلورو أحادى فلورو ميثان :

R. 11 CCl_3F Tri chloro mono fluoro methane

درجة غليانه 74.7°ف (23.8م°).

ب - ثنائى كلورو ثانى فلورو ميثان :

R. 12 CCl_2F_2 Dichloro difluoro methane

وهو أكثر مركبات الفريون إستخداماً وبيع أيضاً تحت إسم تجارى جنترن Genetron وهو غير سام وغير قابل للإشتعال أو الانفجار ولا يسبب تآكلاً للمعادن ودرجة غليانه -22°ف (-30م°).

ج - ثنائى كلورو أحادى فلورو ميثان :

R. 21 (CHCl_2F) Dichloro monofluoro methane

درجة غليانه 48°ف (8.9م°).

د - أحادى كلورو ثنائى فلورو ميثان :

R. 22 (CHClF_2) Monochloro difluoro methane

ويتميز بعدم السمية وعدم القابلية للإشتعال أو الانفجار ودرجة غليانه 41°ف (5م°).

هـ - ثنائى كلورو الإيثلين : R. 1130 $(\text{CHCl}=\text{CHCl})$ (Dieline)

درجة غليانه 118°ف (47.8م°).

و - إيثل أمين : R. 631 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2)$ Ethyl amine

درجة غليانه 61.6°ف (16.5م°) وهو سام بنسبة بسيطة ولكنه قابل للإشتعال.

ز - كلوريد الإيثايل : R. 160 (C_2H_5Cl) Ethyl chloride

درجة غليانه 55.6 ف (-13.1م) وهو قابل للإشتعال.

ح - أيزوبيوتان : R. 600 (C_4H_{10}) Isobutane

درجة غليانه 10.6 ف (-11.9م) ، من المركبات القابلة للإشتعال وهو سام بدرجة

بسيطة.

ثالثاً : السوائل المبردة بدرجات منخفضة جداً :

Very low temperature refrigerants (cryogens).

سوائل مبردة لدرجات منخفضة جداً ومعظم هذه السوائل غازات تستخدم حالياً في التبريد لدرجات منخفضة وهذه السوائل يمكن إسالتها على درجات حرارة منخفضة جداً. وتستخدم في تجميد الأغذية على درجات حرارة منخفضة جداً وبراسبتها يمكن المحافظة على خواص الأغذية وتكون مشابهة للأغذية الطازجة.

وأهم سوائل cryogens المستخدمه في التجميد هي :

أ - الأرجون : R. 740 (A) Argon

وهو غاز خامل ودرجة غليانه -302 ف (-185.5م) ودرجة تجمده تصل إلى

-309 ف (-189.4م) وهو لا يستخدم في تجميد الأغذية على نطاق صناعي.

ب - ثاني أكسيد الكربون : R. 744 (CO_2) Carbon dioxide

غاز غير سام في التركيزات المنخفضة وغير قابل للإشتعال ودرجة غليانه منخفضة

-109.3 ف (-78.5م) وله مميزات cryogen إلا أنه يستخدم في تبريد الأغذية.

ج- الإيثان : R. 170 (C_2H_6) Ethane

من الهيدروكربون ودرجة غليانه -127.6 ف (-88.6م) وهو قابل للإشتعال ولكنه

غير سام.

د - النيون : Neon (Ne) R. 720

وهو من أكثر السوائل المبردة إنخفاضاً لدرجة الحرارة حيث أن درجة غليانه تصل إلى - 411 ف (-246.1م) .

هـ - النيتروجين : Nitrogen (N₂) R. 728

النيتروجين السائل يعتبر ناتج ثانوي في صناعة الأكسجين من الهواء ودرجة غليانه تصل إلى -320 ف (-195م) وهو غير قابل للإشتعال وغير سام ومتوافر في الدول الصناعية وثمنه رخيص .

و - أكسيد النتروز : Nitrous oxide (N₂O) R. 744 A

وهو سائل عديم اللون والرائحة وغير سام ودرجة غليانه تصل إلى -127.24 ف (-88.5م) (ويسمى الغاز المضحك) واستخدم في التجميد في الحرب العالمية الثانية ولكنه مرتفع الثمن بالمقارنة بالنيتروجين .

ز - أحادي كلورو ثلاثي فلورو الميثان :

R. 13 (CClF₃) Mono chloro trifluoro methane

ويعرف تجارياً بإسم فريون 13 ودرجة غليانه -114.6 ف (-81.51م) وهو غير سام وغير قابل للإشتعال .

ح - رابع فلورو الميثان : Tetra fluoro methane (CF₄) R. 14

ويعرف تجارياً بإسم فريون 14 وله درجة غليان -198.4 ف (-128م) وغير سام وغير قابل للإشتعال .

وبصفة عامة يجب أن تتوفر عدة شروط في سائل التبريد refrigerants المستخدمة في نظم التبريد وأهمها:-

أ- إنخفاض درجة حرارة الغليان لسائل التبريد .

ب- إنخفاض درجة حرارة التكثيف . ج- إنخفاض درجة حرارة التجميد .

د- ارتفاع الحرارة الكاملة للتبخير. و- ارتفاع الحرارة النوعية.

هـ- غير قابل للإشتعال أو الانفجار. ز- إنخفاض ثمنه.

ح - لا يسبب تسمم للإنسان إذا تسرب جزء منه.

بالإضافة إلى ما سبق يؤخذ في الاعتبار مدى تأثير سائل التبريد على تلوث البيئة إذا حدث تسرب لجزء منه من أجهزة التبريد ، فسوائل التبريد المحتوية على مركبات الكلورو والفلوروكربون (مركبات الفريون) لها تأثير ضار على طبقة الأوزون التي تحمي الغلاف الجوى من التأثير الضار للأشعة فوق البنفسجية ولذلك يجب الإهتمام بعدم تسرب هذه الغازات إلى الجو الخارجى والإتجاه الحديث هو الحد من إستخدام مثل هذه الغازات وإستخدام بدائل لهذه السوائل ومنها مركب رابع فلورو الإيثان $(R\ 134\ A)\ CF_3CH_2F$ tetrafluoroethane .

16-1-4 طرق التبريد الميكانيكى : Mechanical refrigeration methods

أولاً: التبريد المباشر : Direct expansion cooling

يتم التبريد بمرور مواسير سائل التبريد داخل غرف التخزين (الثلاجات) مباشرة وتكون ملاصقة للجدران الداخلية للغرف وبذلك يمتص سائل التبريد للحرارة مباشرة من المواد الغذائية. وميزة هذه الطريقة هي خفض درجة حرارة غرف التبريد بسرعة إلى درجة الصفر المئوى أو أقل . وتستخدم هذه الطريقة مع المواد الغذائية غير الحية مثل اللحوم والأسماك ومنتجات الألبان ولا تستخدم في تخزين الفاكهة والخضر. مع ملاحظة أن الرطوبة المنبعثة من الثمار الحية نتيجة التلنس تتجمد على مواسير التبريد مما قد يؤدي إلى إنتفجار المواسير وتسرب الغاز.

ثانياً : التبريد غير المباشر :

أ- التبريد بالمحلول الملحي : Brine cooling

يبرد محلول ملحي (كلوريد الصوديوم 21 - 22% أو كلوريد الكالسيوم) في تلك مواسير سائل التبريد ثم يدفع المحلول الملحي البارد بواسطة طلمبات خاصة في

أخرى تمر ملاصقة لجدران غرف التخزين الداخلية فتعمل على تبريدها.

ومن مميزات هذه الطريقة تلافي خطر تسرب الغاز أو انفجار المواسير كما يمكن خفض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر وذلك بزيادة تركيز المحلول الملحي .

ب- التبريد بالهواء البارد : Air blast cooling

يبرد تيار هواء من مراوح ميكانيكية على مواسير سائل التبريد مباشرة في غرف مستقلة ثم يدفع الهواء البارد من فتحات خاصة إلى غرف التخزين مع استخدام مراوح لتوزيع الهواء البارد في جميع أنحاء غرف التبريد. ولتلافي جفاف الأغذية باستخدام الهواء البارد فإنه يتم تبريد الهواء بأمراه في محلول ملحي تمر به مواسير التبريد (يهدف رفع نسبة الرطوبة به) ثم يدفع الهواء الناتج إلى غرف التخزين عن طريق فتحات خاصة مزودة بأجهزة لإزالة الرطوبة الزائدة من الهواء.

16-1-5 التبريد المبدئي : Precooling

قد يتم التبريد المبدئي لكثير من الأغذية قبل تخزينها مبردة لفترة طويلة والهدف من هذه العملية هو تقليل الفساد الذي قد يحدث في بعض الأغذية سريعة التلف مثل الفراولة والإسبرجس والسبانخ، وأيضاً المنتجات الحيوانية التي يسهل نمو الأحياء الدقيقة عليها مما يؤدي إلى سرعة فسادها. أما أصناف الفاكهة والخضروات التي تجمع غير ناضجة وينم نضجها أثناء التخزين البارد فإنها لا تحتاج إلى عملية التبريد المبدئي. ويمكن إجراء التبريد المبدئي بإحدى الطرق التالية:

أ - الهواء البارد المتحرك : Moving air

وهي طريقة شائعة الاستخدام لسهولة استخدامها كما أنها إقتصادية ولا تسبب أي تلوث للأغذية ولكن من عيوب استخدام الهواء البارد المتحرك في التبريد المبدئي أنه يسبب جفافاً للأغذية خاصة غير المعبأة، وقد يحدث تجميداً للأغذية إذا كانت درجة الحرارة المستخدمة أقل من الصفر المئوي. وقد تستخدم أنفاق للتبريد chilling tunnels بحيث يمكن ضبط سرعة الهواء البارد بها وتمر بداخلها المواد الغذائية محملة على عربات أو صوتاني. وتستخدم هذه الطريقة لتبريد اللحوم والمواالح والعنب والمشمش والبرقوق والفاصوليا.

