16 - 1 التبريد والتخزين البارد : Refrigeration and cold storage

16 - 1 - 1 مقدمة :

يعتبر الحفظ بالتبريد من أقدم الطرق المستخدمة فى حفظ الأغذية . فقد سعى الإنسان منذ العصور القديمة للإستفادة من الأماكن الباردة فكان يحفظ الأغذية فى الكهوف والآبار العميقة حيث تنخفض درجة الحرارة بها عن الجو الخارجى كما إستخدم الأوانى المصدوعة من مواد مسامية فى 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 بالثلاجات 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° إلى15.5° م (28-60 ف) . والثلاجات المنزلية تعمل على مجال حرارى من 4.5 إلى7° 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 المبرد. 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 فى الأغذية (مثل أكسدة الدهون – التحلل الذاتى فى الأسماك) وتأخير النشاط الإنزيمى فيها. وكلما كانت درجة الحرارة أكثر إنخفاضاً ساعد ذلك على بطء التفاعلات الكيماوية والنشاط الإنزيمى والنمو الميكروبى.

والمواد الغذائية سواء نباتية أو حيوانية تحتوى 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 بمقدار10 ْم (يؤدى إلى خفض معدل أى تفاعل كيماوى إلى النصف) كما يوقف نمو بعض الأحياء الدقيقة ويبطئ نمو بعضها الآخر وكلما ازدادت درجة الحرارة إنخفاضاً بإتجاه الصفر المئوى (32ْف) 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 pscychrophiles , pscychrotrophes ستنمو ببطء.

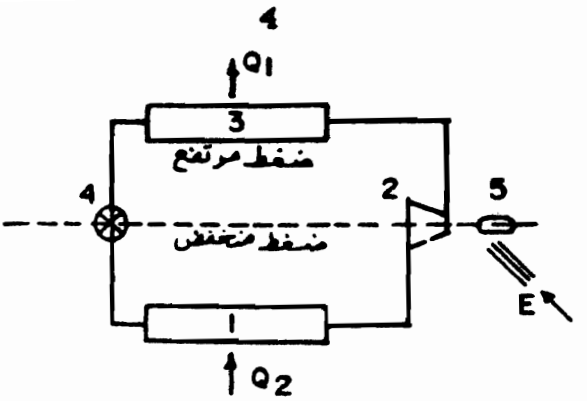
ولذلك فالتخزين على درجات حرارة منخفضة تتراوح بين 28 ْف ،50 ْف cold storage سيطيل من فترة حفظ الأغذية حيث أن التبريد يثبط من نشاط كثير من الأحياء الدقيقة ولكن لا يقتلها حيث وجد أن كثيراً من البكتريا المرضية التى تفرز السموم لا تستطيع النمو على درجات حرارة أقل من 30 ْف . كما أن نشاط الإنزيمات سواء كان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

وقد يستخدم التبريد لأغراض أخرى فى الأغذية بخلاف إطالة فترة الحفظ مثل البلورة وعملية إنضاج aging اللحوم والجبن والنبيذ ، وتسهيل إجراء بعض العمليات التصنيعية للأغذية مثل تقطيع اللحوم 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 التبخير لسائل التبريد وحدوث 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 16-1) 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 الثلاجة). 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 عملية 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 – الانتروبى temperature - entropy (شكل رقم16-2 (أ)) أو الضغط – انثالبى pressure - enthalpy (شكل رقم 16-2 (ب)).



1- المبخر 2- الكباس 3- المكثف

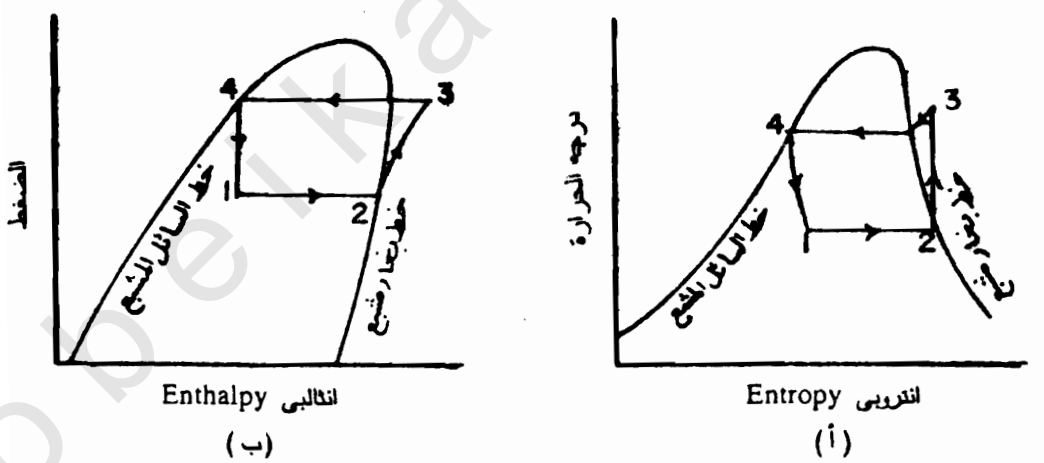
4- صمام التمدد 5- موتور

شكل رقم 16 - 1 : دورة التبريد بالضغط

المصدر : Hui (1992).

E- الطاقة الداخلة فى الموتور Q_2 - الطاقة الداتجة من المبخر Q_1- الطاقة الداتجة من المكثف

$$Q_1 = Q_2 + E$$



شكل رقم : 16 - 2

دياجرام الديناميكا الحرارية لدورة التبريد بالضغط

(أ) درجة الحرارة - انتروبى temperature - entropy

(ب) الضغط - انثالبى pressure - enthalpy

المصدر : Hui (1992).

obeikandl.com

حيث يتضح منها أن سائل التبريد ذا الضغط المرتفع ودرجة الحرارة المعتدلة يمر من الخزان (نقطة 4) ليصل إلى صمام التمدد (نقطة1) حيث يتمدد سائل التبريد ويتحول إلى غاز فى المبخر ويمتص الحرارة من جسم الثلاجة ويتحول إلى بخار مشبع ذى ضغط ثابت (نقطة2) ، ثم يتم ضغط الغاز المشبع الناتج (له درجة حرارة منخفضة وضغط منخفض) فى الكباس (نقطة3) لينتج بخاراً محمصاً (له درجة حرارة مرتفعة وضغط مرتفع) ويصل إلى المكثف ليتم تكثيفه وتعاد الدورة مرة أخرى.

ثانياً : نظام التبريد بالإمتصاص : Absorption refrigeration system

يستخدم فى هذا النظام الطاقة الحرارية بدلاً من الطاقة الميكانيكية المستخدمة فى 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 فى نظام التبريد بالضغط والذى يمر إلى absorber (خزان به أمونيا مخففة) حيث تمتص أبخرة الأمونيا به فيتكون محلول أمونيا مركز والذى يدفع بواسطة طلمبات إلى المولد generator من خلال مبادل حرارى heat exchanger وفى 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 فى نظام التبريد بالضغط ليتم تبريده وتكثيفه ليمر للخزان وتعاد الدورة مرة أخرى.

16 - 1 - 3 سوائل التبريد : Refrigerants

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

أولاً : الأمونيا : NH_3 : R. 717

تعتبر الأمونيا إقتصادية وسهلة الإستخدام ويسهل الكشف عنها عند التسرب خارج جهاز التبريد. والأمونيا ثابتة لا تحترق ولا تساعد على الإحتراق وإن كان الهواء المحتوى على 16 - 25 ٪ 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 :

وهى 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 (23.8ْم) .

ب - ثنائى كلورو ثانى فلورو ميثان :

R. 12 CCl_2F_2 Dichloro difluoro methane

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

جـ - ثنائى كلورو أحادى فلورو ميثان :

R. 21 ($CHCl_2F$) Dichloro monofluoro methane

درجة غليانه 48 ْف (8.9ْم) .

د - أحادى كلورو ثنائى فلورو ميثان :

R. 22 ($CHClF_2$) Monochloro difluoro methane

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

هـ - ثنائى كلورو الإيثلين : R. 1130 (CH Cl = CH Cl) (Dieline)

درجة غليانه 118 ْف (47.8ْم) .

و - ايثـــل أمين : R. 631 ($C_2H_5NH_2$) Ethyl amine

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

obeikandl.com

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 فى التبريد لدرجات منخفضة وهذه السوائل يمكن إسالتها على درجات حرارة منخفضة جداً. وتستخدم فى تجميد الأغذية على درجات حرارة منخفضة جداً وبواسطتها يمكن المحافظة على خواص الأغذية وتكون مشابهة للأغذية الطازجة.

وأهم سوائل cryogens المستخدمه فى التجميد هى :

أ – الأرجـون : R. 740 (A) Argon

وهو غـاز خـامل ودرجـة غليـانه –302 ف (-185.5م) ودرجـة تجـمـده تصل إلى –309ف (–189.4م) وهو لا يستخدم فى تجميد الأغذية على نطاق صناعى.

ب – ثانى أكسيد الكربون : R. 744 (CO_2) : Carbon dioxide

غاز غير سام فى التركيزات المنخفضة وغير قابل للإشتعال ودرجة غليانه منخفضة –109.3 ف (-78.5م) وله مميزات cryogen إلا أنه يستخدم فى تبريد الأغذية.

جـ– الإيثـان : R. 170 (C_2H_6) Ethane

من الهيدروكربون ودرجة غليانه –127.6ف (–88.6م) وهو قابل للإشتعال ولكنه غير سام.

د – النيـــون : R. 720 (Ne) Neon

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

هـ – النيتـروجين : R. 728 (N_2) Nitrogen

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

و – أكسيد النتـروز : R. 744 A (N_2O) Nitrous oxide

وهو سائل عديم اللون والرائحة وغير سام ودرجة غليانه تصل إلى –127.24ْف (–88.5ْم) (ويسمى الغاز المضحك) وإستخدم فى التجميد فى الحرب العالمية الثانية ولكنه مرتفع الثمن بالمقارنة بالنتروجين.

ز – أحادى كلورو ثلاثى فلورو الميثان :

R. 13 ($CClF_3$) Mono chloro trifluoro methane

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

ح – رابع فلورو الميثان : R. 14 (CF_4) Tetra fluoro methane

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

وبصفة عامة يجب أن تتوافر عدة شروط فى سوائل التبريد refrigerants المستخدمة فى نظم التبريد وأهمها:-

أ- إنخفاض درجة حرارة الغليان لسائل التبريد.

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

obeikandl.com

د- إرتفاع الحرارة الكامنة للتبخير. و- إرتفاع الحرارة النوعية.

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

ح - لا يسبب تسمم للإنسان إذا تسرب جزء منه.

بالإضافة إلى ما سبق يؤخذ فى الإعتبار 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 التى تحمى 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 CF_3CH_2F (R 134 A) 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 الحرارة مباشرة من المواد الغذائية. وميزة هذه الطريقة هى 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 فى تخزين الفاكهة والخضر. مع ملاحظة أن الرطوبة المنبعثة من الثمار الحية نتيجة التنفس تتجمد على مواسير التبريد مما قد يؤدى إلى إنفجار المواسير وتسرب الغاز.

ثانياً : التبريد غير المباشر :

أ- التبريد بالمحلول الملحى : Brine cooling

يبرد محلول ملحى (كلوريد الصوديوم 21 - 22 ٪ أو كلوريد الكالسيوم) فى تنك مواسير سائل التبريد ثم يدفع المحلول الملحى البارد بواسطة طلمبات خاصة فى

أخرى تمر ملاصقة لجدران غرف التخزين الداخلية فتعمل على تبريدها.

ومن مميزات هذه الطريقة تلافى خطر تسرب الغاز أو إنفجار المواسير كما يمكن خفض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر وذلك بزيادة تركيز المحلول الملحى.

ب- التبريد بالهواء البارد : Air blast cooling

يبرد تيار هواء من مراوح ميكانيكية على مواسير سائل التبريد مباشرة فى غرف مستقلة ثم يدفع الهواء البارد من فتحات خاصة إلى غرف التخزين مع إستخدام مراوح لتوزيع الهواء البارد فى جميع أنحاء غرف التبريد. ولتلافى جفاف الأغذية بإستخدام الهواء البارد فإنه يتم تبريد الهواء بإمراره فى محلول ملحى تمر به مواسير التبريد (بهدف 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 المبدئى : Precooling

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

أ - الهواء البارد المتحرك : Moving air

وهى طريقة شائعة الإستخدام لسهولة إستخدامها كما أنها إقتصادية ولا تسبب أى تلوث للأغذية ولكن من عيوب إستخدام الهواء البارد المتحرك فى التبريد المبدئى أنه يسبب جفافاً للأغذية خاصة غير المعبأة ، وقد يحدث تجميداً للأغذية إذا كانت درجة الحرارة المستخدمة أقل من الصفر المئوى. وقد تستخدم أنفاق للتبريد chilling tunnels بحيث يمكن ضبط سرعة الهواء البارد بها وتمر بداخلها المواد الغذائية محملة على عربات أو صوانى. وتستخدم هذه الطريقة لتبريد اللحوم والموالح والعنب والمشمش والبرقوق والفاصوليا.

ب - الماء البارد : Hydrocooling

وهذه الطريقة سهلة وإقتصادية 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) .

جـ - الثلج المجروش : Ice - slush

يعتبر إستخدام 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 (الخس)، 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 هذ الطريقة أنها سريعة وإقتصادية 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.

obeikandl.com

الحرارة النوعية : Specific heat

كمية الحرارة بالوحدات الحرارية البريطانية اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة رطل واحد من المادة درجة واحدة فهرنتية. 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:

عدد الوحدات Btu = الحرارة النوعية × الوزن × ($د_2$ – $د_1$)

حيث $د_2$ ، $د_1$ 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 عند32 ْ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 وإستخدمت 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:

الحرارة النوعية للمادة الغير مجمدة = 0.008 × (النسبة المئوية للرطوبة فى المادة) + 0.20

الحرارة النوعية للمادة المجمدة = 0.003 × (النسبة المئوية للرطوبة فى المادة) + 0.20

ويمكن حساب الحرارة الكامنة كما يلى :

الحرارة الكامنة للإنصهار Btu / الرطل = (144× النسبة المئوية للرطوبة) / 100

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

المـــادة الغذائيـــة	الحرارة النوعية (Btu / الرطل)		الحرارة الكامنة للإنصهار (Btu / الرطل)
	غير مجمدة	مجمـدة	
اللحم البقرى	0.77	0.40	100
لحم الضأن	0.67	0.30	83
السمـــك	0.76	0.41	101
الدجـــاج	0.79	0.37	106
البيـــض	0.76	0.40	100
اللبـــــن	0.93	0.49	124
التفـــاح	0.87	0.45	121
الجـــزر	0.90	0.46	126
البســـلة	0.82	0.42	108
الفاصوليا الخضراء	0.91	0.47	128
الكـــرنب	0.94	0.47	132
المـــــاء	1.00	0.48	144

المصدر : (1995) مختصر من , Potter & Hotchkiss .

obeikandl.com

وحدة التبريد : Refrigeràtion uint

الوحدة المستخدمة لقياس كفاءة الثلاجات تعرف بإسم طن التبريد ton of refrigeration وهو كمية الحرارة بالوحدات الحرارية البريطانية Btu اللازمة لتحويل طن (2000رطل) من الماء على درجة حرارة32 ْف (صفرْم) إلى طن من الثلج على درجة حرارة32 ْف (صفرْم) فى 24 ساعة.

وحيث أن الحرارة الكامنة لأنصهار الثلج = 144 Btu/ الرطل

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

= 12000 Btu/ الساعة

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

= 3320 كيلو كالورى / الساعة

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

16 - 2 - 7 العوامل المؤثرة فى التبريد الصناعى :

أولاً: درجة الحرارة : Temperature

يجب التحكم فى درجة الحرارة فى غرف التبريد (الثلاجات) 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 فى الغرف، مع تحديد كل العوامل التى قد تؤدى إلى إرتفاع درجة الحرارة فى غرف التبريد مثل عدد لمبات الإضاءة المستخدمة وعدد العمال الذين يعملون بغرف التبريد. ويجب أن تزود غرف التبريد بترمومترات فى أماكن متفرقة للتأكد من درجات الحرارة. وتوجد درجة حرارة تعرف بإسم درجة حرارة الأمانsafe temperature وهى 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 في درجة الرطوبة النسبية في الثلاجات لإطالة فترة حفظ الأغذية المبردة بدون تلف . فإذا إنخفضت الرطوبة النسبية عن الحد المناسب في جو غرف التبريد أدى ذلك إلى جفاف وذبول الأغذية النباتية (الخضروات والفواكه)، وإلى مظهر غير مرغوب في الأغذية الحيوانية . ويحدث نقص في الوزن نتيجة فقد الرطوبة حيث يصل النقص من 3 إلى 6 ٪ من وزن الخضروات، وإذا أرتفعت الرطوبة النسبية عن الحد المناسب أدى ذلك إلى تشجيع نمو وتكاثر الفطريات. ولدرجة الرطوبة المثلى للأغذية علاقة بمحتواها من الرطوبة. فالأغذية التي تحتوى على نسبة رطوبة مرتفعة (الخضروات الورقية) تحتاج إلى رطوبة نسبية مرتفعة(90 - 95 ٪)بينما أنواع البقل (المكسرات) ذات نسب الرطوبة المنخفضة فإنها تخزن على رطوبة نسبية منخفضة (70 ٪) وتوجد درجة رطوبة تعرف بإسم الرطوبة النسبية الآمنة Safe relative humidity وهي درجة الرطوبة النسبية التي عليها أو أقل منها لا يلمو الفطر عند ظروف التخزين المبردة وفي نفس الوقت لا تسبب جفافاً للمادة الغذائية. ولذلك فإن الأغذية التي يتم تخزينها مبردة لفترة طويلة يمكن تعبئتها لتلافى تبخر الرطوبة منها فاللحوم (الأجزاء الكبيرة) يتم تعبئتها في عبوات من البلاستيك الرقيقةplastic film وأيضاً الجبن التي يتم تسويتها لفترة طويلة يتم تعبئتها أو يتم تغطيتها بطبقة من الشمع.

وصناعياً يتم رفع نسة الرطوبة في الثلاجات بإستخدام 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 في بداية التخزين بحساب الفرق في درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة مواسير التبريد. ويجب أن يكون الفرق في درجات الحرارة صغيراً (0.5-1م أو 1-2ف) 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 : التهـوية : Air circulation

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

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

رابعاً : الضـوء : Light

بصفة عامة يجب أن يكون تخزين الأغذية فى غرف مبردة فى عدم وجود الضوء، ويؤخر الظلام من الإنبات فى درنات البطاطس والبصل ويقلل من حدوث الإسوداد فى كثير من الأغذية. وقد تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لما لها من تأثير مطهر حيث تستخدم مع اللحوم مع الحذرعند إستخدامها حتى لا تؤدى إلى حدوث الأكسدة والتزنخ فى 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 فى غرف يختلف فيها الجو عن الجو العادى من حيث نسبة الأكسجين (O_2) وثانى أكسيد الكربون (CO_2) والنيتروجين(N_2) ليؤدى إلى إطالة فترة الحفظ ويقلل من النضج الزائد للفاكهة أثناء التخزين البارد. حيث أن الثمار كائن حى تقوم بجميع العمليات الفسيولوجية والحيوية أثناء التخزين مما ينتج عنه هدم فى مكونات الثمار، ويؤدى التحكم فى نسب الغازات فى جو المخازن إلى تأخير عملية التنفس والتمثيل الغذائى ويقلل من نمو الأحياء الدقيقة على سطح الفاكهة والخضروات مما يطيل من فترة الحفظ. ولتقليل عملية التنفس فى الفاكهة والخضروات يتم رفع نسبة ثانى أكسيد الكربون (CO_2) وخفض نسبة الأكسجين (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 المحافظة على جودة الأغذية.

والتعديل فى نسب الأكسجين وثانى أكسيد الكربون يختلف تبعاً لنوع الفاكهة المخزنة مثال ذلك تخزين التفاح صنف ماكنتوش McIntosh يتم عند درجة حرارة 3 °م (37°ف) ورطوبة نسبية 87٪ ويعدل الجو بحيث يحتوى على 3٪ أكسجين (العادى 21٪)، 3٪ ثانى أكسيد الكربون (العادى 0.03٪) لمدة شهر ثم يرفع ثانى أكسيد الكربون إلى 5٪.

والتخزين فى 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 فى جو غرف التبريد إما بطرق طبيعية أو بطرق صناعية. فالطرق الطبيعية تعتمد على إستهلاك الأكسجين الموجود فى الغرف بواسطة الأغذية النباتية المخزنة بها. ومميزات الطرق الطبيعية أنها سهلة وإقتصادية 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 لابد أن تكون مُقفلة تماماً حتى لا يتسرب الأكسجين إليها من الجو الخارجى ويجب ملؤها تماماً بالمواد الغذائية.

للتحكم فى جو غرف التبريد فى الطرق الصناعية يتم ملؤها بالفاكهة ثم يعدل الجو وتقفل الغرف طول فترة التخزين، والتحكم فى الجو قد ينتج من تعبئة الفاكهة تحت تفريغ فى عبوات محكمة القفل مع تعديل نسبة ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين. وأيضاً عند تعبئة اللحوم أو الأسماك فى عبوات منفصلة تحت تفريغ ويتم سحب الهواء من العبوات ودفع مخلوط من الغازات. وعادة يدفع غاز النيتروجين أو يستخدم هواء مزال منه الأكسجين فى وجود الميثان methane أو البروبان propane . وحديثاً 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 الميكروبات والفطريات فى غرف التبريد لمنع نمو الفطريات.

ومن مميزات إستخدام الطرق الصناعية أنه يمكن الوصول إلى المستوى المطلوب من الأكسجين فى وقت قصير (إذا إستخدم النيتروجين فإنه سيزيد من سرعة التبريد أيضاً) .

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

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

وبصفة عامة فإنه إذا ما تم خفض نسبة الأكسجين فى الجو بدرجة كبيرة فإن ذلك يؤدى إلى حدوث تنفس غير هوائى ويتكون كحول الإيثايل وبعض المركبات السامة التى تتجمع فى أنسجة النبات وتتكون روائح غير مرغوبة وتقل فترة التخزين. وتتراوح النسبة المطلوبة من الأكسجين 1-4٪ حتى يتم التنفس هوائياً وذلك على درجات الحرارة المنخفضة (10-20°م) وبصفة عامة تستخدم نسبة من غاز ثانى أكسيد الكربون فى حدود 5-10٪ من هواء الثلاجة حيث أتضح أن إستخدام نسب مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون قد يؤثر على صفات جودة الأغذية حيث يؤدى إلى تغيير اللون والنكهة (اللون الأسود داخل ثمار التفاح والكمثرى) .

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

جدول رقم 16 - 2 : الظروف المناسبة لتخزين الفاكهة والخضروات فى جو معدل

المادة الغذائية	تركيز الغاز ٪ O_2	تركيز الغاز ٪ Co_2	درجة الحرارة م°	درجة الحرارة ف°	فترة التخزين	
تفاح صنف Golden	3 - 1	5 - 1	0	32	11 - 7	شهر
صنف McIntosh	3 - 1.5	5 - 1	3	37	9 - 7	شهر
المشمش	3 - 2	3 - 2	0 - 0.5-	32 - 31	7	أسبوع
التين	10 - 5	20 - 15	0 - 1-	32 - 30	2	أسبوع
العنب	5 - 2	3 - 1	0 - 1-	32 - 30	6 - 1	شهر
الخوخ	2 - 1	5 - 3	0 - 0.5-	32 - 31	9 - 6	أسبوع
الكمثرى	2 - 0.5	2 - 0.5	1-	30	9 - 7	شهر
البرقوق	2 - 1	5 - 0	0 - 0.5-	32 - 31	5 - 4	شهر
الفراولة	10 - 5	20 - 15	0 - 0.5-	32 - 31	1	أسبوع
الموز	5 - 2	5 - 2	14	58	6 - 1	شهر
جريب فروت	10 - 3	10 - 5	13	55	8 - 6	أسبوع
الليمون	10 - 5	10 - 0	13	55	6 - 1	شهر
الأناناس	5 - 2	10 - 5	10	50	4	أسبوع
المانجو	5 - 3	10 - 5	13	55	5	أسبوع
البرتقال	10 - 5	5 - 0	7	45	12 - 8	أسبوع
الفاصوليا	3 - 2	7 - 4	8	46	2	أسبوع
الكرنب	3 - 2	6 - 3	0	32	8 - 6	شهر
قرنبيط	3 - 2	4 - 3	0	32	1	شهر
الكرفس	4 - 1	5 - 3	0	32	3	شهر
الخيار	4 - 1	0	12	54	3	أسبوع
البصل	1 - 0	5 - 0	0	32	8	شهر
الفلفل (حلو)	5 - 2	0	12	54	3	أسبوع
السبانخ	10 - 7	10 - 5	0	32	3	أسبوع
الطماطم	5 - 3	3 - 2	12	54	6 - 4	أسبوع
الخرشوف	3 - 2	3 - 2	0	32	1	شهر

المصدر : مختصر من Hui (1992) .

obeikandl.com

ثانياً : التخزين البارد تحت ضغط منخفض : Subatmospheric storage

من الطرق المستخدمة فى تخزين الفاكهة والخضر هو التخزين المبرد تحت ضغط منخفض أقل من الضغط الجوى العادى مع رفع نسبة الرطوبة النسبية حيث يطلق عليه low pressure hypobaric storage . حيث يتم تقليل كمية الهواء الموجودة فى المخزن المبرد وبالتالى تقل كمية الأكسجين مما يؤدى إلى خفض معدل التنفس للمواد الغذائية المخزنة ويخفض من نسبة الإيثيلين والغازات الناتجة الأخرى وبذلك تزداد فترة الحفظ. وقد أوضحت البحوث أن التخزين فى جو ذى ضغط منخفض قد أدى إلى إطالة فترة التخزين لعديد من أنواع الفاكهة والخضر (جدول رقم 16-3)(الطماطم – البطاطس – الموز – المانجو

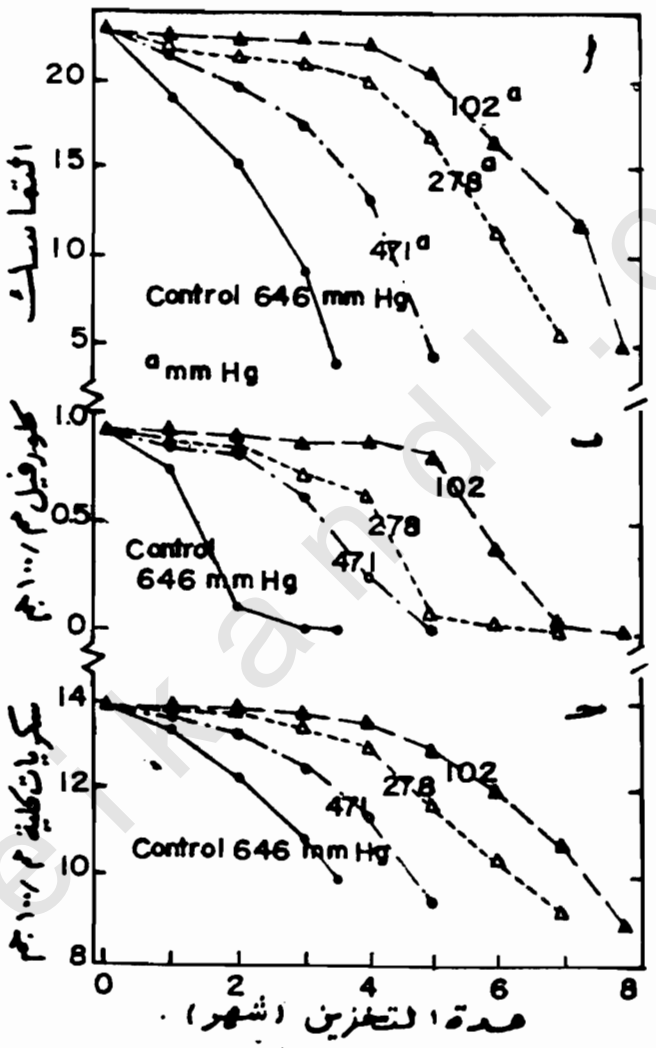
جدول رقم 16 - 3 : مقارنة مدة تخزين بعض أنواع الفاكهة والخضروات بالتبريد فى ضغط جوى عادى وتحت ضغط جوى منخفض

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

المصدر : Burg (1975) .

obeikandl.com

– الجوافه – التفاح – الخوخ) وكذا فقد أدى إلى تحسن خواصها الطبيعية والكيماوية (شكل رقم 16-3).



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

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

المصدر : Desioroser & Desioroser (1977) .

ثالثاً: إضافة مواد كيماوية لغرف التبريد :

يوجد العديد من المواد الكيماوية بخلاف ثانى أكسيد الكربون والأكسجين والتى 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 الكيماوية نذكر الآتى :

أ - مواد كيماوية لتثبيط نمو الأحياء الدقيقة :

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

ب - مواد كيماوية للتحكم فى نضج الفاكهة :

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

جـ - مواد مثبطة للإنبات :

مادة كربامات الفنيل phenyl carbamates (أيزوبروبايل فنيل كربامات Isopropyl phenyl carbamate) ومادة هيدرازيد حمض الماليك malic hydrazide ، تستخدم لتأخير الإنبات فى البطاطس والبصل والجزر.

د - مواد مضادة للأكسدة :

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

هـ - مواد إزالة الرائحة :

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

و - مواد محسنة للون :

ومنها غاز الإيثيلين وهو يسبب إختزال الكلوروفيل ولذلك يستخدم بتركيز10 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 فى صورة حرارة، وكمية الحرارة الناتجة تختلف من صنف لآخر وتزداد كمية الحرارة الناتجة من التنفس إذا إرتفعت درجة حرارة التخزين كما يتضح من جدول رقم 16 - 4 .

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

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

× كمية الحرارة محسوبة من معدل التنفس (كجم CO_2 / كجم / ساعة) × 220

xx على درجة 10م .

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 فهى محاصيل ذات معدل تنفس منخفض.

16 - 1 - 10 حساب سعة التبريد : Refrigeration load

عند حساب إحتياجات التبريد لأى 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 التى ستخزن.

ويلاحظ أن الأنسجة النباتية تظل حيه ونشطة أثناء التخزين البارد ولذلك فمن الضرورى أخذ هذا العامل فى الإعتبار عند حساب سعة التبريد. أى أنه لابد من حساب الحرارة المنطلقة من الخضروات والفاكهة أثناء تبريدها.

مثال :

إذا أريد تبريد طن من البسلة درجة حرارتها المبدئية 62 ف إلى درجة حرارة32 ف (الصفر المئوى) وتخزينها على هذه الدرجة لمدة 5 أيام مع العلم بأن الحرارة النوعيه للبسلة 0.82 والمطلوب حساب السعة التبريدية (بالأطنان).