ب - الماء البارد : Hydrocooling

وهذه الطريقة سهلة واقتصادية وسريعة حيث يتم غمر أو رش المواد الغذائية بماء بارد (درجة حرارته 1°م) وقد يحتوى على مواد مطهرة مثل الكلور أو أحد مركبات الفينول. وهذه الطريقة تمنع تجمد المواد الغذائية وتقلل الفقد فى الوزن نتيجة التبخر، وتستخدم هذه الطريقة لتبريد الخضروات والفواكه (البسلة - البقدونس - الإسبرجس - الخوخ).

ج - الثلج المجروش : Ice - slush

يعتبر استخدام الثلج المجروش طريقة سهلة ولها تأثير سريع فى التبريد وعادة يتم تبريد الدواجن والأسماك بواسطة الرج مع مخلوط من الماء والثلج كما يستخدم الثلج المجروش فى تبريد الكرنب والجزر واللفت والخوخ.

د - التبريد بالتفريغ : Vacuum cooling

تستخدم هذه الطريقة مع الأغذية التى لها مساحة سطح كبيرة وتحتوى على نسبة مرتفعة من الماء الحر مثل الخضروات الورقية (الخنس)، حيث يتم التفريغ إلى حد معين مما يسبب تبريد الأغذية نتيجة حدوث التبخير. وبصفة عامة يحدث إنخفاض فى درجة الحرارة مقداره 5°م لكل تبخير يعادل 1% من الرطوبة، وميزة هذه الطريقة أنها سريعة واقتصادية ولكن من عيوبها أنها تحتاج إلى أجهزة كثيرة.

16-1-6 أهم المصطلحات : Definitions المستخدمة فى التبريد :

الوحدة الحرارية البريطانية (Btu) : British thermal unit

كمية الحرارة اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة واحدة فهرنتية على الضغط الجوى العادى.

الكالورى : Calorie

كمية الحرارة اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة 1 جرام من الماء درجة واحدة مئوية من 14.5 إلى 15.5°م تحت الضغط الجوى العادى

1 Btu = 252 كالورى = 1055 جول.

الحرارة النوعية : Specific heat

كمية الحرارة بالوحدات الحرارية البريطانية اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة رطل واحد من المادة درجة واحدة فهرنهايت. أو كمية الحرارة بالكالورى اللازمة لرفع أو خفض جرام واحد من المادة درجة واحدة مئوية.

وبمعلومية الحرارة النوعية للمادة يصبح من السهل حساب عدد الوحدات الحرارية البريطانية اللازم إزالتها لإحداث التغيير فى درجة الحرارة:

$$\text{عدد الوحدات Btu} = \text{الحرارة النوعية} \times \text{الوزن} \times (D_1 - D_2)$$

حيث D_1 ، D_2 درجات الحرارة اللازمة لحدوث التغيير.

الحرارة المحسوسة : Sensible heat

وهى الحرارة التى يمكن الإحساس بها أو قياسها بواسطة الترمومتر أى الحرارة التى يمكن إضافتها أو إزالتها من المادة.

الحرارة الكامنة : Latent heat

كمية الحرارة اللازمة لتغيير حالة المادة بدون تغيير فى درجة حرارتها، مثل كمية الحرارة اللازم إضافتها للثلج عند درجة حرارة 32° ف (صفر°م) ليتحول إلى ماء عند 32° ف (صفر°م) ويطلق عليها الحرارة الكامنة للإنصهار latent heat of fusion .

والحرارة الكامنة للإنصهار اللازم إضافتها لرطل من الثلج ليتحول إلى ماء عند درجة حرارة 32° ف (صفر°م) مقدارها 144 Btu أو (79.68 كيلو كالورى لكل كجم ثلج) .

الحرارة النوعية والحرارة الكامنة للأغذية مهمة واستخدمت لتقدير احتياجات التبريد والتجميد والتخزين. وجدول رقم 16 - 1 يوضح هذه القيم لبعض الأغذية والتى يمكن الحصول عليها من المراجع (handbooks) أو يمكن حساب الحرارة النوعية من المعادلات التالية:

$$\text{الحرارة النوعية} = \text{سادة الغير مجمدة} - 0.008 \times (\text{النسبة المئوية للرطوبة فى المادة}) + 0.20$$

الحرارة النوعية للمادة المجمدة = $0.003 \times (\text{النسبة المئوية للرطوبة في المادة}) + 0.20$

ويمكن حساب الحرارة الكامنة كما يلي :

الحرارة الكامنة للإنصهار Btu / الرطل = $(144 \times \text{النسبة المئوية للرطوبة}) / 100$

جدول رقم 16 - 1 : الحرارة النوعية والحرارة الكامنة لبعض الأغذية

| الحرارة الكامنة للإنصهار (Btu / الرطل) | الحرارة النوعية (Btu / الرطل) | | المادة الغذائية |
|--|-------------------------------|-----------|-------------------|
| | مجمدة | غير مجمدة | |
| 100 | 0.40 | 0.77 | اللحم البقري |
| 83 | 0.30 | 0.67 | لحم الضأن |
| 101 | 0.41 | 0.76 | السماك |
| 106 | 0.37 | 0.79 | الدجاج |
| 100 | 0.40 | 0.76 | البيض |
| 124 | 0.49 | 0.93 | اللبن |
| 121 | 0.45 | 0.87 | التفاح |
| 126 | 0.46 | 0.90 | الجزر |
| 108 | 0.42 | 0.82 | البسلة |
| 128 | 0.47 | 0.91 | الفاصوليا الخضراء |
| 132 | 0.47 | 0.94 | الكرنب |
| 144 | 0.48 | 1.00 | الماء |

وحدة التبريد : Refrigeration unit

الوحدة المستخدمة لقياس كفاءة التلاجات تعرف بإسم طن التبريد ton of refrigeration وهو كمية الحرارة بالوحدات الحرارية البريطانية Btu اللازمة لتحويل طن (2000 رطل) من الماء على درجة حرارة 32°ف (صفرم) إلى طن من الثلج على درجة حرارة 32°ف (صفرم) في 24 ساعة.

وحيث أن الحرارة الكامنة لأنصهار الثلج = 144 Btu / الرطل

فيكون طن التبريد = 144 × 2000 = 288000 Btu / 24 ساعة

= 12000 Btu / الساعة

أو طن التبريد = 1000 × 79.68 = 79680 كيلو كالورى / 24 ساعة

= 3320 كيلو كالورى / الساعة

(حيث أن 79.68 هي الحرارة الكامنة لأنصهار الثلج معبراً عنها بالكيلو كالورى / كجم).

16 - 2 - 7 العوامل المؤثرة في التبريد الصناعي :

أولاً: درجة الحرارة : Temperature

يجب التحكم في درجة الحرارة في غرف التبريد (التلاجات) المستخدمة لحفظ وتخزين الأغذية بحيث تظل ثابتة عند درجة الحرارة المطلوبة للتخزين، حيث أن تذبذب درجة الحرارة إرتفاعاً وإنخفاضاً يساعد على تكثيف بخار الماء على سطح المواد الغذائية مما يشجع نمو الأحياء الدقيقة خاصة الفطريات.

وعند تصميم غرف التبريد يراعى فيها العزل الجيد (إستخدام مواد عازلة جيدة) للمساعدة على ثبات درجة الحرارة في الغرف، مع تحديد كل العوامل التي قد تؤدي إلى إرتفاع درجة الحرارة في غرف التبريد مثل عدد لمبات الإضاءة المستخدمة وعدد العمال الذين يعملون بغرف التبريد. ويجب أن تزود غرف التبريد بترموترات في أماكن متفرقة للتأكد من درجات الحرارة. وتوجد درجة حرارة تعرف بإسم درجة حرارة الأمان safe temperature وهي درجة الحرارة المثلى لتخزين كل نوع من المواد الغذائية وعندها يكون

نمو الأحياء الدقيقة أقل ما يمكن وهذه الدرجة تختلف من مادة لأخرى.