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

أ- كمية الحرارة اللازم إزالتها من طن البسلة = 2000 × 0.82 × (62 - 32)

= 2000 × 0.82 × 30 = 49200 وحدة حرارية بريطانية Btu

وهى الحرارة المحسوسة الموجودة فى طن من البسلة.

ب - نظراً لإستمرار البسلة فى 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 فى درجة حرارة32 ف (صفر مئوى) خلال 24 ساعة. وتعادل 13220 Btu فى درجة حرارة 40 ف (4.4م) وتعادل 39250 Btu فى درجة

حرارة60 ف (15.5م) .

لذلك يحسب متوسط معدل الحرارة الناتجة من البسلة عند درجتى حرارة 32 ف،60 ف (الصفر ، 15.5 م) .

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

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

وبذلك تكون كمية الحرارة الناتجة خلال 5 أيام

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

جـ – تضاف قيمة الحرارة المحسوسة من (أ) إلى الحرارة الناتجة من التنفس (ب) وبذلك تكون كمية الحرارة الكلية اللازم إزالتها:

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

طن التبريد ton of refrigeration يعادل 288000 Btu

∴ طن من البسلة يحتاج إلى :

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

أى يحتاج إلى ثلاجة كفاءتها 0.582 طن تبريد.

16 - 1 - 11 حفظ الأغذية بالتبريد :

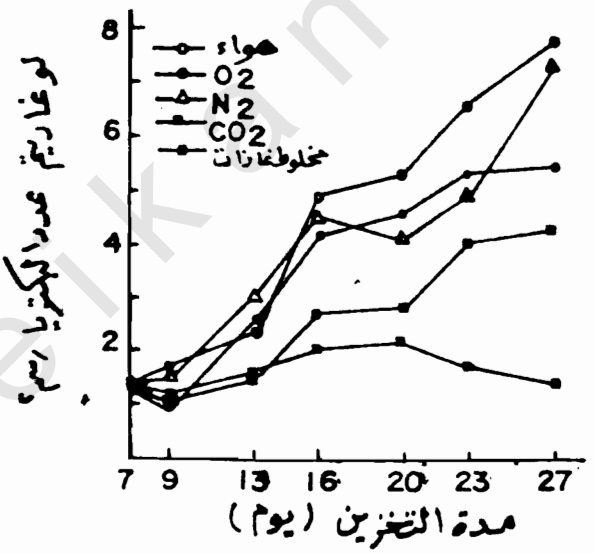
16 - 1 - 11 - 1 الأغذية الحيوانية :

أولاً : اللحـــوم

يتم تبريد اللحوم بمجرد ذبح الحيوان إلى درجة حرارة 32 - 34 ف وقبل مرور 24ساعة من الذبح حيث تبلغ درجة حرارة الذبائح حوالى100 ف (37.7م) ويتم التبريد بإستخدام تيار من الهواء البارد فى غرف التبريد والرطوبة النسبية تتراوح بين 90 - 95٪ فى المرحلة الأولى من التبريد وبعد إنخفاض درجة حرارة الذبائح إلى34 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 الفطريات، وألا تقل عن هذه النسبة

حتى لا تتعرض اللحوم لفقد محسوس فى الوزن نتيجة الجفاف، ولذلك فإنه عند حفظ اللحوم مبردة يفضل تعبئتها فى أكياس بلاستيك أو لفها فى قماش خفيف لحمايتها من تبخر الرطوبة حيث يصل الفقد فى الوزن إلى 2٪ من وزنها نتيجة بخر الرطوبة. ويلاحظ أن الإنخفاض السريع فى درجة حرارة اللحوم (الصفر المئوى) بعد الذبح مباشرة قد يؤدى إلى ما يطلق عليه الإنكماش التبريدى cold shortening وهذا يؤدى إلى خشونة فى قوام اللحوم.

وأحياناً تستخدم الأشعة فوق البنفسجية (طول موجة2700 A°) فى غرف التبريد لمنع نمو الفطريات . ويمكن تعديل جو غرف التبريد برفع نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الغرف مما يساعد على إطالة فترة تخزين اللحوم المبردة ويقلل من نمو الفطريات والبكتريا التى تسبب تكوين طبقة لزجة على سطح اللحم (شكل رقم 16 - 4) ويجب ألا تزيد نسبة ثانى أكسيد الكربون عن 10٪ حتى لا تسبب تغيير لون اللحم . وقد يؤدى أيضاً إلى سرعة التزنخ فى طبقة الدهن المحيطة باللحوم وأثناء حفظ اللحوم فى غرف التبريد تحدث بها عملية الإنضاج aging ويتحسن قوامها وتزداد طراوتها.



شكل رقم 16 - 4: العدد الكلى للبكتريا الهوائية المعزولة من سطح عينات لحم بقرى مخزنة على درجة حرارة1 م° فى الظلام لفترات مختلفة فى جو معدل من الغازات المختلفة

× مخلوط الغازات (O_2 ٪5، CO_2 ٪25، N_2 ٪70)

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977).

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

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

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

المصدر : Potter & Hotchkis (1995) .

ثانياً : الأسماك :

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

حمولتها من الأحياء الدقيقة قبل تخزينها فى الثلاجات وقد يستخدم ثلج المضادات الحيوية ويمكن حفظ الأسماك مبردة فى الثلج على درجة حرارة 32 - 40 ف لمدة 1-3 أسابيع.

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

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

ثالثاً : الدواجـــن :

يتم تبريد الدواجن مباشرة بعد ذبحها وإزالة الريش وتنظيفها إلى درجة حرارة حوالى 35 ف بإستخدام تيار من الهواء البارد مع المحافظة على رطوبة نسبية 90 ٪ لتجنب حدوث جفاف ونقص فى الوزن إذا إنخفضت الرطوبة النسبية عن هذا الحد. ويمكن حفظ الدواجن مبردة على درجة الصفر المئوى لمدة 7 - 10 يوم وقد تغمر الدواجن فى 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 *Pseudomaus* أكثر الأجناس المسببة للفساد على درجة حرارة1م ويقل تأثيرها بإرتفاع درجات الحرارة بينما جنس *Acinetobacter* ، *Enterobacteriaceae* ليس لهما تأثير ملحوظ على درجة حرارة 1 م ولكن تأثيرها يزداد بإرتفاع درجة الحرارة إلى 10 م ، 15 م.

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

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

المصدر : Desrosier & Desrosier(1977) .

رابعاً : البيض :

البيض الطازج بعد وضعه مباشرة يكون خالياً من الميكروبات وهذا يرجع إلى التركيب الطبيعى والكيماوى للبيض ، ويرجع فساد البيض الطازج إلى نمو الأحياء الدقيقة . ولحفظ البيض بالتبريد يجب أن يكون نظيفاً خالياً من القاذورات ويتم فحص البيض للتأكد من سلامة القشرة كما يفحص بإستخدام الضوء candling للتأكد من خلو البيض من أية عيوب، ويتم تعبئة البيض فى علب كرتون بها فتحات للتنفس أو صناديق من الخشب . والبيض قد يمتص الروائح من المواد الأخرى فى غرف التبريد ولذلك فإنه يجب تخزينه فى حجرات خاصة ويجب تجديد الهواء فى 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 ٪.

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

لإنخفاض الرطوبة يحدث فقد لغاز ثانى أكسيد الكربون خلال ثقوب القشر مما يسبب إرتفاع قلوية البيض.

ويمكن تعديل جو غرف التخزين برفع نسبة ثانى أكسيد الكربون لإطالة فترة التخزين، وحالياً ينصح بتغطية البيض بطبقة من زيت معدنى لتقليل الفقد فى الرطوبة، وغاز ثانى أكسيد الكربون يقلل من نفاذ الهواء مما يؤدى إلى تقليل التغيرات الكيماوية والفيزيقية 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 وتحتفظ بمظاهر الحياة التى تمكنها من مقاومة عوامل الفساد أى أنها تقاوم فعل الأحياء الدقيقة وبالتالى تؤخر من فسادها.

والفاكهة والخضروات تستمر فى التنفس أثناء حفظها بالتبريد وتحرق السكر وينتج عن ذلك حرارة تعمل ضد نظام التبريد ولذلك فإن الأغذية النباتية تحتاج إلى كفاءة فى التبريد أعلى عن تلك التى تحتاجها الأغذية الحيوانية. وتتفاوت الخضروات والفاكهة من حيث معدلات التنفس وبالتالى فى 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 فى عبوات محكمة القفل، وبصفة عامة يتم تخزين الفاكهة والخضروات على درجة حرارة تتراوح بين 31 ، 32 ف (-0.5، صفر م) 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 فى الرطوبة ولتحسين المظهر.

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

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

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

obeikandl.com

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

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

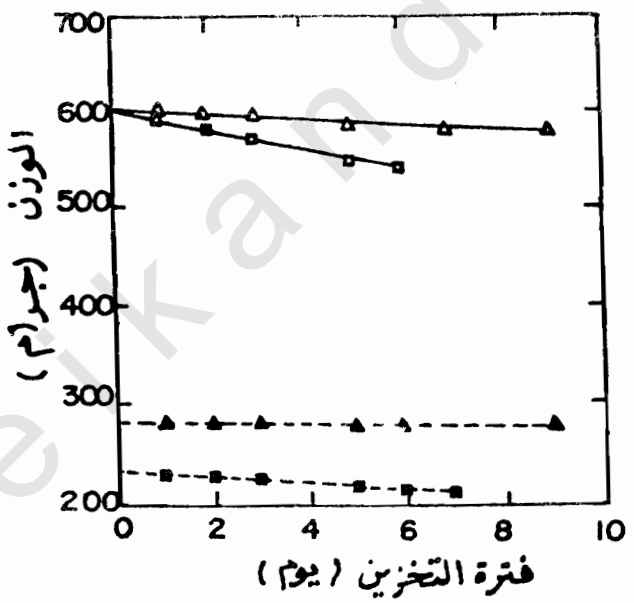
المصدر : مختصر من Potter & Hotchkiss (1995) .

obeikandl.com

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

وقد ثبت نتيجة البحوث العديدة أن التخزين البارد للبطاطس يؤدى إلى إرتفاع نسبة السكر بها وتناقص النشا كذلك فإن تخزين البطاطس على درجات حرارة تتراوح بين40 ، 55°ف (4.4 - 12.8°م) يؤدى إلى تراكم السكريات بمعدل أقل مقارنة بالتخزين على درجات حرارة منخفضة.

وقد أوضحت بعض البحوث أنه يمكن تعبئة الخضروات مثل الفاصوليا الخضراء والفلفل الأخضر فى أكياس بولى – ايثيلين عند تخزينها مبردة على درجة حرارة 10°م وقد أدى ذلك إلى تقليل الفقد فى الوزن (شكل رقم 16 - 5) وفيتامين جـ (شكل رقم 16 - 6)، كما أدى أيضاً إلى تقليل الفقد فى بعض الفيتاميدات الهامة مثل فيتامين ب $_1$.

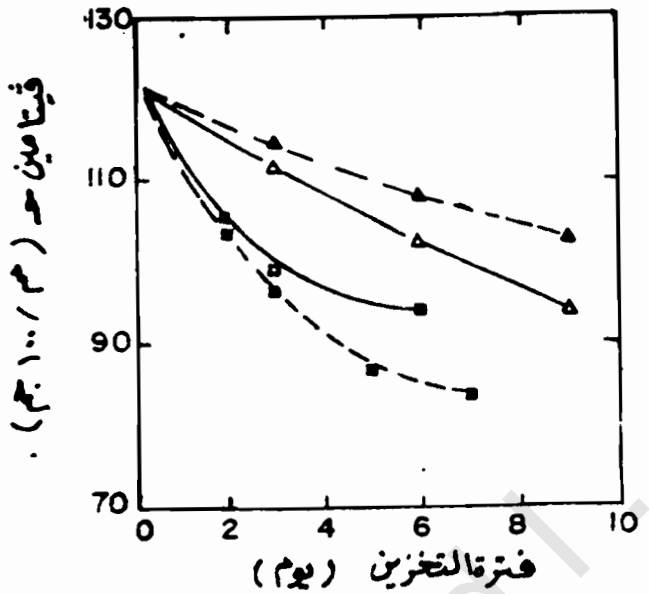


شكل رقم 16 - 5 : تأثير درجة الحرارة والتعبئة على الفقد فى الوزن فى الفلفل الأخضر

△ بدون تعبئة (10°م) ▲ تعبئة فى بولى ايثيلين (10°م)

□ بدون تعبئة (20°م) ■ تعبئة فى بولى ايثيلين (20°م)

المصدر : Watada *et. al* (1987).



شكل رقم 16 - 6 : تأثير درجة الحرارة والتعبئة على الفقد فى فيتامين جـ فى الفاصوليا الخضراء

▲ بدون تعبئة (10°م) ▲ تعبئة فى بولى ايثيلين (10°م)

□ بدون تعبئة (20°م) ■ تعبئة فى بولى ايثيلين (20°م)

المصدر : Watada *et. al* (1987) .

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

أولاً : تلف التبريد : Cold Injury

تتعرض بعض أصناف الفاكهة والخضر 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 والخضر درجة حرارة يطلق عليها الدرجة الحرجة critical temperature وهى درجة الحرارة التى إذا إنخفضت 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

الصنـــــف	الدرجة الحرجة×		نوع تلف التبريد ××
	م°	ف°	
الليمون البلدى lime	7 - 9	45 - 48	تشقق وتكون طعم مر
الليمون الأصاليا lemon	14	58	تشقق وتبقع وتكون لون بنى محمر
البرتقال	3	38	ضمور وتبقع فى القشرة وتكون لون بنى
التفاح	2 - 3	36 - 38	لون بنى بالداخل – ليونة فى الأنسجة
المانجو	10 - 13	50 - 55	أسوداد بالداخل وانكماش فى الجلد
الشمام	7 - 10	45 - 50	تبقع – عدم نضج – تدهور فى الصفات
الموز	12 - 13	53 - 56	يكتسب لون غامق
البطاطس	3	38	اسوداد وتكون لون بنى وزيادة نسبة السكر
الخيار	7	45	تبقع وتقوب صغيرة
الفاصوليا الخضراء	7	45	بقع غامقة وبقع صدأ
الباميه	7	45	بقع سوداء وبقع مائية
البطاطا	13	55	بقع واسوداد فى الداخل
الباذنجان	7	45	انكماش – وفطريات بالداخل
الطماطم الخضراء	13	55	عدم إكتمال اللون عند النضج وليونة وفساد سريع
الطماطم الحمراء	7 - 10	45 - 50	ليونة وقابلية للتحلل والتلف

× 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 جـ بطول فترة التخزين.

oberkamdi.com

جدول رقم 16 - 9 : الفقد فى فيتامين جـ أثناء تخزين بعض أصناف الخضر مبردة

الصنف	ظروف التخزين			الفقد (٪)
	الفترة بالأيام	درجة الحرارة ف°	م°	
الأسبرجس	1	35	1.7	5
	7	32	0	50
البروكلى	1	46	7.8	20
	4	46	7.8	35
الفاصوليا الخضراء	1	46	7.8	10
	4	46	7.8	20
السبانخ	2	32	0	5
	3	34	1.1	5

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977) .

ثانياً : التلف بالأمونيا :

تستخدم الأمونيا بكثرة فى أجهزة التبريد التجارى، وقد يتسرب الغاز من الأنابيب فتتعرض الفاكهة والخضر للتلف ويبدأ التلف بتلون أنسجة المواد الغذائية الخارجية باللون البنى المخضر ثم يزداد ظهور اللون تدريجياً فى 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 الذى يصيب الفاكهة والخضروات أثناء التخزين البارد هو التعفن الطرى البكتيرى bacterial soft rot والتعفن الناتج من نمو بعض الأعفان التابعة للأجناس *Penicillium*، *Rhizopus* .

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

2 - 16 التجميـد : Freezing

يعتبر التجميد من أفضل طرق حفظ الأغذية لفترة طويلة حيث أن خواص الأغذية المجمدة تكون مشابهة للأغذية الطازجة بدرجة تفوق أى طريقة أخرى من طرق الحفظ (التجفيف - التعليب ... ألخ) حيث تحتفظ المواد الغذائية بخواصها الطبيعية (اللون - النكهة - القيمة التغذوية) لأن التجميد يثبط العوامل المسئولة عن فساد الأغذ ؛ على درجات الحرارة العادية.

وقد بدأ حفظ الأغذية بالتجميد منذ زمن بعيد حيث أستخدمه سكان المناطق الشمالية الباردة من الكرة الأرضية فى تجميد الأسماك واللحوم فى فصل الشتاء عن طريق تجميدها بالهواء الجوى البارد.

وفى منتصف القرن الثامن عشر بدأ تطبيق التجميد على نطاق صناعى وذلك بتجميد الأسماك بواسطة مخلوط من الثلج والملح، ثم بدأ إستخدام التجميد الميكانيكى غاز الأمونيا فى تجميد الأسماك واللحوم والدواجن، وفى بداية القرن التاسع عشر جمدت الفواكه والخضروات على نطاق تجارى كبير .

ويعتبر Clarence Birdseye من أشهر العلماء فى تكنولوجيا التجميد وكان له الفضل الكبير فى تصميم وتطوير أجهزة التجميد السريع، كذلك هناك العديد من العلماء الذين ساهموا فى نجاح تصنيع الأغذية المجمدة مثل Dr. C. R.، Dr. Donald K. Tressler Fellers وأيضاً العلماء M Joslyn، W. V Cruess أول من أوضحا ضرورة عملية السلق لتثبيط الإنزيمات فى الخضروات قبل التجميد.

وقد أنتشر إستخدام الأغذية المجمدة حوالى عام 1930 فى الولايات المتحدة الأمريكية وأصبحت تجارة الأغذية المجمدة من أهم أنواع التجارة . وقد ازداد إنتاج الأغذية المجمدة فى الدول الأوروبية والولايات المتحدة الأمريكية بعد الحرب العالمية الثانية وإنتشر إستهلاك الأغذية المجمدة بصور متعددة بعد حدوث تطور كبير فى صناعتها مثل الأغذية المجمدة سابقة التجهيز (أصابع السمك المعدة للقلى وشرائح الدجاج وفطائر الفاكهة ... ألخ)

والوجبات الكاملة المجمدة مثل الوجبات المستهلكة فى المستشفيات والمدارس والفنادق.. الخ.
ويعرف التجميد بأنه خفض درجة حرارة المادة الغذائية إلى درجة حرارة أقل من الدرجة التى يتجمد عندها السائل الخلوى عادة إلى –18م (صفر ف) أو أقل.

16 - 2 - 1 نقطة تجمد الأغذية : The freezing point of foods

من الخصائص الأساسية للمحاليل المائية أن ازدياد تركيز المواد الصلبة الذائبة بها يؤدى إلى خفض درجة تجمدها. وكلما إزداد تركيز المواد الذائبة مثل الملح أو السكر أو البروتينات الذائبة فى محلول ما أدى ذلك إلى خفض درجة الحرارة التى يتجمد عندها المحلول.

تحتوى الخلايا الحية سواء الحيوانية أو النباتية على نسبة مرتفعة من الماء (حوالى ثلثى وزنها أو أكثر ماء) كما تحتوى الخلايا على مواد عضوية وغير عضوية وهذه تشمل الأملاح والسكريات والأحماض الذائبة فى الماء بالإضافة إلى وجود مواد أكثر تعقيداً وهى البروتينات فى صورة معلق غروى وإلى حد ما بعض الغازات الذائبة.

عند خفض درجة حرارة الماء إلى درجة الصفر المئوى فإن الماء يتحول إلى بللورات ثلجية ولكن فى السوائل فإن المواد الذائبة فى المحلول تقلل من حركة جزيئات الماء أى ترفع لزوجة السائل أو تخفض من الضغط البخارى للمحلول أى تخفض من نقطة التجمد للسائل بمعنى آخر يتجمد السائل عند درجات حرارة أكثر إنخفاضاً من الصفر المئوى (جدول رقم 16-10).

جدول رقم 16 - 10 : تأثير زيادة تركيز المادة المذابة على نقطة تجمد السوائل

نقطة التجمد م°	تركيز كلوريد الكالسيوم فى الماء (الكثافة النوعية)
0	1.00
2 -	1.05
6 -	1.10
12 -	1.15
21 -	1.20
32 -	1.25
41 -	1.30

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977).

والمعروف أن درجة التجمد لأى سائل أو محلول هى درجة الحرارة التى يحدث عندها إتزان بين السائل والصلب . ولأن المواد الذائبة فى السوائل تخفض الضغط البخارى لها لذلك لن يكون هناك اتزان بين السائل والصلب عند درجة التجمد العادية (الصفر المئوى) ، ولكن يحتاج الأمر إلى خفض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى حتى يحدث الإتزان.

وبما أن الأغذية المختلفة تحتوى على نسب ماء مختلفة وكذا نسب مختلفة من المواد الذائبة بها لذلك ستكون لها درجات تجمد مختلفة أقل من الصفر المئوى (شكل رقم 16 - 7) وستحتاج إلى زمن للتجميد يختلف من نوع لآخر. ولذلك فإن الأصناف المختلفة من الفاكهه والخضروات ستختلف فى سلوكها أثناء التجميد.

16 - 2 - 2 منحنى التجميد : Freezing curve

تختلف سرعة تجمد المواد الغذائية عن بعضها البعض فمثلاً قطعة من اللحم أو علبة شرائح تفاح معبأ فى محلول سكرى لن يحدث التجمد فيها بطريقة متجانسة ولن يحدث

تحول مفاجئ من سائل إلى صلب عند وضع المادة الغذائية فى المجمد بخلاف علبة من اللبن أو العصير إذا وضعت فى المجمد فسيبدأ التجميد فى السائل القريب من جدران العلبة وستكون أول البلورات هى ماء نقى وعند تجمد الماء سيزداد تركيز اللبن أو العصير من البروتين والدهن والسكر والمعادن وهذا المركز سيتجمد ببطء وتدريجياً بتقدم عملية التجميد وفى النهاية يتبقى سائل غير متجمد ذو تركيز مرتفع جداً إلى أن تنخفض درجة الحرارة بدرجة كبيرة فيحدث التجميد.

شكل رقم 16 - 7 : نقطة تجمد بعض الأغذية

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977) .

obeikandl.com

وتبعاً للتعريف الذى وضعه المعهد الدولى للتبريد The International Institute of Refrigeration فإن المنتج الغذائى سيمر بثلاث مراحل من درجات الحرارة أثناء عملية التجميد.

أولاً: التبريـد Cooling أو Prefreezing :

المرحلة الزمنية التى يمر بها المنتج الغذائى من درجة الحرارة الإبتدائية إلى درجة الحرارة التى يبدأ عندها بلورة الماء على هيئة بللورات ثلجية (بداية نقطة التجميد) وفى هذه المرحلة يتم إزالة الحرارة المحسوسة senible heat.

ثانياً : التجميـــد : Freezing

وهذه المرحلة تكون فيها درجة الحرارة ثابتة تقريباً ويتم فيها بللورة معظم الماء الموجود فى صورة بللورات ثلجية ويتم فيها إزالة الحرارة الكامنة latent heat (الحرارة اللازم إزالتها من الماء ليتحول إلى ثلج بدون تغيير فى درجة الحرارة).

ثالثاً : تعديل الحرارة لدرجة حرارة التخزين Tempering

أو Reduction to storage temperature

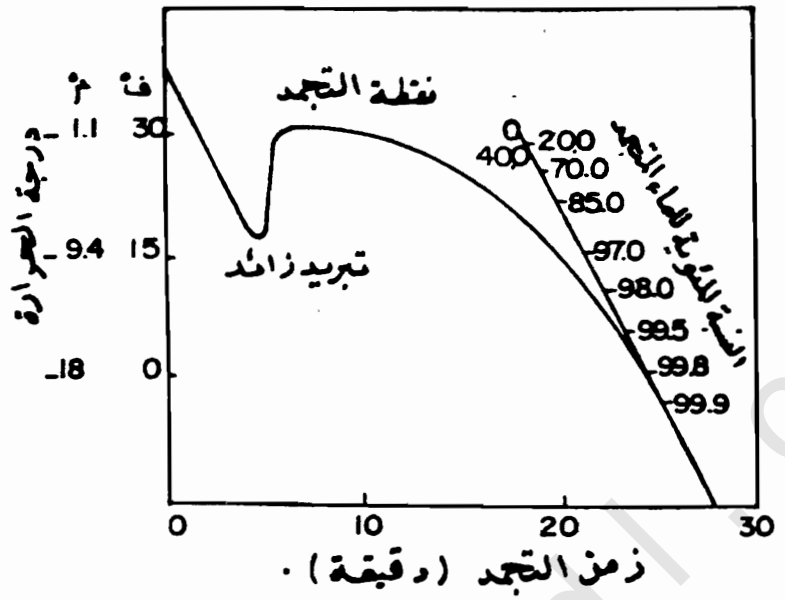
وهى المرحلة التى يتم فيها خفض درجة حرارة المنتج الغذائى (الحرارة المحسوسة) إلى الدرجة النهائية التى يخزن عليها المنتج الغذائى.

من المعروف أن نقطة تجمد الماء النقى هى الصفر المئوى (32ف) ولكن فى الحقيقة أن الماء لا يبدأ فعلاً فى التجمد عند هذه الدرجة ولكن عادة يحدث إنخفاض فى درجة حرارة الماء أى يصبح الماء مبرداً تبريداً زائداً Super cooled فتنخفض حرارته إلى أقل من الصفر المئوى قبل أن تبدأ بللورات الثلج الصغيرة فى التكون وتعمل كنواة لتبدأ عملية التجميد بعد ذلك وبمجرد تكون هذه البللورات ترتفع درجة الحرارة مرة أخرى إلى درجة الصفر المئوى وذلك بسبب الحرارة الكامنة للتبلور latent heat crystallization. ولا تنخفض درجة حرارة مخلوط من الماء والثلج عن الصفر المئوى مادام هناك ماء حر بدون تجمد. وبعد تحول كل الماء إلى ثلج سوف تنخفض الحرارة عن الصفر المئوى وتصل درجة الحرارة

تقريباً إلى درجة حرارة المجمد . وهذا يحدث أيضاً فى المواد الغذائية المحتوية على ماء ولكن بطريقة أكثر تعقيداً لأن المادة الغذائية تحتوى على مواد ذائبة أخرى. وكما يتضح من منحنى التجميد لشريحة من لحم البقر (شكل رقم 16-7) حيث توضع شريحة اللحم فى مجمد درجة حرارته –18°م مع تسجيل درجة حرارة قطعة اللحم مع الزمن وتسجيل النسبة المئوية للماء الذى يتم تجميده بتقدم عملية التجميد، فيتضح أنه عند تبريد قطعة اللحم فإن درجة حرارتها تنخفض إلى درجة حرارة منخفضة super cooled عن درجة حرارة تجمد اللحم (الجزء الأول من المنحنى يتم فيه إزالة الحرارة المحسوسة بدون تكون بللورات ثلجية) حتى تبدأ نويات الثلج فى التكون ومن ثم فإن الحرارة الكامنة للتبلور سترفع درجة الحرارة إلى درجة حرارة التجمد وهى أقل من درجة 32 °ف (درجة تجمد اللحم 28 إلى 29 °ف).

وبتقدم التجميد يلاحظ إنخفاض المنحنى وستنخفض درجة الحرارة إلى أقل من درجة تجميد اللحم بسبب انفصال الماء فى صورة بللورات ثلجية وزيادة تركيز المواد الذائبة. وتستمر زيادة التركيز بتقدم التجميد ويحتاج إلى درجة حرارة منخفضة جداً حتى يتم التجميد. فيلاحظ من المنحنى السابق أنه عند درجة حرارة 25 °ف يتم تجميد حوالى 70 ٪ من الماء وتبدو قطعة اللحم صلبة متجمدة بينما عند درجة حرارة 15 °ف فإنه حوالى 3 ٪ من الماء يكون غير مجمد وأيضاً على درجة الصفر الفهرنيتى فإنه مازال يوجد جزء من الماء غير متجمد وهذه الكمية الصغيرة من الماء مهمة حيث يذوب فيها جزء من المواد الذائبة وتكون بحالة مركزة وقد يحدث بها تفاعلات بين المكونات وبعضها. وبما أن الأغذية تتفاوت فى التركيب الكيماوى فإنها تتفاوت أيضاً فى أشكال وخواص منحنيات تجمدها. وبصفة عامة يمكن دائماً تحديد منطقة التبريد الزائد super cooling والتى يليها مباشرة الإرتفاع إلى نقطة التجميد وما يعقبه من إنخفاض فى درجة الحرارة طالما أنه يوجد إختلاف بين درجة حرارة المادة الغذائية ودرجة حرارة الوسط المحيط (المجمد).

obeikandl.com



شكل رقم 16 - 8 : منحنى التجميد لشريحة من اللحم

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

ومن المعروف أن الماء فى المواد الغذائية يوجد فى أكثر من صورة فيوجد فى صورة ماء مرتبط bound water وماء حر free water . والبعض يعرف الماء المرتبط بأنه الماء الذى لا يتم تجميده على درجة حرارة -20ف بينما الماء الحر فيكون ذا صفات طبيعية وكيماوية مشابهة للماء السائل ويتم تجميده تبعاً لظروف المحلول الموجود به. جدول رقم 16-11 يوضح النسبة المئوية للماء المتجمد فى بعض الأغذية على درجات الحرارة المنخفضة . وكمية الماء المرتبط فى المواد الغذائية غير محددة وتختلف تبعاً لنوع المادة الغذائية وكلما إنخفضت نسبة الماء الحر فى المواد الغذائية كلما أدى ذلك إلى تحسين خواص المواد الغذائية المجمدة.