ثانياً : الرطوبة النسبية : Relative humidity

من الضروري التحكم فى درجة الرطوبة النسبية فى الثلاجات لإطالة فترة حفظ الأغذية المبردة بدون تلف . فإذا إنخفضت الرطوبة النسبية عن الحد المناسب فى جو غرف التبريد أدى ذلك إلى جفاف وذبول الأغذية النباتية (الخضروات والفواكه) ، وإلى مظهر غير مرغوب فى الأغذية الحيوانية . ويحدث نقص فى الوزن نتيجة فقد الرطوبة حيث يصل النقص من 3 إلى 6 ٪ من وزن الحصرات ، وإذا أرتفعت الرطوبة النسبية عن الحد المناسب أدى ذلك إلى تشجيع نمو وتكاثر الفطريات . ولدرجة الرطوبة المثلى للأغذية علاقة بمحتواها من الرطوبة . فالأغذية التى تحتوى على نسبة رطوبة مرتفعة (الخضروات الورقية) تحتاج إلى رطوبة نسبية مرتفعة (90 - 95 ٪) بينما أنواع النقل (المكسرات) ذات نسب الرطوبة المنخفضة فإنها تخزن على رطوبة نسبية منخفضة (70 ٪) وتوجد درجة رطوبة تعرف بإسم الرطوبة النسبية الآمنة Safe relative humidity وهى درجة الرطوبة النسبية التى عليها أو أقل منها لا يدمو الفطر عند ظروف التخزين المبردة وفى نفس الوقت لا تسبب جفافاً للمادة الغذائية . ولذلك فإن الأغذية التى يتم تخزينها مبردة لفترة طويلة يمكن تعبئتها لتتلافى تبخر الرطوبة منها فاللحوم (الأجزاء الكبيرة) يتم تعبئتها فى عبوات من البلاستيك الرقيقة plastic film وأيضاً الجبن التى يتم تسويتها لفترة طويلة يتم تعبئتها أو يتم تغطيتها بطبقة من الشمع .

وصناعياً يتم رفع نسبة الرطوبة فى الثلاجات باستخدام أجهزة خاصة تدفع رذاذ من الماء . ولخفض نسبة الرطوبة يدفع بها تيار من الهواء الجاف الساخن أو يمرر هواء الثلاجة على ملفات تبريد لتجميد الماء الزائد به . ويجب ملاحظة أن الفرق بين درجة حرارة مواسير التبريد ودرجة حرارة غرف التبريد له تأثير كبير على المحافظة على نسب الرطوبة .

ويتم قياس الرطوبة النسبية فى بداية التخزين بحساب الفرق فى درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة مواسير التبريد . ويجب أن يكون الفرق فى درجات الحرارة صغيراً (0.5-1م أو 2-1ف) حتى يمكن المحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة ولتحقيق ذلك يجب أن تكون مساحة سطح مواسير التبريد كبيرة بدرجة تكفى لتبريد كمية كبيرة من الهواء .

ثالثاً : التهوية : Air circulation :

تساعد التهوية الجيدة في غرف التبريد على توزيع الحرارة والرطوبة توزيعاً منتظماً ويتم ذلك بتزويد غرف التبريد بمراوح مع ملاحظة ضرورة تخزين المواد الغذائية بطريقة تسمح بانتقال وتبادل الحرارة بين أجزائها كما أن التهوية تساعد على تبريد المواد الغذائية سريعاً لتصل إلى درجة حرارة التبريد.

أحياناً يتم تلقية الهواء لإزالة المواد ذات الروائح غير المرغوبة الناتجة من المواد المخزنة وقد يستخدم الفحم النشط لهذا الغرض.

رابعاً : الضوء : Light :

بصفة عامة يجب أن يكون تخزين الأغذية في غرف مبردة في عدم وجود الضوء، ويؤخر الظلام من الإنبات في درنات البطاطس والبصل ويقال من حدوث الإسوداد في كثير من الأغذية. وقد تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لما لها من تأثير مطهر حيث تستخدم مع اللحوم مع الحذر عند استخدامها حتى لا تؤدي إلى حدوث الأكسدة والتزنخ في دهن اللحوم. ولكن هذه الأشعة لا تستخدم مع الفاكهة والخضروات.

16 - 1 - 8 تعديل جو غرف التبريد : Modification of gas atmosphere

أولاً : جو متحكم فيه : Controlled atmosphere (CA)

تخزن الفاكهة والخضروات في غرف يختلف فيها الجو عن الجو العادي من حيث نسبة الأوكسجين (O_2) وثنائي أكسيد الكربون (CO_2) والنيتروجين (N_2) ليؤدي إلى إطالة فترة الحفظ ويقال من النضج الزائد للفاكهة أثناء التخزين البارد. حيث أن الثمار كائن حي تقوم بجميع العمليات الفسيولوجية والحيوية أثناء التخزين مما ينتج عنه هدم في مكونات الثمار، ويؤدي التحكم في نسب الغازات في جو المخازن إلى تأخير عملية التنفس والتمثيل الغذائي ويقال من نمر الأحياء الدقيقة على سطح الفاكهة والخضروات مما يطيل من فترة الحفظ. ولتقليل عملية التنفس في الفاكهة والخضروات يتم رفع نسبة ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وخفض نسبة الأوكسجين (O_2) مع ضبط درجة الحرارة. وعادة يستخدم الجو المعدل لتأخير نضج ثمار الفاكهة وللتأخير من إنتشار كثير من الأمراض ومنع الروائح الغير مرغوبة بين وحدات

الفاكهة المخزنة وبصفة عامة للمحافظة على جودة الأغذية.

والتعديل في نسب الأكسجين وثاني أكسيد الكربون يختلف تبعاً للوع الفاكهة المخزنة مثال ذلك تخزين التفاح صنف ماكنوش McIntosh يتم عند درجة حرارة 3 م° (37ف) ورطوبة نسبية 87% ويعدل الجو بحيث يحتوى على 3% أكسجين (العادى 21%)، 3% ثاني أكسيد الكربون (العادى 0.03%) لمدة شهر ثم يرفع ثاني أكسيد الكربون إلى 5%.

والتخزين في جو معدل يحمى بعض أنواع الفاكهة والخضروات الحساسة لدرجات الحرارة المنخفضة من حدوث التلف التبريدى chilling injury بها حيث يمكن تخزينها على درجات حرارة مرتفعة نوعاً بدون حدوث فساد بها مثل الخيار - الطماطم - البامية كما يقلل من حدوث الإسوداد داخل ثمار بعض أصناف الفاكهة مثل التفاح والكمثرى. ويمكن خفض نسبة الأكسجين في جو غرف التبريد إما بطرق طبيعية أو بطرق صناعية. فالطرق الطبيعية تعتمد على إستهلاك الأكسجين الموجود في الغرف بواسطة الأغذية النباتية المخزنة بها. ومميزات الطرق الطبيعية أنها سهلة واقتصادية ولكن من عيوبها أنها تحتاج إلى وقت طويل للوصول إلى الحد المناسب من الأكسجين خاصة بالنسبة للفاكهة التى تحتاج إلى تبريد سريع كما أن الغرف المستخدمة لا بد أن تكون مغلقة تماماً حتى لا يتسرب الأكسجين إليها من الجو الخارجى ويجب ملؤها تماماً بالمواد الغذائية.

للتحكم في جو غرف التبريد في الطرق الصناعية يتم ملؤها بالفاكهة ثم يعدل الجو وتقفل الغرف طول فترة التخزين، والتحكم في الجو قد ينتج من تعبئة الفاكهة تحت تفريغ في عبوات محكمة القفل مع تعديل نسبة ثاني أكسيد الكربون والنتروجين. وأيضاً عند تعبئة اللحوم أو الأسماك في عبوات منفصلة تحت تفريغ ويتم سحب الهواء من العبوات ودفن مخلوط من الغازات. وعادة يدفع غاز النتروجين أو يستخدم هواء مزال منه الأكسجين في وجود الميثان methane أو البروبان propane. وحديتاً فإنه عند تعديل جو غرف التبريد يتم إزالة غاز الإيثيلين منها وهذا يحسن من صفات الفاكهة المخزنة ويؤخر من نضجها.

وأحياناً قد تستخدم أبخرة غازات مضادة للميكروبات والفطريات في غرف التبريد لمنع نمو الفطريات.

ومن مميزات استخدام الطرق الصناعية أنه يمكن الوصول إلى المستوى المطلوب من الأكسجين في وقت قصير (إذا استخدم الديتروجين فإنه سيزيد من سرعة التبريد أيضاً).

وغرف التبريد لا تحتاج إلى ملءها تماماً بالأغذية للمبردة ويمكن تبريدها وإعادة ملءها مرة أخرى أثناء فترة التخزين. أيضاً فإن مستوى الأكسجين في غرف التبريد سيظل ثابتاً حتى إذا لم يكن العزل لهذه الطرق جيداً. وأهم عيوب الطرق الصناعية أنها مرتفعة التكاليف.

وقد أوضحت البحوث أن استخدام تركيزات منخفضة من الأكسجين (0.5، 1.0، 2.0%) ونسب مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون (10، 15، 20%) قد أدى إلى إنخفاض كل من نسبة التنفس وإنتاج الإيثيلين في الفراولة (صنف selva) عند تخزينها على درجة حرارة 2م° وعند نقلها من الجو المعدل إلى الجو العادي ازداد كل من معدل التنفس وإنتاج الإيثيلين ولكن بدرجة أقل مقارنة بحفظها في الثلجة بدون تعديل الجو، ولوحظ أن تعديل الجو إلى نسبة 1% أكسجين، 15% ثاني أكسيد الكربون كذلك الجو المحتوى على 0.5% أكسجين، 20% ثاني أكسيد الكربون قد أدى إلى حدوث تنفس لا هوائي وتجميع الإيثانول وكان له تأثير سلبي على قوام ولون الفراولة المخزنة.