جدول رقم 16-11 : النسبة المئوية للماء المتجمد فى بعض الأغذية على درجات حرارة مختلفة

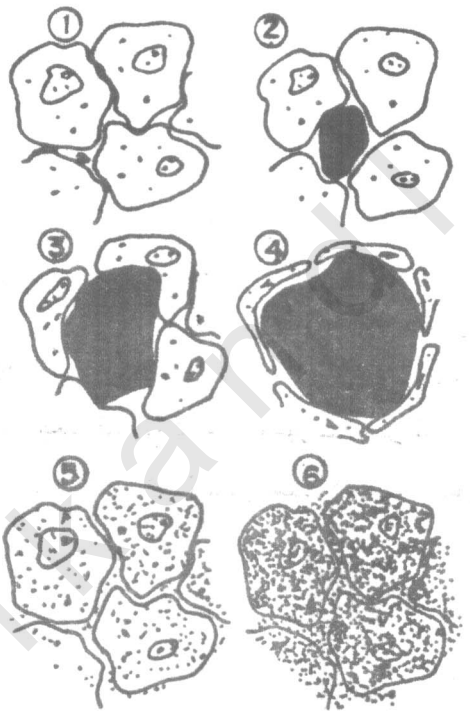
المادة الغذائية	الرطوبة %	نقطة التجميد م°	النسبة المئوية للثلج من الماء الكلى م°					النسبة المئوية للثلج فى المادة الغذائية م°				
			5-	10-	15-	20-	30-	5-	10-	15-	20-	30-
لحم بتلو	74	1-	74	82	85	87	88	55	61	63	64	65
سمك وقار	80	1-	77	84	87	89	91	62	67	70	71	73
صفار البيض	50	2-	80	85	86	87	87	40	43	43	43	43
بياض البيض	86	1-	87	91	93	94	94	75	78	80	81	81
البسلة	76	0.9-	64	80	86	89	92	49	61	65	68	70
السبانخ	90	0.7-	88	93	95	96	97	79	84	86	86	87
التوت	83	1.2-	87	91	94	96	97	72	76	78	80	81
عصير فاكهة	88	1-	72	85	90	93	96	63	75	79	82	84
خبز أبيض	35	4-	5	33	43	45	46	2	11	15	16	16

المصدر : مختصر من Jul (1984).

16 - 2 - 3 حجم البللورات الثلجية : Size of Ice Crystals

يتوقف حجم البللورات الثلجية المتكونة على سرعة عملية التجميد، فإذا تم تكون البللورات الثلجية ببطء فإن ذلك يؤدى إلى كبر حجمها وتكون إبرية الشكل وهذا ما يطلق عليه التجميد البطئ slow freezing ويتم تكون البلورات الثلجية خارج

الخلاياextracellular freezing فى الأنسجة النباتية أو خارج الألياف فى الأنسجة الحيوانية كما يتضح من شكل رقم 16 - 9 حيث يتضح نمو البلورات الثلجية فى التجميد البطئ (أشكال 4, 3, 2, 1) . ونتيجة كبر حجم البلورات الثلجية فعند تفكيك thawing المواد المجمدة ينتج عنه تمزق للجدار الخلوى للخلايا وفقد فى معظم السائل البروتوبلازمى عند الإذابة نتيجة صعوبة إمتصاصه مرة أخرى وهذا السائل المنفصل يطلق عليه drip وهو محلول يحتوى على عناصر غذائية قابلة للذوبان به ويحتوى أيضاً على بعض البروتينات



شكل رقم 16 - 9: تكون بلورات الثلج فى الأنسجة

الأشكال (4,3,2,1): توضح نمو البلورات الثلجية فى التجميد البطئ

الأشكال (6،5) : توضح البلورات الثلجية فى التجميد السريع

المصدر : Fennema 1975 .

obeikandl.com

ومواد النكهة والتى تفقد مع السائل وبذلك تقل جودة الأغذية المجمدة. ويؤدى إنفصال هذا السائل إلى تغيير فى تركيب البروتينات حيث يسبب دنترة البروتين ويصبح غير قادر على إمتصاص السائل المنفصل مرة أخرى بعد عملية التفكيك ويكون من الصعب المحافظة على النظام الغروى فى الخلايا وتصبح الأنسجة لينة القوام وغير مقبولة . وأفضل مثال على ذلك التجميد البطئ للفراولة حيث يؤدى إلى ليونة وطراوة فى القوام. أيضاً يكون للبلورات الثلجية الكبيرة تأثير ضار على قوام المستحلبات مثل الزبدة والآيس كريم والجل، فيلاحظ أن الزبدة تتكون بها بللورات ثلجية كبيرة الحجم داخل قطرات الماء المنتشرة فى الدهن. وعند تفكيك الزبد ينفصل الماء وتتكون جيوب هوائية داخل الزبد . ويتشابه الجل مع الزبد فى إنفصال الماء منه أو ما يطلق عليه syneresis أما فى الآيس كريم فإن البللورات الثلجية ذات الحجم الكبير ستضر الفقاعات الرغوية به مما يؤدى إلى إنخفاض حجم الآيس كريم أثناء التخزين أو حدوث التفكيك الجزيئ له.

وإذا تم التجميد بسرعة Quick freezing فإن حجم البللورات الثلجية المتكونة تكون صغيرة فى الحجم وتتكون داخل الخلايا النباتية أو الحيوانية كما يتضح من شكل رقم 16-9 (أشكال 6,5) ويسمى Intracellular freezing فى الأغذية النباتية أو Intrafiber freezing فى الأغذية الحيوانية. والتجميد السريع له عدة مميزات يمكن تلخيصها فى الآتى :

أ- الضرر الذى ينتج من البللورات الثلجية يكون محدوداً نتيجة صغر حجم البلورات الثلجية.

ب- قصر مدة التجميد.

جـ- تثبيط ثم إيقاف نمو الأحياء الدقيقة نتيجة إستخدام درجات حرارة منخفضة جداً وقصر مدة التجميد.

د - خفض النشاط الإنزيمى مما يساعد على الإحتفاظ بجودة المواد الغذائية المجمدة.

هـ - المواد الغذائية المجمدة بالطرق السريعة تحتفظ بخواصها وتتشابه إلى حد كبير مع المواد الغذائية الطازجة بسبب إحتفاظ بروتيناتها بخواصها الطبيعية. ومن السهل أن تمتص السائل المنفصل مرة أخرى.

وبصفة عامة كلما كان معدل التجميد سريعاً أمكن الإحتفاظ بجودة عالية للأغذية. ويفضل أن يكون معدل التجميد حوالى 1.3 سم (0.5 بوصة) فى الساعة. أى أن العبوة التى

سمكها حوالى5 سم يمكن أن يتم تجميدها فى فترة حوالى ساعتين (درجة حرارة -18م أو أقل) بإستخدام المجمد ذو الأرفف. تبعاً لنوع وطبيعة المادة الغذائية.

16 - 2 - 4 التغيير فى الحجم أثناء التجميد : Volume changes

يحدث تمدد وزيادة فى الحجم أثناء التجميد حيث أن الماء النقى على درجة حرارة الصفر المئوى يتمدد ويزداد فى الحجم بنسبة 10٪ عندما يتحول إلى ثلج على نفس درجة الحرارة. ومعظم الأغذية تزداد فى الحجم عند تجميدها ولكن بدرجة أقل من الماء النقى وتختلف المواد الغذائية فى مدى زيادة حجمها نتيجة التجميد وهذا يتوقف على تركيب المادة الغذائية والنسبة المئوية للرطوبة بها ونسبة الماء الحر والماء المرتبط بها. كذلك النسبة المئوية لحجم الهواء بها. فوجود الفراغات الهوائية بين الخلايا يقلل من مدى التمدد الملحوظ فى الحَجم. ولقد لوحظ أن زيادة تركيز المواد الذائبة فى الماء يقلل من الزيادة فى الحجم فمثلاً المحاليل السكرية المركزة لا تزداد فى الحجم عند التجميد بل قد يحدث نقص فى الحجم. مثال الفراولة التى يتم تعبئتها فى محلول سكرى فإن حجمها يزداد بدرجة ضئيلة بعد تجميدها.

16 - 2 - 5 زيادة تركيز المواد الذائبة :

يجب المحافظة على الأغذية المجمدة فى حالة صلبة كاملة أو فى حالة أقرب ما تكون إلى ذلك طوال فترة تخزينها. ووجود جزء غير متجمد فى مركز المادة الغذائية يؤدى إلى تدهور جودتها من حيث القوام واللون والنكهة بالإضافة إلى إحتمال نمو الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة وأيضاً زيادة نشاط الإنزيمات. بالإضافة إلى ما سبق فإنه يحدث تدهور فى جودة الأغذية المخزنة فى حالة تجمد جزئ (غير صلبة كلية) ويرجع ذلك إلى ازدياد تركيز المواد الذائبة فى الماء المتبقى وفيما يلى نوجز أهم الأضرار التى تنتج فى الأغذية نتيجة لذلك:-

أولا : حدوث قوام حبيبى (رملى) فى المادة الغذائية بسبب ترسيب بعض المواد الذائبة كما يحدث عند تبلور كميات ملحوظة من سكر اللاكتوز فى المثلوجات اللبنية (الآيس كريم).

ثانيـاً: المواد المركزة قد تسبب دنترة البروتين وحدوث ترسيب له salting out .

ثالثـاً : المواد الذائبة لها تأثير حمضى وتسبب إنخفاض فى رقم الأس الهيدروجينى (pH) إلى أقل من نقطة التعـادل الكهـربى Isoelectric point (الذوبان أقل مـا يمكن) للبروتين مما يؤدى إلى تجمع وترسيب البروتين.

رابـعاً: يحدث تغيير فى الحالة الغروية نتيجة حدوث التركيز حيث تتكون البللورات الثلجية وعند التفكيك لا تستطيع الخلايا إمتصاص الماء مرة أخرى لتعود الخلايا إلى الحالة الطبيعية.

خامساً: قد يؤدى ازدياد التركيز إلى جفاف الأنسجة وذلك نتيجة تكون البللورات الثلجية خـارج الخليـة وازدياد تركيـز المواد الذائبـة المجـاورة للبلورات الثلجيـة فيـبدأ الماء بالإنتشار من الخلايا خلال أغشيتها إلى المناطق ذات التركيز الأعلى للوصول إلى التوازن الأسموزى osmotic . ونادراً ما يحدث الإنتشار فى الإتجاه العكسى عند إزالة حالة التجميد مما يترتب عليه فقد الأنسجة لقوامها اللين.

16 - 2 - 6 درجة الحرارة النهائية للتجميد :

بدراسة التغيرات المختلفة التى يمكن أن تحدث فى الأغذية نتيجة التجميد من حيث التغيرات فى القوام والتغيرات الفيزيقية والتفاعلات الكيماوية والإنزيمية ونشاط الأحياء الدقيقة يمكن القول بأن درجة حرارة مركز المادة الغذائية يجب أن يصل إلى –18م (الصفر ف) والبقاء عليها أثناء التخزين مع العلم أن كثيراً من الأغذية يتم تجميدها على درجة حرارة أقل من ذلك (التجميد السريع) . وإختيار درجة حرارة –18م لضمان عدم حدوث فساد فى الأغذية حيث أن الميكروبات المرضية pathogens لا تنمو على درجات حرارة أقل من 3.3 م (38ف) والأحياء الدقيقة المسببة لفساد الأغذية لا تنمو عادة عند درجة حرارة أقل من – 9.4م (15ف) لذلك فإن إختيار درجة حرارة –18م يوفر الكثير من عوامل الأمان وضمان عدم وجود أى مسببات للفساد نتيجة نمو الأحياء الدقيقة.

أما نشاط الإنزيمات فإنه لا يتوقف عند درجة حرارة –18م ولكنه يستمر ببطء شديد (بعض الإنزيمات قد تظل نشطة على درجة حرارة –73م) حيث أن معظم الأغذية يظل بها

جزء من الماء غير مجمد على درجات الحرارة المنخفضة (-9.4°م أو15 °ف) ولكن بصفة عامة التخزين على درجة حرارة -18°م يخفض كثيراً من النشاط الإنزيمى الذى يسبب تدهور خواص معظم الأغذية. وفى الخضروات والفاكهة يجب تثبيط نشاط الإنزيمات قبل التجميد ويتم ذلك بواسطة السلق أو المعاملة الكيماوية. كما أن هذه الدرجة لا توقف التفاعلات الكيماوية غير الإنزيمية ولكن يخفضها بدرجة كبيرة. والقاعدة العامة التى تنص على معدلات التفاعلات الكيماوية تنخفض إلى النصف لكل إنخفاض فى درجة الحرارة مقداره 10 درجات مئوية (18° فهرنتية) لا تنطبق تماماً على المجال الحرارى الذى يتم فيه التجميد وذلك بسبب حدوث تفاعلات كثيرة فى المحلول المركز بالأغذية المجمدة.

وبصفة عامة يمكن القول أنه كلما إنخفضت درجة الحرارة كلما إنخفض معدل التفاعلات الكيماوية وإنخفضت كمية الماء غير المجمد الذى يعمل مذيباً للمواد فى التفاعلات الكيماوية.

16 - 2 - 7 زمن التجميد : Freezing time

يمكن تعريف زمن التجميد بأنه الفترة الزمنية من بداية مرحلة التبريد حتى الوصول إلى درجة الحرارة النهائية (درجة حرارة التخزين). وعملياً يعتبر زمن التجميد هو الزمن اللازم لخفض درجة حرارة المنتج الغذائى إلى درجة حرارة -18°م أو درجة حرارة الإتزان equalization temperature . وزمن التجميد يعتمد على عدة عوامل أهمها :

أ- درجة الحرارة الإبتدائية والنهائية للمادة الغذائية.

ب - كمية الحرارة اللازم إزالتها من المادة الغذائية.

جـ - كمية المادة الغذائية المراد تجميدها.

د - خواص المادة الغذائية (الكيميائية والفيزيقية).

هـ - حجم ونوع العبوة المستخدمة.

16 - 2 - 8 سعة المجمد : Freezer capacity

وهى تمثل الإحتياجات اللازمة لتجميد كمية معينة من المادة الغذائية فى الساعة.

obeikandl.com

وكقاعدة عامة تستخدم المعادلة التالية لأى نوع من المجمدات

$$C = Q / F = Vq / F$$

حيث أن:

C: سعة المجمد وتحسب طن / الساعة .

Q: الكمية بالطن للمادة الغذائية التى ستجمد .

F: زمن التجميد الكلى للوصول إلى درجة -18م بالساعة.

V: الحجم ($م^3$) للمنتج الغذائى الذى سيجمد.

q: وزن الحجم طن / $متر^3$ من المنتج الغذائى.

ويلاحظ أن المنتجات الغذائية ستختلف فى زمن التجميد الكلى ولذلك ستختلف سعة المجمد باختلاف المنتجات الغذائية.

16 - 2 - 9 طرق التجميد : Freezing methods

يستخدم ثلاث طرق رئيسية لتجميد الأغذية على نطاق تجارى وهى : التجميد بالهواء air freezing – التجميد بالتلامس غير المباشر مع سائل التبريد Indirect contact freezing – التجميد بالغمر المباشر فى وسط التجميد Immersion freezing .

16 - 2 - 9 - 1 التجميد بالهـــواء : Air freezing

يستخدم الهواء البارد فى تجميد الأغذية بعدة طرق تختلف تبعاً لسرعة الهواء المستخدم.

أولاً: التجميد بالهواء الساكن : Still-air (sharp) freezing

يستخدم الهواء البارد الساكن still air فى تجميد الأغذية وهى من أقدم طرق التجميد بالهواء وأقلها فى التكاليف . حيث يتم وضع المواد الغذائية فى غرف مبردة ومعزولة على درجات حرارة تتراوح بين -23.3م (-10ف)، -28.9م (-20 ف) وقد بدأ إستخدام هذه الطريقة عام 1860 وأطلق عليها sharp freezing أو التجميد الحاد حيث أن أى إنخفاض فى

درجة الحرارة أقل من –18 م يعتبر انخفاضا كبيرا وحادا فى درجة الحرارة. وحركة الهواء فى غرف التجميد بسيطة تنتج من تيارات الحمل الطبيعية للهواء أو بسبب وضع مراوح لتحريك الهواء داخل غرف التجميد ولذلك يطلق عليها still air.

ويلاحظ أن معدل التجميد فى هذه الطريقة بطئ ولذلك تتجمد المواد الغذائية فى فترة تتراوح بين 12-72 ساعة ويتوقف ذلك على حجم وتركيب المادة الغذائية ونوع العبوات المستخدمة. ويلاحظ أن التجميد البطئ يسبب تكون بللورات ثلجية كبيرة الحجم وهذا يسبب أضراراً بالغة للمواد الغذائية عند تفكيكها ويقلل من جودتها كما سبق ذكره بالمقارنة بطرق التجميد السريع.

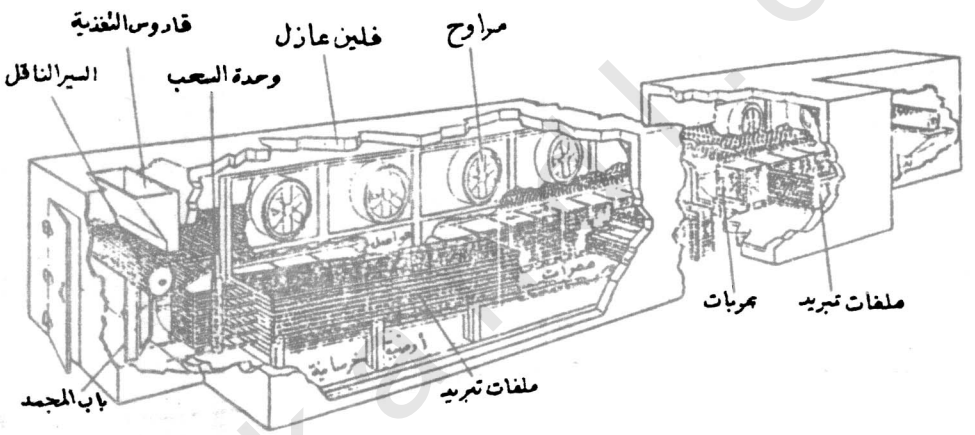
ويلاحظ أن المجمدات المنزلية صممت لتعمل على أساس التجميد بالهواء الساكن إلا أن تشغيلها يتم على درجات حرارة تقارب –18 م وليس فى المجال الحرارى المستخدم فى التجميد على النطاق التجارى السابق ذكره (–28.9 إلى –23.3 م).

ثانياً : التجميد بالهواء المدفوع : Air blast freezing

يستخدم الهواء البارد المدفوع بسرعة كبيرة تتراوح بين 2000 - 3500 قدم / الدقيقة فى تجميد الأغذية وعلى درجة حرارة تتراوح بين –45.5م إلى –28.9م (– 50 إلى –20ف) وبذلك يتم التجميد فى وقت قصير ، ويتم التجميد إما فى غرف خاصةfreezing chambers حيث تجمد الأغذية على دفعات متتالية (دفعة فدفعة) أو تستخدم أنفاق للتجميد freezing tunnels حيث توضع المواد الغذائية على عربات أو على سيور متحركة تمر فى أنفاق التجميد حيث يكون التجميد بطريقة مستمرة ويتم التحكم فى سرعة الهواء داخل النفق وفى سرعة تحرك السيور أو العربات بحيث يتم تجميد الأغذية بنهاية مرورها فى النفق (شكل رقم 16-10).

وكلما ازدادت سرعة الهواء كلما قل زمن التجميد (جدول رقم 16-12)، وعند تصميم أنفاق التجميد قد يمرر الهواء البارد فوق وأسفل المنتجات الغذائية أو خلالها وغالباً يستخدم تيار الهواء البارد فى إتجاه عكس إتجاه مرور المادة الغذائية حيث يلامس الهواء البارد المادة الغذائية المجمدة فى المرحلة الأخيرة لضمان عدم إرتفاع درجة حرارة المادة الغذائية مرة

أخرى بعد تجميدها؛ وهذا بعكس أن يكون الهواء البارد موازياً لإتجاه مرور المادة الغذائية حيث يدخل الهواء البارد مع المادة الغذائية غير المجمدة فى بداية النفق، وفى نهاية النفق ترتفع درجة حرارة الهواء مما قد يؤدى إلى إرتفاع درجة حرارة المادة الغذائية المجمدة فى المراحل النهائية.



شكل رقم 16 - 10 : مجمد النفق بالهواء المدفوع

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

جدول رقم 16 - 12 : العلاقة بين سرعة الهواء ومعدل تجميد شرائح السمك×

سرعة الهـــواء (م / الدقيقة)	زمـن التجميد ساعة
17	7.5
700	5.5
1000	4.0

× درجة حرارة الهواء : - 28°م.

شرائح السمك فى عبوات 5 كجم.

المصدر : Desrosier & Desrosier 1977.

وقد تصمم أنفاق التجميد رأسياً بحيث تتحرك المادة الغذائية على صوانى من أسفل إلى أعلى خلال الهواء البارد بحيث يتم التجميد سريعاً (قد يستغرق 15 دقيقة فقط) للمواد الغذائية ذات السمك القليل.

وحديثاً يستخدم مجمد متعدد السير multitier freezer يتكون من ثلاثة سيور فوق بعضها مع وجود مرواح ومواسير التبريد أعلى السير العلوى (شكل رقم 16 - 11)حيث يمر الملتج الغذائى على السير العلوى أولاً ثم ينقل إلى السير الثانى ثم السير السفلى ليكتمل تجميده ويتم خروجه من المجمد.

وفى هذا المجمد يوفر فى المساحة الأرضية اللازمة للمجمد كما أن كفاءته مرتفعة فى التجميد.

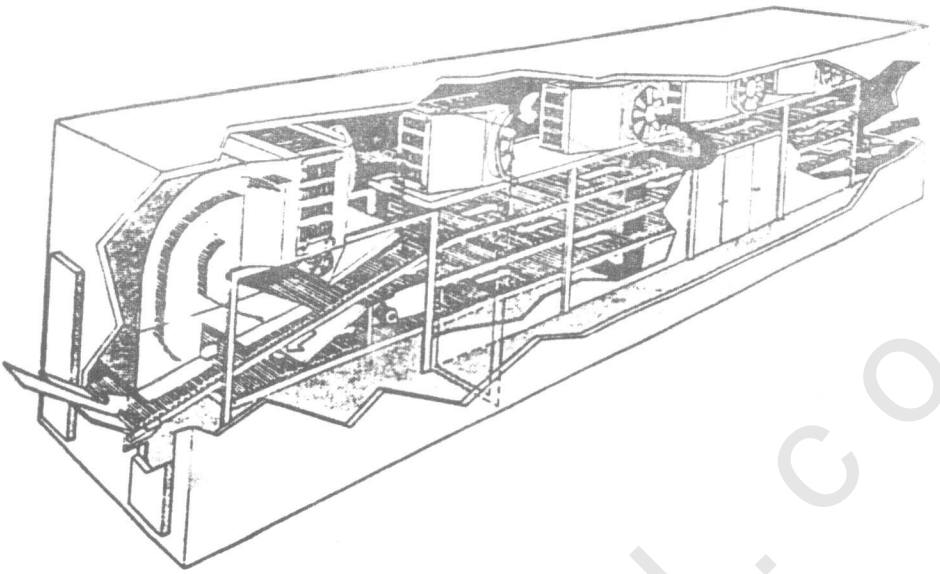
وأيضاً من المجمدات الحديثة مجمد السيور الحلزونى spiral belt freezer حيث يتم تجميد الأغذية باستخدام سير حلزونى (شكل رقم 16-12)حيث تزداد كفاءة عملية التجميد

ويشغل مساحة ضيقة من الأرض.

وحالياً يتم تجميد بعض الأغذية بدون تعبئة فى وحدات منفصلة مثل بعض الخضروات كالبسلة) أو الجمبرى ويطلق على هذه المنتجات Individually quick frozen (IQF) وقد يحدث التصاق لوحدات الأغذية مع بعضها أثناء التجميد ولذلك تمرر على ماكينات خاصة لتفكيكها قبل التعبئة.

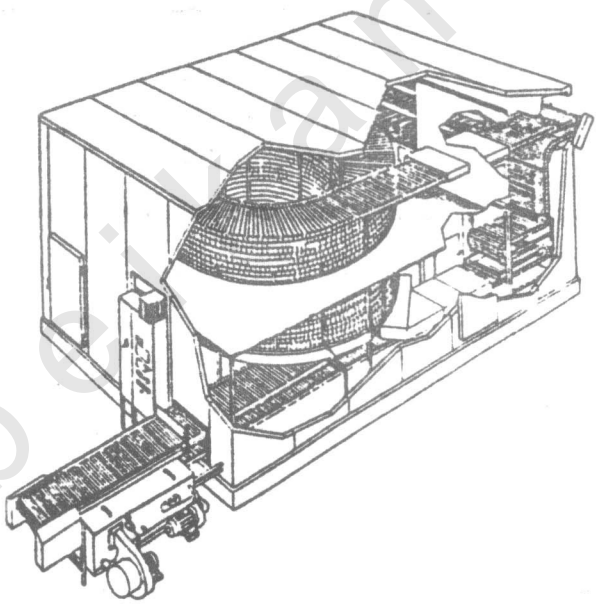
ومن مميزات أنفاق التجميد إمكانية إستخدامها فى تجميد الأغذية غير منتظمة الشكل (الدواجن – اللحوم) وقد تكون الأغذية مغلفة أو بدون تغليف. ومن عيوب إستخدام الهواء البارد فى تجميد الأغذية حدوث جفاف وفقد للرطوبة من الأغذية المجمدة بدون تغليف ويسبب حدوث ما يطلق عليه لسعات التجميد freeze burn خاصة عند مرور هواء بارد بسرعة كبيرة. ولتلافى ذلك يتم تقسيم نفق التجميد إلى عدة أقسام ففى القسم الأول يتم تبريد مبدئى للمواد الغذائية حيث تخفض درجة الحرارة إلى 20 ف ورطوبة نسبية مرتفعة وفى الأقسام التالية فى النفق يتم خفض درجة الحرارة تدريجياً حتى تصل إلى الصفر الفهرنيتى (–18م) وفى القسم الأخير تخفض درجة الحرارة إلى الدرجة المستخدمة فى التجميد حيث يتم التجميد النهائى للمادة الغذائية وبذلك يقل تبخر الرطوبة من الأغذية أثناء التجميد. وقد يستخدم مجمد مبدئى Pre - freezer حيث تمر به المادة الغذائية فى تيار هوائى بارد مشبع بالرطوبة درجة حرارته 25 ف حيث يؤدى إلى تجميد طبقة من الثلج حول المادة الغذائية فيقلل من خطر الجفاف ثم تنقل المادة الغذائية إلى أنفاق التجميد ليتم تجميدها على درجات الحرارة المنخفضة (–30 إلى –20ف) وبالطبع فإن تغليف الأغذية جيداً قبل التجميد لا ينتج عنه حدوث الجفاف أو لسعات التجميد.

وكفاءة أنفاق التجميد مرتفعة حيث يتم تجميد حوالى 3000 - 4000 رطل / الساعة تبعاً لنوع المادة الغذائية ودرجة الحرارة المستخدمة فى التجميد.



شكل رقم 16 - 11 : نفق التجميد ذات السيور المتعددة

المصدر : Hui (1992).



شكل رقم 16 - 12 : نفق التجميد الحلزونى

المصدر : Bald (1991).

obeikandl.com

ثالثاً : التجميد بالهواء على السيور المتحركة (التعويم) :

Fluidized - bed freezing

يُدفع الهواء البارد خلال سيور مثقبة تتحرك حركة إهتزازية تحمل المادة الغذائية أثناء مرورها فى أنفاق التجميد وهذه الحركة تُسرع من معدل تجميد الأغذية. فمثلاً عند تجميد البسلة يلاحظ أنها فى حركة مستمرة مشابهة للغليان حيث تتحرك حبيبات البسلة إلى أعلى وإلى أسفل وهذا لا يتيح الفرصة لها أن تلتصق فى كتل مع بعضها أثناء التجميد وأيضاً يسهل مرور الهواء البارد بين الحبيبات مما يقلل من زمن التجميد الذى لا يتجاوز أكثر من عدة دقائق (جدول رقم 16-13).

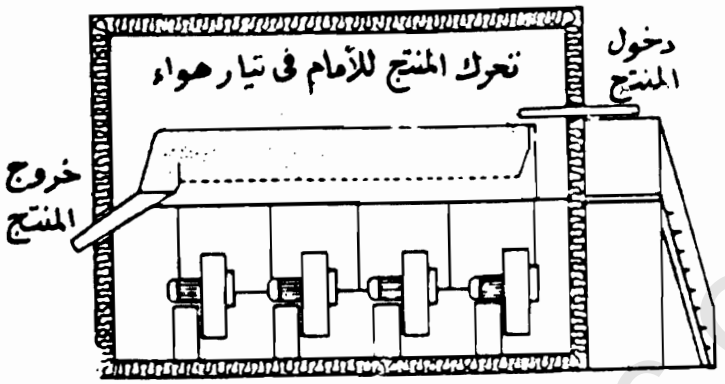
وقد يجرى تبريد مبدئى للمادة الغذائية قبل مرورها داخل النفق لتتكون طبقة من الثلج حول الحبيبات . ومرور الهواء البارد بسرعة كبيرة تؤدى إلى تفكيك الحبيبات وتجميدها بسرعة وفى نهاية السير يتم تجميع الحبيبات وتعبئتها (شكل رقم 16-13)، وهذا النوع من التجميد يلائم المنتجات التى يتم تجميدها مفردة (وحدات منفصلة) IQF وذات حجم صغير مثل البسلة والفراولة والجمبرى. ومن أهم مميزاته :

أ – يتم تجميد الوحدات منفردة (وحدات منفصلة) IQF .

ب – معدل التجميد سريع .

جـ – لا يحدث جفاف للمواد الغذائية بالمقارنة بأنفاق التجميد التى يستخدم بها الهواء المدفوع. حيث لوحظ أنه بتجميد الجمبرى بهذه الطريقة يحدث فقدا فى الوزن حوالى 1 ٪ فقط.

ومن عيوب هذه الطريقة أن المواد الغذائية ذات الحجم الكبير غير المتجانسة فى الشكل لا يحدث لها تفكيك وتحرك fluidized بواسطة الهواء البارد.



شكل رقم 16-13 : مجمد هواء بارد على السير المتحرك (التعويم)

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

جدول رقم 16-13 : زمن التجميد بواسطة الهواء البارد على السيور المتحركة (التعويم)

Fluidized - bed freezer

المـادة الغذائيـة	الزمن اللازم لخفض درجة الحرارة من21° إلى -18م (70إلى 0 ف) [a] (دقيقة)
[b] البسلة – الذرة السكرية	3 - 4
فاصوليا الليما – التوت	5 - 4
شرائح الجزر	6
قطع فاصوليا خضراء	12 - 5
بطاطس (أصابع)	12 - 8
جمبرى كبير -- سمك (أصابع)	15 - 12
فـــراولة	13 - 9
شرائح سمك (أكثر من واحد وربع فى السمك)	30

المصدر : Fennema (1975) .