ويصفة عامة فإنه إذا ما تم خفض نسبة الأكسجين في الجو بدرجة كبيرة فإن ذلك يؤدي إلى حدوث تنفس غير هوائي ويتكون كحول الإيثايل وبعض المركبات السامة التي تتجمع في أنسجة النبات وتتكون روائح غير مرغوبة ونقل فترة التخزين. وتتراوح النسبة المطلوبة من الأكسجين 1-4% حتى يتم التنفس هوائياً وذلك على درجات الحرارة المنخفضة (10-20م°) ويصفة عامة تستخدم نسبة من غاز ثاني أكسيد الكربون في حدود 5-10% من هواء الثلجة حيث أتضح أن استخدام نسب مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون قد يؤثر على صفات جودة الأغذية حيث يؤدي إلى تغيير اللون والنكهة (اللون الأسود داخل ثمار التفاح والكمثرى).

ويلاحظ أن كل نوع من أنواع الفاكهة والخضروات له ظروف مثلى من حيث نسبة ثاني أكسيد الكربون والأكسجين كما يتضح من جدول رقم 16-2.

جدول رقم 16 - 2 : الظروف المناسبة لتخزين الماكهة والخضروات في جو معدل

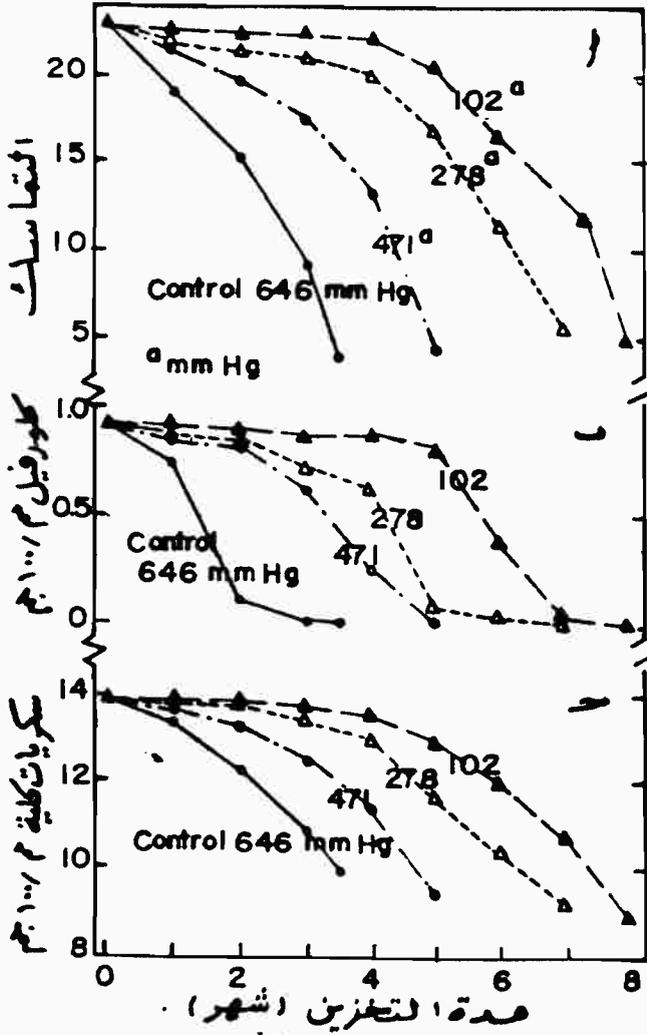
| فترة التخزين | | درجة الحرارة | | تركيز الغاز % | | المادة الغذائية |
|--------------|--------|--------------|---------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | ف | م | Co ₂ | O ₂ | |
| شهر | 11 - 7 | 32 | 0 | 5 - 1 | 3 - 1 | تفاح صنف Golden |
| شهر | 9 - 7 | 37 | 3 | 5 - 1 | 3 - 1.5 | صنف McIntosh |
| أسبوع | 7 | 32 - 31 | 0 - 0.5 | 3 - 2 | 3 - 2 | المشمش |
| أسبوع | 2 | 32 - 30 | 0 - 1 | 20 - 15 | 10 - 5 | التين |
| شهر | 6 - 1 | 32 - 30 | 0 - 1 | 3 - 1 | 5 - 2 | الطوب |
| أسبوع | 9 - 6 | 32 - 31 | 0 - 0.5 | 5 - 3 | 2 - 1 | الخوخ |
| شهر | 9 - 7 | 30 | 1 | 2 - 0.5 | 2 - 0.5 | الكلمري |
| شهر | 5 - 4 | 32 - 31 | 0 - 0.5 | 5 - 0 | 2 - 1 | البرقوق |
| أسبوع | 1 | 32 - 31 | 0 - 0.5 | 20 - 15 | 10 - 5 | التفؤولة |
| شهر | 6 - 1 | 58 | 14 | 5 - 2 | 5 - 2 | الموز |
| أسبوع | 8 - 6 | 55 | 13 | 10 - 5 | 10 - 3 | جريب فروت |
| شهر | 6 - 1 | 55 | 13 | 10 - 0 | 10 - 5 | الليمون |
| أسبوع | 4 | 50 | 10 | 10 - 5 | 5 - 2 | الأناناس |
| أسبوع | 5 | 55 | 13 | 10 - 5 | 5 - 3 | المانجو |
| أسبوع | 12 - 8 | 45 | 7 | 5 - 0 | 10 - 5 | البرتقال |
| أسبوع | 2 | 46 | 8 | 7 - 4 | 3 - 2 | الفاصوليا |
| شهر | 8 - 6 | 32 | 0 | 6 - 3 | 3 - 2 | الكرنب |
| شهر | 1 | 32 | 0 | 4 - 3 | 3 - 2 | قرنبيط |
| شهر | 3 | 32 | 0 | 5 - 3 | 4 - 1 | الكرفس |
| أسبوع | 3 | 54 | 12 | 0 | 4 - 1 | الخيار |
| شهر | 8 | 32 | 0 | 5 - 0 | 1 - 0 | البصل |
| أسبوع | 3 | 54 | 12 | 0 | 5 - 2 | القلقل (حلو) |
| أسبوع | 3 | 32 | 0 | 10 - 5 | 10 - 7 | السيانخ |
| أسبوع | 6 - 4 | 54 | 12 | 3 - 2 | 5 - 3 | الطماطم |
| شهر | 1 | 32 | 0 | 3 - 2 | 3 - 2 | الخرشوف |

ثانياً : التخزين البارد تحت ضغط منخفض : Subatmospheric storage
 من الطرق المستخدمة في تخزين الفاكهة والخضر هو التخزين المبرد تحت ضغط
 منخفض أقل من الضغط الجوي العادي مع رفع نسبة الرطوبة النسبية حيث يطلق عليه
 low pressure hypobaric storage . حيث يتم تقليل كمية الهواء الموجودة في المخزن
 المبرد وبالتالي تقل كمية الأكسجين مما يؤدي إلى خفض معدل التنفس للمواد الغذائية
 للمخزنة ويخفض من نسبة الإيثيلين والغازات الناتجة الأخرى وبذلك تزداد فترة الحفظ. وقد
 أوضحت البحوث أن التخزين في جو ذي ضغط منخفض قد أدى إلى إطالة فترة التخزين
 لعدد من أنواع الفاكهة والخضر (جدول رقم 3-16) (الطماطم - البطاطس - الموز - المانجو

جدول رقم 3 - 16 : مقارنة مدة تخزين بعض أنواع الفاكهة والخضروات بالتبريد في
 ضغط جوي عادي وتحت ضغط جوي منخفض

| مدة التخزين (يوم) | | الصلف |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| تبريد تحت ضغط جوي منخفض | تبريد تحت ضغط جوي عادي | |
| | | فاكهة مكتملة النضج |
| 40 | 12 - 9 | أناناس |
| 120 - 90 | 40 - 30 | جريب فروت |
| 28 - 21 | 7 - 5 | فراولة صنف tiogo |
| 90 - 60 | 14 | كريز |
| | | خضر |
| 50 | 18 - 16 | قلقل أخضر |
| 41 | 14 - 10 | خيار |
| 30 | 13 - 10 | فاصوليا خضراء |
| 15 | 3 - 2 | بصل أخضر |
| 21 | 8 - 4 | نرة |
| 50 - 40 | 14 | خس |
| | | فاكهة غير مكتملة النضج |
| 100 - 60 | 21 - 14 | طماطم (خضراء) |
| 150 - 90 | 14 - 10 | موز |
| 100 - 90 | 30 - 23 | أفوكادو |
| 90 - 60 | 35 - 14 | الليمون البلدي |
| 300 | 90 - 60 | اللفاح |
| 300 | 60 - 45 | كمثرى |

- الجرافه - التفاح - اللخوخ) وكذا فقد أدى إلى تحسن خواصها الطبيعية والكيمائية (شكل رقم 3-16).



شكل رقم 3-16: تأثير التخزين تحت ضغط جوي منخفض على جودة الكمثرى

أ- التماسك firmness . ب- الكلوروفيل . ج- سكريات كلية.

المصدر : Desloroser & Desloroser (1977).

ثالثاً: إضافة مواد كيميائية لغرف التبريد :

يوجد العديد من المواد الكيميائية بخلاف ثاني أكسيد الكربون والأكسجين والتي يمكن إستخدامها عند تخزين الأغذية المبردة وهذه المواد تستخدم إما على هيئة أبخرة أو محاليل مائية أو قد تضاف إلى عبوات الأغذية المستخدمة وهذه المواد ليس لها أى تأثير غير مرغوب على جودة الأغذية أو القيمة التغذوية ومن هذه المواد الكيميائية نذكر الآتى :

أ - مواد كيميائية لتنشيط نمو الأحياء الدقيقة :

تستخدم مواد كيميائية مع الفاكهة وبنسبة قليلة مع الخضروات مثل الكلورين والاستيتات والأوزون وثاني أكسيد الكبريت وبروميد الميثيل.

ب - مواد كيميائية للتحكم فى نضج الفاكهة :

يمكن تأخير نضج الفاكهة مثل الموز والكمثرى بإضافة كمية قليلة من الإيثيلين إلى جو غرف التبريد ويمكن تأخير نضج المانجو باستخدام 2, 4, 5 ثلاثى كلورو فينوكس حمض الخليك 2, 4, 5 tri chlorophenoxy acetic acid .

ج - مواد مثبطة للإنبات :

مادة كربامات الفينيل phenyl carbamates (أيزوبروباييل فينيل كربامات Isopropyl phenyl carbamate) ومادة هيدرازيد حمض المالك malic hydrazide ، تستخدم لتأخير الإنبات فى البطاطس والبصل والجزر.

د - مواد مضادة للأكسدة :

مضادات الأكسدة مثل بيوتاييل هيدروكسى أنيسول Butylated hydroxyanisole (BHA) ، بيوتاييل هيدروكسى تولوين (BHT) butylated hydroxy toluene ، حمض اسكوربيك L- ascorbic acid ، تضاف إلى بعض الأغذية المبردة لتنشيط الأكسدة بها مثل بعض العصائر.

هـ - مواد إزالة الرائحة :

الأوزون Ozone يستخدم أحياناً لأكسدة المواد الطيارة ذات الروائح الغير مرغوبة وان يجب الحذر عند إستخدامه حتى لا يؤدى إلى تفاعلات أكسدة غير مرغوبة فى بعض الأغذية ولذلك فإنه يفضل إستخدام الفحم النشط لإمتصاص الروائح الغير المرغوبة من الأغذية أثناء حفظها بالتبريد.

و - مواد محسنة للون :

ومنها غاز الإيثيلين وهو بسبب إختزال الكلوروفيل ولذلك يستخدم بتركيز 10 جزء / مليون (PPm) لإزالة اللون الأخضر من الموالح المخزنة.

16-1-9 الحرارة الناتجة من تنفس الأنسجة الحية :

الأغذية الطازجة مثل الفواكه والخضروات والحبوب والبقول تظل حية أثناء التبريد وتقوم الأنسجة بعملية التنفس وإنتاج الطاقة في صورة حرارة، وكمية الحرارة الناتجة تختلف من صنف لآخر وتزداد كمية الحرارة الناتجة من التنفس إذا ارتفعت درجة حرارة التخزين كما يتضح من جدول رقم 16 - 4 .

جدول رقم 16 - 4 : كمية الحرارة الناتجة من تنفس بعض أصناف الفاكهة والخضر

| كمية الحرارة x Btu / الطن / 24 ساعة | | | المادة الغذائية |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------|
| 15 م | 4 م | 0 م | |
| 3.470 - 2.270 | 840 - 590 | 800 - 300 | التفاح |
| 44.130 - 32.090 | 11.390 - 9.160 | 6.160 - 5.500 | الفاصوليا الخضراء |
| 50.000 - 33.870 | 17.600 - 11.000 | 7.450 | البروكلي |
| 4.080 | 1.670 | 1.200 | الكرنب |
| 8.080 | 3.470 | 2.130 | الجزر |
| 8.220 | 2.420 | 1.620 | الكرفس |
| 38.410 | 9.390 | 6.560 | اللذرة السكرية |
| - | 1.980 - 1.760 ^{xx} | 1.100 - 600 | البصل |
| 5.170 - 3.650 | 1.500 - 1.300 | 1.030 - 420 | البرتقال |
| 9.310 - 7.260 | 2.030 - 1.440 | 1.370 - 850 | الخوخ |
| 13.200 - 8.800 | - | 880 - 660 | الكلمري |
| 39.250 | 13.220 | 8.160 | البسلة |
| 3.520 - 2.200 | 1.760 - 1.100 | 880 - 440 | البطاطس |
| 38.000 - 36.920 | 11.210 - 7.850 | 4.860 - 4.240 | السيانخ |
| 20.280 - 15.460 | 6.750 - 3.660 | 3.800 - 2.730 | الفراولة |
| 6.300 - 4.280 | 3.350 - 1.710 | 2.440 - 1.190 | البطاطا |
| 6.230 | 1.070 | 580 | الطماطم الخضراء |
| 5.640 | 1.250 | 1.020 | الطماطم للناضجة |

x كمية الحرارة محسوبة من معدل التنفس (كجم CO₂ / كجم / ساعة) x 220

xx على درجة 10 م .

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977)

لذلك فإن تخزين الفاكهة والخضروات ذات معدل التنفس المرتفع تحتاج لسعة تبريد مرتفعة مثل التفاح والبسلة والسبانخ بعكس البصل والبطاطا والجزر فهي محاصيل ذات معدل تنفس منخفض.

10-1-16 حساب سعة التبريد : Refrigeration load

عند حساب إحتياجات التبريد لأي مادة غذائية فإنه يجب معرفة درجة حرارة الغذاء المبدئية ودرجة حرارة التخزين ومعدل التنفس (الأنسجة الحية) ومقدار الحرارة الناتجة من التنفس والحرارة النوعية للغذاء وأيضاً كمية المادة الغذائية التي ستخزن.

ويلاحظ أن الأنسجة النباتية تظل حيه ونشطة أثناء التخزين البارد ولذلك فمن الضروري أخذ هذا العامل في الإعتبار عند حساب سعة التبريد. أي أنه لا بد من حساب الحرارة المنطلقة من الخضروات والفاكهة أثناء تبريدها.

مثال :

إذا أريد تبريد طن من البسلة درجة حرارتها المبدئية 62° ف إلى درجة حرارة 32° ف (الصفير المئوي) وتخزينها على هذه الدرجة لمدة 5 أيام مع العلم بأن الحرارة النوعية للبسلة 0.82 والمطلوب حساب السعة التبريدية (بالأطنان).

لحساب سعة التبريد يتم حساب كمية الحرارة المتولدة من كمية البسلة طول فترة

التخزين:

$$- \text{كمية الحرارة اللازم إزالتها من طن البسلة} = 2000 \times 0.82 \times (62 - 32)$$

$$= 30 \times 0.82 \times 2000 = 49200 \text{ وحدة حرارية بريطانية Btu}$$

وهي الحرارة المحسوسة الموجودة في طن من البسلة.

ب - نظراً لإستمرار البسلة في التنفس أثناء التخزين لذلك يجب حساب كمية الحرارة المنطلقة أثناء فترة التخزين. وبالرجوع إلى الجداول الخاصة نجد أن الحرارة الناتجة من البسلة تعادل 8160 Btu في درجة حرارة 32° ف (صفير مئوي) خلال 24 ساعة. وتعادل 13220 Btu في درجة حرارة 40° ف (4.4م) وتعادل 39250 Btu في درجة

حرارة 60°ف (15.5م).

لذلك يحسب متوسط معدل الحرارة الناتجة من البسلة عند درجتى حرارة 32°ف و60°ف (الصفر، 15.5م).

فينتج من طن واحد من البسلة خلال 24 ساعة كمية من الحرارة

$$\text{Btu } 23.705 = \frac{39250 + 8160}{2} =$$

وبذلك تكون كمية الحرارة الناتجة خلال 5 أيام

$$\text{Btu } 118.525 = 23705 \times 5 =$$

ج - تضاف قيمة الحرارة المحسوسة من (أ) إلى الحرارة الناتجة من التنفس (ب)

وبذلك تكون كمية الحرارة الكلية اللازم إزالتها:

$$\text{Btu } 167725 = 118.525 + 49.200$$

طن التبريد ton of refrigeration يعادل 288000 Btu

∴ طن من البسلة يحتاج إلى :

$$0.582 \text{ طن تبريد} = \frac{167725}{288000}$$

أى يحتاج إلى ثلثة كفاءتها 0.582 طن تبريد.