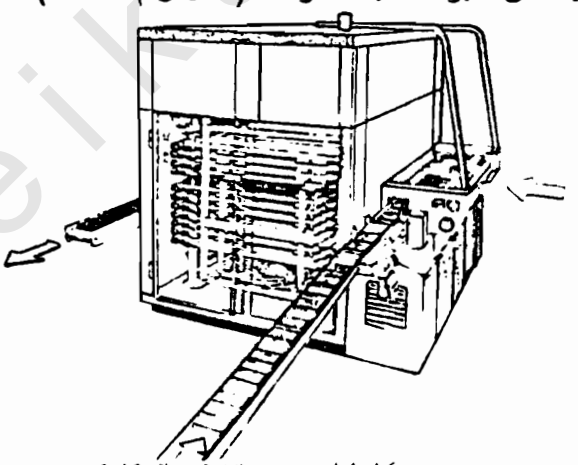
a – التجميد على درجة حرارة -34م (-30ف) وسرعة الهواء تتراوح بين 500-1000 قدم / دقيقة

b – البسلة غير المعبأة تحتاج إلى 15-20 دقيقة بالتجميد بالهواء المدفوع.

16 - 2 - 9 - 2 التجميد بالتلامس غير المباشر : Indirect contact freezing

يتم تجميد المادة الغذائية بملامستها لسطح معدنى مبرد بسوائل التبريد أو بطريقة تبريد أخرى ومن أهم أنواع المجمدات هو مجمد Birdseye ذو الألواح المتعددة وهو يتكون من خزانة (دولاب) معزول الجدران وبه عدد من الأرفف مزدوجة الجدران بها مواسير ملتوية يمر بها سائل التبريد وتصنع الأرفف بحيث يمكن قفلها على بعضها وفتحها بواسطة الضغط الايدروليكى حيث توضع المواد الغذائية بعد تعبئتها فوق الأرفف وعند قفل الأرفف فوق بعضها تصبح العبوات محصورة بين الأرفف الباردة فيزداد معدل التجميد. ويتوقف زمن التجميد على طبيعة المادة الغذائية وعلى سمك العبوة وهو يتراوح بين 1-2 ساعة للعبوات ذات سمك 4-5 سم. وهذا النوع من المجمدات يعمل على دفعات. ومن عيوبه أن العبوات المستخدمة لابد أن تكون متجانسة فى السمك كما أن معدل التجميد يكون بطيئاً بالمقارنة بطرق التجميد الأخرى. ويحتاج إلى أيدى عاملة كثيرة.

حديثاً توجد مجمدات تعمل بطريقة مستمرة وأتوماتيكياً حيث يتم التعبئة من خطوط التعبئة فيتحرك الرف بمجرد تعبئته إلى أعلى بحيث يلامس الرف الأعلى منه وتتحرك الأرفف داخل منطقة معزولة حث يتم فيها التجميد وفى نهاية منطقة التجميد تفرغ العبوات المجمدة لكل رف على حده أى أنها طريقة مستمرة حيث يعاد ملء الرف مرة أخرى بالعبوات بمجرد تفريغه من العبوات المجمدة، وهكذا (شكل رقم 16-14).



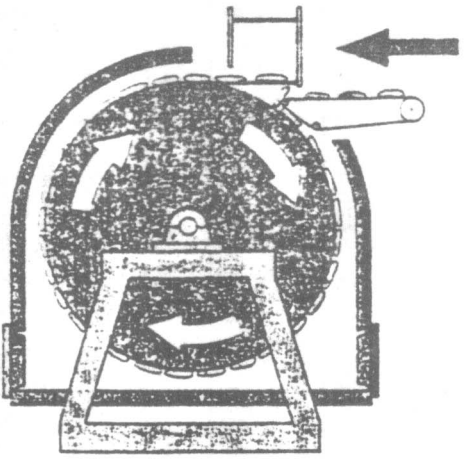
رقم 16-14 : مجمد الارفف الميكانيكى

المصدر : Hui (1992).

وللحصول على نتائج جيدة فى هذا النوع من المجمدات يراعى أن تكون العبوات ممتلئة تماماً بالمادة الغذائية بدون وجود فراغات فيها حتى يتم إنتقال الحرارة بسرعة حيث أن سرعة التجميد تتوقف إلى حد كبير على مدى ملامسة عبوات الأغذية لسطح الأرفف الباردة. وكذلك يجب أن تكون المواد الغذائية التى سيتم تجميدها من النوع الصلب الذى يتحمل الضغط وأن تكون منتظمة الشكل . حيث يلاحظ أن المواد الصلبة مثل اللحوم أو شرائح السمك يتم تجميدها أسرع من الخضروات لأن الخضروات قطع صغيرة منفصلة عن بعضها بواسطة فراغات من الهواء والتى تقلل من سرعة إنتقال الحرارة. ويجب أيضا تبريد الأرفف جيداً قبل وضع المواد الغذائية.

ومن مميزات مجمدات الأرفف أنه يمكن إنتاج عبوات متجانسة فى الشكل ولا تحتاج إلى مساحة كبيرة من الأرض.

أما تجميد الأغذية السائلة أو عجينة القوام purees فى مجمدات الأرفف أو الملامسة غير المباشرة فهو مختلف لما سبق لأنه يتم فى مرحلتين: تتضمن المرحلة الأولى دفع المادة الغذائية خلال مبادل تبريد refrigerant exchanger فيتجمد جزئياً slush freezing على الأسطح الباردة فيكشط بواسطة مكاشط خاصة. ولا يتم التجميد كلية فى هذ المرحلة لأنه إذا تم فإنه سيحول دون إستمرار إنسياب المادة الغذائية. والمرحلة الثانية يتم فيها تعبئة المادة الغذائية المجمدة جزئياً ويكمل تجميدها فى مجمدات الهواء المدفوع أو مجمدات الغمر. أو يتم التجميد بإستخدام مجمد إسطوانى drum freezer أو مجمد دائرى rotary freezer (شكل رقم 16-15) حيث يتم تجميد المنتج الغذائى بين طبقتين من الصلب غير القابل للصدأ حيث أن الطبقة العليا ملساء والطبقة السفلى متعرجة ويتم التجميد عند قفل اللوحين على بعضهما، وبدوران الإسطوانة داخل منطقة التجميد يتم تجميد المادة الغذائية والتى يتم تجميعها بكشطها من سطح الإسطوانة والتى يستكمل تجميدها بالهواء المدفوع.



شكل رقم 16-15 : مجمد الاسطوانات

المصدر : Hui (1992).

16 - 2 - 9 - 3 التجميد بالغمر : Immersion Freezing

فى هذه الطريقة يتم غمر المادة الغذائية (معبأة أو غير معبأة) فى سائل التبريد أو يتم التجميد برش سائل التبريد (رذاذ) فوق سطح المادة الغذائية أثناء مرورها على سير متحرك. ومن مميزات التجميد بالغمر المباشر ما يلى :

أ – الإتصال بين وسط التجميد والمادة الغذائية إتصالاً تاماً ومباشراً وبذلك يكون معدل إنتقال الحرارة سريعا. وهذا مهم بالنسبة للأغذية ذات الأشكال غير المنتظمة والتى يجب أن يتم تجميدها بسرعة مثل الجمبرى وعيش الغراب.

ب – المواد الغذائية يتم تجميدها فى وحدات منفردة وليس فى كتل وتحتفظ بجودة عالية عند إستخدام سوائل تبريد ذات الكفاءة العالية فى التبريد (cryogenic liquids) .

جـ – تقليل حدوث الأكسدة فى الأغذية الحساسة حيث لا يتم تعرضها للهواء كما فى التجميد بالهواء المدفوع.

د – ثمار الفاكهة تتجمد وعليها طبقة من محلول سكرى يساعد على المحافظة على اللون

بها، ويجب أن يراعى فى وسط التبريد المستخدم فى الغمر عدة نقاط خاصة عند تجميد الأغذية غير المعبأة. فيجب أن تكون نقية ونظيفة وخالية من أى مواد ذات نكهة أو طعم مميز ولا تكون سامة ولا تسبب تآكل مواد التعبئة المستخدمة فى الأغذية المعبأة.

والسوائل المستخدمة فى التجميد بالغمر تنقسم إلى قسمين: -

أولاً : سوائل ذات نقطة تجميد منخفضة : low - freezing - point liquids

وتشمل السوائل التى يتم تبريدها بواسطة ملامستها غير المباشرة مع سوائل تبريد أخرى refrigerants وتشمل محاليل كلوريد الصوديوم والمحاليل السكرية والجليسيرول. وتستخدم تركيزات عالية من هذه السوائل حتى تظل سائلة على درجة حرارة -18°م أو أقل. فمثلاً كلوريد الصوديوم يستخدم بتركيز 21 ٪ أو أكثر حيث يمكن خفض درجة الحرارة إلى -21.1°م (-6°ف) باستخدام محلول ملحى تركيزه 23 ٪. ولكن عند هذا التركيز يحدث تجمد لمخلوط الماء والملح ولذلك تعتبر درجة حرارة -21°م هى أقل درجة يمكن الحصول عليها. ويلاحظ أنه لا يمكن إستخدام محلول كلوريد الصوديوم إلا مع الأغذية التى تحتوى على نسبة من الملح ولذلك فإن إستخدامه مقصور على تجميد الأسماك فى عرض البحار. وتستخدم المحاليل السكرية فى تجميد الفاكهة ولكن من الصعب تحضير محاليل سكرية درجة تجميدها منخفضة بدرجة كافية بدون رفع لزوجتها إلى حد يصعب فيه إستخدامها فيجب إستخدام تركيز السكر 62 ٪ حتى تصل إلى درجة حرارة -21.1°م (-6°ف) ويكون المحلول عندئذ عالى اللزوجة جداً. وعند الدرجات الأقل من -21°م ينفصل من المحلول مزيج متجمد من بلورات الماء والسكر. ويمكن إستخدام مخلوط من الجليسيرول والماء لتجميد الفاكهة حيث يمكن خفض درجة الحرارة إلى -47°م باستخدام محلول جليسيرول تركيزه 67 ٪ ولكن لا يمكن إستخدامه مع الثمار التى لا ينبغى أن تكتسب الطعم الحلو.

وقد يستخدم البروبولين جليكول propylene glycol وهو غير سام ولكن له طعم لاذع وهذا يحد من استخدامه ولذلك فإنه يستخدم فقط مع الأغذية المغلفة. ويلاحظ أن من الصعب المحافظة على تركيز ثابت للمحلول المستخدم طول فترة التجميد. وأيضاً من الصعب المحافظة على نظافته وخلوه من مصادر التلوث. وعادة يستخدم التجميد بالغمر فى المحاليل المبردة فى تجميد الأسماك (المحاليل الملحية) أو فى تجميد علب عصير الموالح المركز بإستخدام إسطوانات تدور فيها العلب وتكون مغمورة فى سائل التبريد.

ثانياً : سوائل شديدة البرودة : cryogenic liquids

تستخدم السوائل شديدة البرودة والتى تتميز بإنخفاض درجة غليانها وهى غازات مسالة مثل النيتروجين السائل درجة غليانه –195.8° م (-320.5°ف) وثانى أكسيد الكربون درجة غليانه –78.5° م (-109.3°ف) ويوضح جدول رقم 16-14 خواص بعض سوائل التبريد شديدة البرودة المستخدمة فى تجميد الأغذية. وحالياً يعتبر النيتروجين السائل من أهم السوائل المبردة المستخدمة فى التجميد.

جدول رقم 16-14 : خواص بعض سوائل التبريد شديدة البرودة المستخدمة فى تجميد الأغذية

الصفة	سائل التبريد			
	CO_2	NO_2	CCl_2F_2	N_2
الوزن الجزيئى	44.01	44.02	120.93	28.016
درجة الغليان	-109.3° ف (-78.5° م)	-129.1° ف (-89.5° م)	-21.62° ف (-29.79° م)	-320.46° ف (-195.81° م)
	صلب / سائل	سائل / بخار	بخار	بخار
الحرارة الكامنة (Btu / Ib) [a]	246.1 / 149.6	16.8	71.04	85.8
الحرارة النوعية (غاز) Btu / Ib °F [b]	0.1988	0.2004	0.145	0.2447
السعة الحرارية المستخدمة (Btu / Ib) [d]	264 / 150	184	71	161

(a) Btu / Ib : Cal / g. = 1.8

(b) Btu / Ib °F = Cal / g C°

(d) الحرارة الكامنة + (الحرارة النوعية ×ΔT) حيث ΔT = (-20°ف) – (درجة حرارة الغليان أو التسامى).

المصدر : مختصر من Fennema (1975).

ومن أهم مميزاته ما يلى : -

أ- انخفاض درجة غليانه -195.8 م ولذلك فإن إنتقال الحرارة والتجميد يكون سريعاً جداً لا يستغرق إلا عدة دقائق.

ب - يمكن تجميد الأغذية غير منتظمة الشكل بسهولة عن طريق ملامسة النيتروجين السائل مع المادة الغذائية.

جـ - لا يحتاج إلى مادة أخرى لتبريد وسط التبريد حيث يتم التبريد نتيجة لتبخر سائل النيتروجين وتحوله إلى بخار.

د- النيتروجين السائل غير سام وخامل ويحل محل الهواء فى المادة الغذائية فيؤدى إلى تقليل حدوث الأكسدة أثناء التجميد والتخزين حيث أن الفقد نتيجة الجفاف لا يزيد عن 1 ٪.

هـ - التجميد بالنيتروجين السائل يؤدى إلى الحصول على مواد غذائية مجمدة ذات جودة مرتفعة بالمقارنة بطرق التجميد الأخرى خاصة فى الأغذية التى تحتاج إلى تجميد سريع جداً مثل الفراولة وعيش الغراب والطماطم.

والنيتروجين السائل يعتبر ناتجاً ثانوياً فى صناعة الأكسجين من الهواء وثمنه رخيص ومتوافر بكميات كبيرة فى كثير من الدول الصناعية. ويمكن إستخدام سائل النيتروجين بثلاث طرق:

أ- استخدام رذاذ النيتروجين السائل.

ب - الغمر فى النيتروجين السائل.

جـ - استخدام بخار الديتروجين البارد فى أنابيب تحيط بالمادة الغذائية.

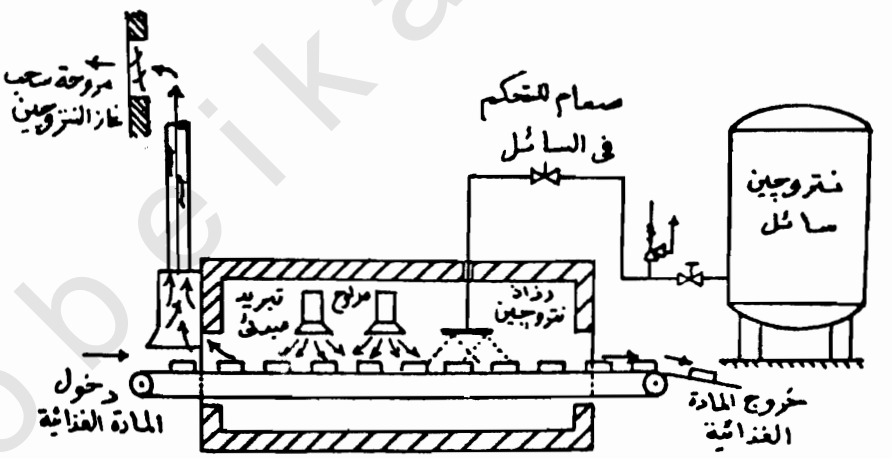
وعادة يستخدم النيتروجين السائل فى تجميد الأغذية بإستخدام جهاز صغير (شكل رقم 16-16) حيث تدخل المادة الغذائية على سير متحرك وفى الجزء الأول يتم تبريد مبدئى للمادة الغذائية بواسطة أبخرة غاز النيتروجين معتدلة البرودة حيث يتم مرورها عكس إتجاه مرور المادة الغذائية، وفى القسم الأوسط يتم التجميد السريع نتيجة تلامس رذاذ غاز النتروجين مع المادة الغذائية وفى نهاية الجهاز يحدث تعديل لدرجة الحرارة قبل خروج المادة المجمدة وتكون درجة حرارتها مشابهة لتلك المستخدمة فى طرق التجميد الأخرى (-29 إلى -18 م)، وكفاءة المجمد مرتفعة قد تتراوح بين [illegible] إلى 1000 كجم / الساعة.