16-1-11 حفظ الأغذية بالتبريد :

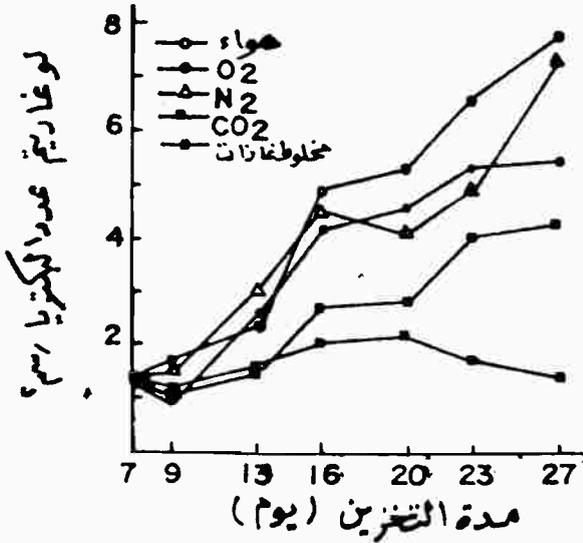
16-1-11-1 الأغذية الحيوانية :

أولاً : اللحوم

يتم تبريد اللحم بمجرد ذبح الحيوان إلى درجة حرارة 32 - 34°ف وقبل مرور 24 ساعة من الذبح حيث تبلغ درجة حرارة الذبائح حوالي 100°ف (37.7م) ويتم التبريد باستخدام تيار من الهواء البارد فى غرف التبريد والرطوبة النسبية تتراوح بين 90 - 95% فى المرحلة الأولى من التبريد وبعد إنخفاض درجة حرارة الذبائح إلى 34°ف يتم خفض درجة الحرارة إلى 31-32°ف وخفض الرطوبة النسبية إلى 85 - 90% ويراعى ألا ترتفع الرطوبة النسبية عن ذلك الحد حتى لا تتعرض اللحوم لخطر نمو انظرييات، وألا تقل عن هذه النسبة

حتى لا تتعرض اللحم لفقد محسوس في الوزن نتيجة الجفاف، ولذلك فإنه عند حفظ اللحم مبردة يفضل تعبئتها في أكياس بلاستيك أو لفها في قماش خفيف لحمايتها من تبخر الرطوبة حيث يصل الفقد في الوزن إلى 2% من وزنها نتيجة بخر الرطوبة. ويلاحظ أن الإنخفاض السريع في درجة حرارة اللحم (الصفير الملوي) بعد الذبح مباشرة قد يؤدي إلى ما يطلق عليه الإنكماش التبريدي cold shortening وهذا يؤدي إلى خشونة في قوام اللحم.

وأحياناً تستخدم الأشعة فوق البنفسجية (طول موجة 2700 Å) في غرف التبريد لمنع نمو الفطريات. ويمكن تعديل جو غرف التبريد برفع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغرف مما يساعد على إطالة فترة تخزين اللحم المبردة ويقلل من نمو الفطريات والبكتريا التي تسبب تكوين طبقة لزجة على سطح اللحم (شكل رقم 4 - 16) ويجب ألا تزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون عن 10% حتى لا تسبب تغيير لون اللحم. وقد يؤدي أيضاً إلى سرعة التزنخ في طبقة الدهن المحيطة باللحم وأثناء حفظ اللحم في غرف التبريد تحدث بها عملية الإنضاج aging ويتحسن قوامها وتزداد طراوتها.



شكل رقم 4 - 16: العدد الكلي للبكتريا الهوائية المعزولة من سطح عينات لحم بقرى مخزنة على درجة حرارة 1°م في الظلام لفترات مختلفة في جو معدل من الغازات المختلفة

x مخلوط الغازات (70% N₂، 25% CO₂، 5% O₂)

المصدر: (1977) Desrosier & Desrosier.

ويمكن حفظ لحوم الأبقار لفترة من 1 - 3 أسبوع بينما تقل فترة للحفظ للحم الضأن إلى أسبوع واحد (جدول رقم 16 - 5). وطول فترة تخزين اللحوم مبردة تؤدي إلى حدوث تزنخ وأكسدة في الدهن كما تسبب تغييراً في لون اللحم حيث يتحول إلى اللون الأحمر الغامق ثم اللون البني نتيجة أكسدة صبغات الميوجلوبين myoglobin وتحولها إلى صبغات الميتميوجلوبين metmyoglobin.

جدول رقم 16 - 5 : الظروف المناسبة للتخزين البارد للأغذية الحيوانية

| نقطة التجميد ف | فترة التخزين | الرطوبة للنسبة % | درجة حرارة التخزين ف | المادة الغذائية |
|-------------------|--------------|------------------------|----------------------------|-----------------|
| 29 - 28 | أسبوع 3 - 1 | 92 - 88 | 34 - 32 | اللحم البقرى |
| 29 - 28 | يوم 12 - 5 | 90 - 85 | 34 - 32 | اللحم الضأن |
| 27 | يوم 10 - 7 | 90 - 85 | 32 | الدجاج |
| 28 | يوم 20 - 5 | 95 - 90 | 40 - 33 | السمك |
| 28 | شهر 4 - 3 | 90 - 85 | 31 - 29 | البيض |
| 29 - 28 | شهر 2 | 85 - 80 | 36 - 32 | الزبد |

المصدر : Potter & Hotchkis (1995).

ثانياً : الأسماك :

تفسد الأسماك سريعاً بمقارنتها باللحوم ويعزى ذلك إلى نشاط الإنزيمات والتحلل الذاتي وحدثت الأكسدة بالإضافة إلى نشاط الأحياء الدقيقة خاصة البكتيريا. ولذلك يجب حفظ الأسماك عقب الصيد مباشرة في ثلج مجروش في طبقات متبادلة مع السمك وتخزن في غرف مبردة لا تزيد درجة حرارتها عن 40 ف (4.4م) وينصح بغسيل الأسماك جيداً لتقليل

حمولتها من الأحياء الدقيقة قبل تخزينها في الثلجات وقد يستخدم تلج المضادات الحيوية ويمكن حفظ الأسماك مبردة في الثلج على درجة حرارة 32 - 40° ف لمدة 1-3 أسابيع.

ويسبب طول فترة التخزين للأسماك تغييراً في لون الخياشيم حيث يتحول إلى اللون الباهت وتزداد ليونة أنسجة السمك وتتكون مادة ثالث ميثيل أمين trimethyl amine والأمونيا.

أما القشريات فيمكن حفظها مبردة في الثلج لمدة أسبوع بينما الجمبرى والكابوريا تعتبر حساسة جداً للحفظ بالتبريد وتقل فترة حفظها لعدة أيام فقط في حين تحفظ الإستاكوزا حية في ماء البحر.

ثالثاً : الدواجن :

يتم تبريد الدواجن مباشرة بعد ذبحها وإزالة الريش وتنظيفها إلى درجة حرارة حوالي 35° ف باستخدام تيار من الهواء البارد مع المحافظة على رطوبة نسبية 90% لتجنب حدوث جفاف ونقص في الوزن إذا إنخفضت الرطوبة النسبية عن هذا الحد. ويمكن حفظ الدواجن مبردة على درجة الصفر المئوي لمدة 7 - 10 يوم وقد تغمر الدواجن في ماء بارد مضاف إليه بعض المضادات الحيوية قبل حفظها مبردة ووجد أن هذه المعاملة تطيل من فترة الحفظ لبضعة أيام وقد تبين من البحوث أن درجة الحرارة المخزن عليها الدواجن لها تأثير على كمية ونوع البكتريا المسببة للفساد (جدول رقم 16 - 6).

حيث أتضح أن جنس *Pseudomonas* أكثر الأجناس المسببة للفساد على درجة حرارة 1° م ويقل تأثيرها بارتفاع درجات الحرارة بينما جنس *Acinetobacter* ، *Enterobacteriaceae* ليس لهما تأثير ملحوظ على درجة حرارة 1° م ولكن تأثيرها يزداد بارتفاع درجة الحرارة إلى 10° م ، 15° م.

جدول رقم 16 - 6 : العلاقة بين درجة الحرارة ونوع البكتريا المسببة لفساد لحم الدجاج

| درجة الحرارة | | | نوع البكتريا |
|----------------|------|-----|-----------------------------|
| 15 م | 10 م | 1 م | |
| النسبة المئوية | | | |
| 15 | 37 | 90 | <i>Pseudomonas</i> |
| 34 | 26 | 7 | <i>Acinetobacter</i> |
| 27 | 15 | 3 | <i>Entero bacteria ceae</i> |
| 8 | 6 | - | <i>Streptococci</i> |
| 5 | 4 | - | <i>Aeromonas</i> |
| 10 | 12 | - | <i>Others</i> |

المصدر : Desrosier & Desrosier(1977).

رابعاً : البيض :

البيض الطازج بعد وضعه مباشرة يكون خالياً من الميكروبات وهذا يرجع إلى التركيب الطبيعي والكيماري للبيض ، ويرجع فساد البيض الطازج إلى نمر الأحياء الدقيقة . ولحفظ البيض بالتبريد يجب أن يكون نظيفاً خالياً من القاذورات ويتم فحص البيض للتأكد من سلامة القشرة كما يفحص باستخدام الضوء candling للتأكد من خلو البيض من أية عيوب، ويتم تعبئة البيض في علب كرتون بها فتحات للتنفس أو صناديق من الخشب . والبيض قد يمتص الروائح من المواد الأخرى في غرف التبريد ولذلك فإنه يجب تخزينه في حجرات خاصة ويجب تجديد الهواء في المخازن ، ويتم تخزين البيض على درجة حرارة 29- 31 ف بحيث تكون أعلى من درجة تجميد الصفار أو البياض ورطوبة نسبية تتراوح بين 85- 90 % .

ويؤدي إنخفاض الرطوبة النسبية في غرف التبريد إلى تبخير الرطوبة من البيض ويمكن ملاحظة ذلك بإنكماش الفجوة الهوائية في البيض أثناء التخزين . وأيضاً كنتيجة

لإنخفاض الرطوبة يحدث فقد لغاز ثاني أكسيد الكربون خلال تقرب القشر مما يسبب إرتفاع قلوية البيض .

ويمكن تعديل جو غرف التخزين برفع نسبة ثاني أكسيد الكربون لإطالة فترة التخزين، وحالياً ينصح بتغطية البيض بطبقة من زيت معدني لتقليل الفقد في الرطوبة، وغاز ثاني أكسيد الكربون يقلل من نفاذ الهواء مما يؤدي إلى تقليل التغيرات الكيماوية والفيزيكية وقد تبين أن هذه المعاملة لم تؤثر على طعم أو قوام الصفار أو البياض .

16 - 1 - 11 - 2 الأغذية النباتية :

تستمر الأنسجة النباتية حية أثناء تبريدها وتحفظ بمظاهر الحياة التي تمكنها من مقاومة عوامل الفساد أي أنها تقاوم فعل الأحياء الدقيقة وبالتالي تؤخر من فسادها .

والفاكهة والخضروات تستمر في التنفس أثناء حفظها بالتبريد وتحرق السكر وينتج عن ذلك حرارة تعمل ضد نظام التبريد ولذلك فإن الأغذية النباتية نحتاج إلى كفاءة في التبريد أعلى عن تلك التي تحتاجها الأغذية الحيوانية . وتتفاوت الخضروات والفاكهة من حيث معدلات التنفس وبالتالي في مقدار الحرارة الناتجة منها فمثلاً التفاح والخس والسبانخ والبسلة والفاصوليا الخضراء تحتاج إلى كفاءة تبريد أعلى لأن معدل التنفس بها مرتفع عكس البصل والبطاطس فمعدل التنفس بهما منخفض (جدول رقم 16 - 4) .

ويراعى عند تخزين الفاكهة والخضروات أن تكون غرف التبريد جيدة التهوية وألا يتم التخزين في عبوات محكمة القفل، وبصفة عامة يتم تخزين الفاكهة والخضروات على درجة حرارة تتراوح بين 31 ، 32 ف (-0.5، صفرم) ورطوبة نسبية بين 85 - 90% .

ويلاحظ أن بعض الفواكه والخضروات لا تتحمل إنخفاض درجة الحرارة إلى قرب درجة التجميد وتحتاج إلى درجات حرارة أعلى مثل الموز - المانجو - الطماطم - الخيار - البامية - الليمون - البطاطس، ويوضح جدول رقم 16 - 7 الظروف المناسبة لحفظ بعض أصناف الخضر والفاكهة .

وقد يتم تغطية سطح بعض أصناف الفاكهة والخضر (التفاح - الكمثرى - الخيار - الفلفل - الشمام) بطبقة من شمع البرافين لتقليل الفقد في الرطوبة ولتحسين المظهر .

ومع تقدم فترة تخزين الفاكهة والخضروات المبردة تحدث بها تغيرات نتيجة فعل الإنزيمات المؤكسدة وكذا طراوة وليونة في الأنسجة بسبب فعل الإنزيمات المحللة للبكتين ولذلك فقد تجددت بعض أنواع الفاكهة قبل تخزينها مبردة مثل الباباز - الخوخ -

جدول رقم 16 - 7 : الظروف المناسبة للتخزين البارد للخضار والفاكهة

| نقطة التجميد ف | فترة التخزين | الرطوبة النسبية % | درجة حرارة التخزين ف | المادة الغذائية |
|-------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| 28.8 | شهر 3 - 2 | 95 - 90 | 32 | الخرشوف |
| 30.4 | أسبوع 4 - 3 | 95 - 90 | 32 | الأسبرجس |
| 30.2 | يوم 10 - 8 | 90 - 85 | 45 | الفاصوليا الخضراء |
| 28.4 | شهر 3 - 1 | 95 - 90 | 32 | البدجر |
| 30.3 | يوم 10 - 7 | 95 - 90 | 32 | البروكلي |
| 30.5 | شهر 4 - 3 | 95 - 90 | 32 | الكرنب |
| 28.8 | شهر 5 - 4 | 95 - 90 | 32 | الجزر |
| 30.2 | أسبوع 3 - 2 | 90 - 85 | 32 | القرنبيط |
| 30.9 | شهر 4 - 2 | 95 - 90 | 32 - 31 | الكرفس |
| 30.8 | يوم 8 - 4 | 90 - 85 | 32 - 31 | الذرة السكرية |
| 30.5 | يوم 14 - 10 | 95 - 90 | 50 - 45 | الخيار |
| 30.4 | يوم 10 | 90 - 85 | 50 - 45 | الباذنجان |
| 26.8 | شهر 8 - 6 | 75 - 70 | 32 | الثوم |
| 31.2 | أسبوع 4 - 3 | 95 - 90 | 32 | الخبس |
| 30.8 | أسبوع 2 | 95 - 85 | 50 | البامية |
| 30 | شهر 8 - 6 | 75 - 70 | 32 | البصل |
| 30.1 | أسبوع 2 - 1 | 90 - 85 | 32 | البسلة |
| 30.5 | يوم 10 - 8 | 90 - 85 | 50 - 45 | الفلل الأخضر (حلو) |
| 29.8 | شهر 9 - 6 | 90 - 85 | 50 - 38 | البطاطس |
| 31.3 | يوم 14 - 10 | 95 - 90 | 32 | السبانخ |
| 29.2 | شهر 6 - 4 | 90 - 85 | 60 - 55 | البطاطا |

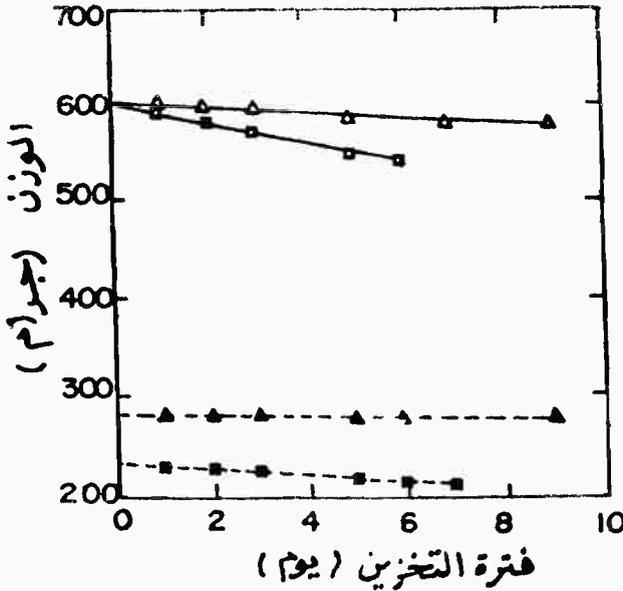
تابع جدول رقم 16 - 7: الظروف المناسبة للتخزين البارد للخضر والفاكهة

| نقطة التجميد ف | فترة التخزين | الرطوبة النسبية % | درجة حرارة التخزين ف | المادة الغذائية |
|-------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|
| 30.4 | أسبوع 5 - 2 | 90 - 85 | 70 - 55 | الطماطم (غير ناضجة) |
| 30.4 | يوم 10 - 7 | 90 - 85 | 32 | ناضجة |
| 28.2 | أسبوع 1 | 90 - 85 | 32 - 30 | التفاح |
| 29.6 | أسبوع 2 - 1 | 90 - 85 | 32 - 31 | المشمش |
| 30.0 | أسبوع 4 | 90 - 85 | 55 - 45 | أفوكادو |
| 29.6 | أسبوع 3 - 1 | 95 - 85 | 59 - 52 | الموز |
| 29.4 | يوم 7 | 90 - 85 | 32 - 31 | التوت |
| 27.7 | يوم 14 - 10 | 90 - 85 | 32 - 31 | الكريز |
| 29.4 | يوم 10 | 90 - 85 | 32 - 30 | التين |
| 28.6 | أسبوع 8 - 4 | 90 - 85 | 50 - 32 | الجريب فروت |
| 27.1 | شهر 6 - 3 | 90 - 85 | 31 - 30 | العنب |
| 29.0 | شهر 4 - 1 | 90 - 85 | 58 - 55 | الليمون |
| 29.0 | أسبوع 8 - 6 | 90 - 85 | 46 - 43 | الليمون الأضاليا |
| 29.4 | أسبوع 3 - 2 | 90 - 85 | 50 | المانجو |
| 29.9 | أسبوع 2 - 1 | 90 - 85 | 50 - 45 | الشمام |
| 30.6 | أسبوع 3 - 2 | 90 - 85 | 40 - 36 | البطيخ |
| 21 | شهر 12 - 8 | 75 - 65 | 50 - 32 | النقل |
| 28.0 | أسبوع 6 - 4 | 90 - 85 | 50 - 45 | الزيتون |
| 30.6 | أسبوع 12 - 8 | 90 - 85 | 34 - 32 | البرتقال |
| 86.9 | أسبوع 4 - 2 | 90 - 85 | 32 - 31 | الخبوخ |
| 27.7 | شهر 7 - 2 | 90 - 85 | 31 - 29 | الكملرى |
| | | | | الأناناس |
| 29.1 | أسبوع 4 - 3 | 90 - 85 | 60 - 50 | (غير ناضج) |
| 29.7 | أسبوع 4 - 2 | 90 - 85 | 45 - 40 | ناضج |
| 30 | أسبوع 8 - 3 | 90 - 85 | 32 - 30 | البرقوق |
| 30.2 | يوم 10 - 7 | 90 - 85 | 32 - 31 | الفاولة |

البرقوق - النيكتارين (nectarine) حيث يتم غمرها في ماء درجة حرارته 46 - 54 م° (114 - 130 م°) لمدة 1 - 4 دقائق.

وقد ثبت نتيجة البحوث العديدة أن التخزين البارد للبطاطس يؤدي إلى إرتفاع نسبة السكر بها وتناقص النشا كذلك فإن تخزين البطاطس على درجات حرارة تتراوح بين 40 ، 55 م° (4.4 - 12.8 م°) يؤدي إلى تراكم السكريات بمعدل أقل مقارنة بالتخزين على درجات حرارة منخفضة.

وقد أوضحت بعض البحوث أنه يمكن تعبئة الخضروات مثل الفاصوليا الخضراء والفلفل الأخضر في أكياس بولي - إيثيلين عند تخزينها مبردة على درجة حرارة 10 م° وقد أدى ذلك إلى تقليل الفقد في الوزن (شكل رقم 5 - 16) وفيتامين ج (شكل رقم 6 - 16)، كما أدى أيضاً إلى تقليل الفقد في بعض الفيتامينات الهامة مثل فيتامين ب₁.

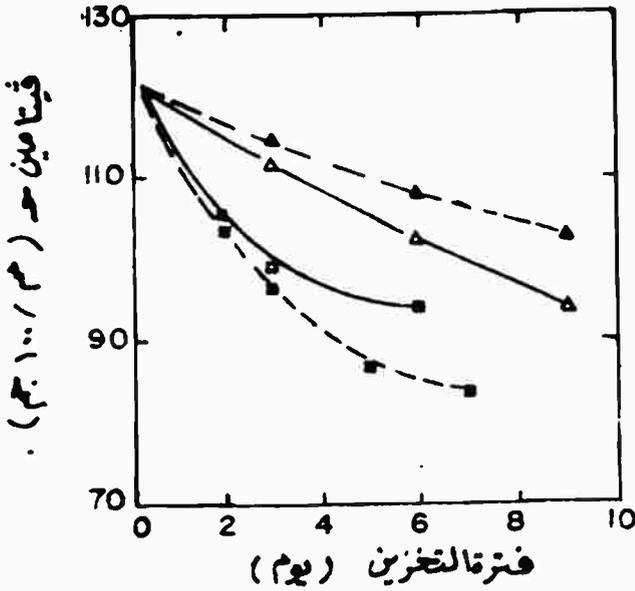


شكل رقم 5 - 16 : تأثير درجة الحرارة والتعبئة على الفقد في الوزن في الفلفل الأخضر

△ بدون تعبئة (10 م°) ▲ تعبئة في بولي إيثيلين (10 م°)

□ بدون تعبئة (20 م°) ■ تعبئة في بولي إيثيلين (20 م°)

المصدر : Watada et. al (1987).



شكل رقم 16 - 6 : تأثير درجة الحرارة والتعبئة على الفقد في فيتامين ج في الفاصوليا الخضراء

▲ بدون تعبئة (10م) ● تعبئة في بولي إيثيلين (10م)

■ بدون تعبئة (20م) □ تعبئة في بولي إيثيلين (20م)

المصدر : Watada et. al (1987).

16-1-11-3 التغيرات في الأغذية النباتية :

أولاً : تلف التبريد : Cold Injury

تتعرض بعض أصناف الفاكهة والخضار إلى التلف إذا ما خزنت على درجات حرارة أقل من درجة الحرارة المناسبة لتخزين كل صنف منها بالرغم من أن هذه الدرجات أعلى من درجة حرارة تجمد هذه المواد ويسمى هذا التلف بتلف التبريد، ولكل نوع من الفاكهة والخضار درجة حرارة يطلق عليها الدرجة الحرجة *critical temperature* وهي درجة الحرارة التي إذا انخفضت عنها درجة حرارة التخزين يحدث هذا التلف للمادة المخزنة كما يتضح من جدول رقم (16 - 8).

جدول رقم 16 - 8: درجة حرارة التبريد الحرجة لبعض ثمار الفاكهة والخضروات

| نوع تلف التبريد** | الدرجة الحرجة* | | الاصنف |
|--|----------------|---------|------------------------|
| | ف | م | |
| تشقق وتكون طعم مر | 48 - 45 | 9 - 7 | الليمون البلدى lime |
| تشقق وتبقع وتكون لون بني محمر | 58 | 14 | الليمون الأضاليا lemon |
| ضمور وتبقع فى القشرة و لون بني | 38 | 3 | البرتقال |
| لون بني بالداخل - لينة فى الأنسجة | 38 - 36 | 3 - 2 | التفاح |
| أسوداد بالداخل وانكماش فى الجلد | 55 - 50 | 13 - 10 | المانجو |
| تبقع - عدم نضج - تدهور فى الصفات | 50 - 45 | 10 - 7 | الشمام |
| يكسب لون غامق | 56 - 53 | 13 - 12 | الموز |
| اسوداد وتكون لون بني وزيادة نسبة السكر | 38 | 3 | البطاطس |
| تبقع وتقوب صغيرة | 45 | 7 | الخيار |
| بقع غامقة وبقع صناً | 45 | 7 | الفاصوليا الخضراء |
| بقع سرداء وبقع مائية | 45 | 7 | الباميه |
| بقع واسوداد فى الداخل | 55 | 13 | البطاطا |
| انكماش - وفطريات بالداخل | 45 | 7 | الباذنجان |
| عدم إكمال اللون عند النضج ولينة وفساد سريع | 55 | 13 | الطماطم الخضراء |
| لينة وقابلية للتحلل والتلف | 50 - 45 | 10 - 7 | الطماطم الحمراء |

* الدرجة الحرجة تمثل أقل درجة حرارة يمكن التخزين عليها

** التلف الملحوظ إذا تم التخزين بين 0 م والدرجة المثلى

المصدر: (Fenemma 1975).

وبازدياد فترة تخزين الخضروات يزداد الفقد فى بعض العناصر الغذائية كما يتضح من

جدول رقم 16 - 9 حيث يزداد الفقد فى فيتامين ج بطول فترة التخزين.

جدول رقم 16- 9 : الفقد في فيتامين ج أثناء تخزين بعض أصناف الخضار مبردة

| الفقد (%) | ظروف التخزين | | | الصنف |
|-----------|-----------------|----------------|---|-------------------|
| | درجة الحرارة °C | الفترة بالأيام | | |
| 5 | 1.7 | 35 | 1 | الأسبرجس |
| 50 | 0 | 32 | 7 | |
| 20 | 7.8 | 46 | 1 | البروكلي |
| 35 | 7.8 | 46 | 4 | |
| 10 | 7.8 | 46 | 1 | الفاصوليا الخضراء |
| 20 | 7.8 | 46 | 4 | |
| 5 | 0 | 32 | 2 | السبانخ |
| 5 | 1.1 | 34 | 3 | |

المصدر : (Desrosier & Desrosier 1977).

ثانياً : التلف بالأمونيا :

تستخدم الأمونيا بكثرة في أجهزة التبريد التجاري، وقد يتسرب الغاز من الأنابيب فتتعرض الفاكهة والخضار للتلف ويبدأ التلف بتلون أنسجة المواد الغذائية للخارجية باللون البني المخضر ثم يزداد ظهور اللون تدريجياً في الأنسجة الداخلية وكذا تزداد ليونة الأنسجة ، ويعتبر تركيز 1% من غاز الأمونيا كافياً لإتلاف التفاح والموز والكمثرى خلال ساعة واحدة.

ثالثاً : نمو الأحياء الدقيقة :

قد تصاب الفاكهة والخضروات بأنواع مختلفة من تلف الأنسجة (التعفن) أثناء التخزين البارد، ولتجنب ذلك فإنه يراعى عدم تجريح الثمار أو الأنسجة النباتية أثناء النقل أو التداول، ومن أهم أنواع التعفن الذي يصيب الفاكهة والخضروات أثناء التخزين البارد هو التعفن الطرى البكتيري bacterial soft rot والتعفن الناتج من نمو بعض الأعفان التابعة للأجناس *Rhizopus*، *Penicillium*.

وبصفة عامة يمكن تلافي هذا التلف بخفض درجة الحرارة إلى الدرجة المناسبة لتخزين كل صنف من أصناف الفاكهة والخضروات مع ضبط الرطوبة النسبية في غرف التخزين المبردة.