وقد يستخدم الغمر فى النتروجين لتجميد الأغذية حيث يتم مرور المادة الغذائية على سير متحرك خلال حوض يحتوى على النيتروجين السائل لفترة قصيرة يتم فيها التجميد ثم

تخرج المادة المجمدة ليتم تعبئتها حيث يتم تجميد الأغذية فى صورة وحدات منفصلة.

وحديثاً يستخدم وحدة للتجميد تجمع بين التجميد السريع بواسطة النيتروجين والتجميد باستخدام الهواء البارد وتستخدم مع المنتجات الغذائية الحساسة والتى يصعب تداولها بدون أن يحدث لها تكسير فى المجمدات العادية [الهواء المدفوع – السيور المتحركة (التعويم)] حيث يتم التجميد بالغمر السريع فى تنك يحتوى على سائل النيتروجين حيث تتجمد الطبقة السطحية سريعاً ثم يكمل التجميد فى مجمدات الهواء المدفوع أو السيور المتحركة ولذلك يطلق عليها مجمد الطبقة السطحية crust o freezer.

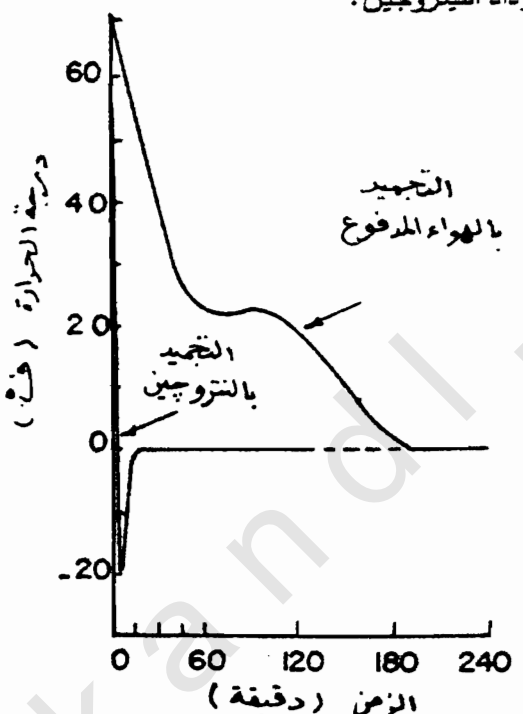
ويستخدم ثانى أكسيد الكربون إما فى صورة رذاذ من سائل ثانى أكسيد الكربون أو يستخدم الثلج الجاف من ثانى أكسيد الكربون حيث يتساوى على درجة حرارة – 78.5 م (– 109.3ف) ويتم خلط ودوران المادة الغذائية مع الثلج الجاف فى أسطوانة خلط ميكانيكية ليتم التجميد مع ملاحظة ضرورة التخلص نهائياً من بقايا الثلج المحيط بالمادة الغذائية قبل تعبئتها حتى لا يحدث إنفجار للعبوات نتيجة لضغط غاز ثانى أكسيد الكربون فى الفراغ الموجود فى العبوات.



شكل رقم 16-16 : التجميد برذاذ النتروجين السائل

المصدر : Bald (1991).

ويزداد معدل التجميد باستخدام السوائل شديدة البرودة مقارنة بطرق التجميد الأخرى ويوضح شكل رقم 16 - 17 المقارنة بين معدل التجميد باستخدام الهواء البارد (درجة حرارة -20ف) مع إستخدام رذاذ النيتروجين.



شكل رقم 16 - 17 : مقارنة بين معدل التجميد لفطائر التفاح بالهواء المدفوع (-20ف) مع رذاذ النيتروجين

المصدر : Woolrich & Novak (1977).

16 - 2 - 10 العوامل المحددة لمعدل التجميد :

Factors determing freezing rate

يوجد عدد من العوامل التى لها إرتباط مباشر بمعدل التجميد للأغذية وبالتالى فإن لها تأثيراً على جودة الناتج النهائى. وبصفة عامة يُعبر عن معدل تبريد مادة غذائية أو تجميدها بالعلاقة بين متغيرين وهما : القوة المحركة driving force مقسومة على مجموع المقاومات resistances التى تعيق إنتقال الحرارة.

والقوة المحركة : هى الفرق بين درجة حرارة المادة الغذائية ودرجة حرارة وسط التبريد، أما المقاومات: فتتوقف على عدة عوامل منها سرعة الهواء وتركيب المادة الغذائية وخصائصها ونوع العبوات ... ألخ. وبصفة عامة يمكن تلخيص أهم العوامل التى تؤثر على معدل التجميد فى النقاط التالية:

أولاً : الفرق بين درجة حرارة المادة الغذائية ودرجة حرارة المجمد كلما كان كبيراً كلما إزداد معدل التجميد.

ثانياً : ينخفض معدل التجميد كلما ازداد سمك المادة الغذائية فإذا إزداد سمك مادة غذائية من 5 إلى 10 سم فإن زمن التجميد يزداد بمقدار 2.5 مرة.

ثالثاً : إزدياد سرعة الهواء البارد أو سرعة مرور سوائل التبريد فى المجمدات سيزيد من معدل التجميد فمثلاً يستغرق تجميد شرائح سمك فيليه فى هواء ساكن على درجة حرارة –18 م حوالى3 ساعات وبزيادة سرعة الهواء إلى250 قدم / دقيقة سينخفض زمن التجميد إلى 1 ساعة.

رابعاً : يزداد معدل التجميد بازدياد الملامسة بين المادة الغذائية وبين وسط التجميد.

خامساً: التحميل (كلما قل حجم المادة الغذائية بالنسبة لحجم غرف التجميد) يزداد سرعة التجميد.

سادساً : نوع سائل التبريد فكلما ازدادت السعة الحرارية لسائل التبريد ازداد معدل التجميد.

ويعتمد التأثير المبرد لسائل التبريد على الحرارة الكامنة للتبخير latent heat of vaporization وما إذا كان سائل ويتمدد ليتحول إلى غاز أو كان سائل التبريد لا تتغير حالته مثل المحاليل الملحية فيحدد التأثير المبرد لها بواسطة السعة الحرارية أو الحرارة النوعية.

أى أن لطريقة التجميد ونوع المجمد تأثيراً على معدل التجميد وزمن التجميد للمنتجات الغذائية المختلفة (جدول رقم 16-15).

جدول رقم 16 - 15 : زمن ومعدل التجميد بواسطة أنواع مختلفة من المجمدات لمنتجات غذائية مختلفة

المنتج الغذائى	نوع العبوة	الوزن	زمن التجميد (ساعة)	معدل التجميد سم/ساعة
التجميد بالهواء المدفوع	Air blast freezing			
بطاطس (رقائق)	كرتون	400 جم	4	0.55
كرات لحم	كرتون	375 جم	4	0.63
فراوله	برميل	40 جم	48	0.42
قطع لحم	كرتون	30 جم	24	0.36
مجمد أرفف	Plate freezer			
سبانخ	كرتون	425 جم	2	1.1
توت	كرتون	430 جم	4.5	0.5
شرائح لحم	كرتون	310 جم	2	0.75
شرائح سمك وقار	كرتون	300 جم	1	1.30
التجميد على سيور متحركة (تعويم)	Fluid bed			
بسلة	وحدات منفصلة		8-7 دقيقة	4.0
التجميد على سيور	Belt freezer			
كرات لحم	وحدات منفصلة	23 جم	20 دقيقة	4.5
بيتبرجر	وحدات منفصلة	60 جم	20 دقيقة	1.8

المصدر : Jul (1984).

سادساً : تركيب المادة الغذائية :

مكونات المادة الغذائية لها معامل توصيل حرارى conductivity يختلف بإختلاف درجة الحرارة ويختلف بالنسبة للمكونات المختلفة، فالمكون ذات معامل التوصيل الحرارى

obeikandi.com

المرتفع ستكون سرعة التجميد أو معدل التجميد له أعلى عند تماثل الظروف الأخرى. ومعامل التوصيل الحرارى للماء يختلف عنه للثلج فقيمته للثلج أعلى كثيراً من الماء. ولذلك فإن التوصيل الحرارى للمادة الغذائية سيزداد بسرعة عندما يتحول الماء إلى بللورات ثلجية أى يزداد معدل التجميد، والدهن له معامل توصيل حرارى منخفض عن الماء وأيضاً الهواء له معامل توصيل حرارى أقل كثيراً من الماء والدهن. ولذلك فإن التركيب الكيماوى للمادة الغذائية له تأثير على سرعة أو معدل التجميد وهو الأمر الذى نوضحه فى النقاط التالية:

أ – يقل معدل التجميد فى حالة إحتواء المادة الغذائية على نسبة مرتفعة من الدهن أو عند وجود كمية مرتفعة من الهواء فى الفراغات الداخلية بين أجزاء المادة الغذائية .

ب – معدل التجميد لا يكون ثابتاً طوال فترة التجميد حيث أن تجميد الماء وتحوله إلى بللورات ثلجية سيغير من معامل التوصيل الحرارى.

جـ – يتأثر معدل التجميد بالتركيب الطبيعى للأغذية ومثال ذلك أنه عند تماثل الظروف فإن مستحلب الزيت فى الماء يتجمد بسرعة أكبر من سرعة تجمد مستحلب الماء فى الزيت على الرغم من وجودهما بنسب متساوية (50٪ زيت ، 50٪ ماء) فى كل من المستحلبين، ويرجع السبب إلى أن الماء مكون للوسط المستمر فى المستحلب الأول (الزيت فى الماء) مما يترتب عليه أنه سيكون له معامل توصيل حرارى أعلى على درجات الحرارة المختلفة عن المستحلب الآخر (الماء فى الزيت).

16 - 2 - 11 حساب إحتياجات التجميد :

لتجميد أى مادة غذائية فإنه يجب خفض درجة الحرارة إلى الدرجة التى تتجمد عليها المادة. ثم تخزن المادة على حالة مجمدة بدون أن تتفكك. وكما سبق ذكره فإن لكل مادة غذائية درجة حرارة للتجميد (جدول رقم 16-5 ، جدول رقم 16-7) عند حساب كمية الحرارة اللازم إزالتها لتجميد رطل من الماء فمن المعروف أن الحرارة النوعية للماء قبل التجميد مقدارها 1.00 والحرارة الكامنة لإنصهار رطل من الثلج 144 وحدة حرارية بريطانية Btu والحرارة النوعية للثلج مقدارها 0.48 ولذلك فإذا أريد تجميد رطل من الماء درجة حرارته 60 ف إلى درجة صفر ف فإنه يجب إزالة وحدة حرارية بريطانية لكل درجة

فهرنتية من 32° ف إلى صفر° ف مضافاً إليها 144 Btu ليتحول من ماء إلى ثلج على درجة حرارة32° ف ومضافاً إليها أيضاً 0.48 Btu لكل درجة فهرنتية لخفض درجة الحرارة من 32° ف إلى الصفر° ف.

أى 28 + 144 + 15 = 187 وحدة حرارية بريطانية.

وباستخدام نفس الطريقة يمكن إستخدام المعادلات التالية لحساب كمية الوحدات الحرارية البريطانية اللازم إزالتها من المادة الغذائية لتجميدها ثم الوصول بها إلى درجة حرارة تخزين الأغذية المجمدة. ويجب معرفة درجة الحرارة الإبتدائية للمادة الغذائية ودرجة التجميد لها.

$$H_1 = (S_1)\,(W)\,(T_1 - T_f)$$

$$H_2 = H_f\ W$$

$$H_3 = S_s\ W\ (T_f - T_s)$$

$$H_{fs} = H_1 + H_2 + H_3$$

H_1 = عدد الوحدات الحرارية البريطانية Btu اللازمة لتبريد المادة الغذائية من الحرارة الإبتدائية إلى درجة التجميد.

S_1= الحرارة النوعية للمادة الغذائية قبل التجميد.

W= الوزن بالرطل.

T_1= درجة الحرارة الإبتدائية (فهرنيت).

T_f= درجة حرارة التجميد (فهرنيت).

H_2= عدد الوحدات الحرارية البريطانية Btu اللازمة لتغيير المادة الغذائية من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة عند درجة التجميد.

H_f= الحرارة الكامنة للإنصهار أو التبلور للمادة الغذائية.

H_3= عدد الوحدات الحرارية البريطانية Btu اللازمة لخفض درجة حرارة المادة الغذائية المجمدة من نقطة التجميد إلى درجة حرارة التخزين.

S_s= الحرارة النوعية للمادة الغذائية المجمدة.

T_s= درجة حرارة تخزين الأغذية المجمدة.

obeikandl.com

كمية الحرارة الكلية اللازم إزالتها من المادة الغذائية لتجميدها وتخزينها على درجة حرارة التخزين (عادة الصفر ف أو -18 م) هى مجموع H_1، H_2، H_3 وتكون مساوية H_{t} وتحسب احتياجات التجميد بواسطة وحدات التجميد وهى طن التبريدton of refrigeration، بالإضافة إلى الحسابات السابقة فلابد من حساب إحتياجات التبريد لغرف تخزين الأغذية المجمدة حتى تظل الأغذية المجمدة فى حالة صلبة لذلك يجب أن تكون المخازن معزولة جيداً. ويتم حساب إحتياجات التبريد الإضافية التى تنتج من فقد الحرارة أثناء فتح وغلق المخازن والحرارة الناتجة من الإضاءة ... ألخ.

16 - 2 - 12 طرق تجميد الأغذية :

أولاً : الأسماك :

تتوقف جودة الأسماك المجمدة على عدة عوامل أهمها الصنف - التركيب الكيماوى (نسبة الدهن) الحجم - الفترة الزمنية بعد صيد الأسماك ومدى جودتها عند التجميد. والأسماك من الأغذية سريعة الفساد لتعرضها لأنواع متعددة من الفساد مثل الأكسدة والتحلل الذاتى والفساد الميكروبى ومن أهم المشاكل التى تنتج أثناء التجميد حدوث الأكسدة - الجفاف - الخشونة ونقص العصيرية فى الأسماك وزيادة كمية السائل المنفصل ولذلك يجب تبريد الأسماك مباشرة بعد الصيد ويتم ذلك بحفظ الأسماك فى الثلج المجروش أو يبرد فى الثلاجات الكبيرة التى تجهز بها سفن الصيد الكبيرة على أن يتم التجميد بأسرع ما يمكن. وقديماً كان يتم تجميد الأسماك بالغمر فى المحاليل الملحية المبردة وهى من الطرق السريعة للتجميد ويحدث امتصاص جزئى للملح بواسطة الأنسجة خاصة فى الأسماك المزال أحشاؤها حيث تصل نسبة الملح إلى 2-3 ٪ ويؤدى إمتصاص الملح إلى زيادة حفظ السمك ولا يحدث فقد فى الوزن أثناء التجميد.

ولا تزال هذه الطريقة متبعة على نطاق واسع فى الولايات المتحدة الأمريكية على شواطئ المحيط الهادى لتجميد سمك التونة حيث تظل السفن فى عرض البحار لفترة تصل إلى أربعة أشهر وهى مزودة بمجمدات كبيرة لتخزين السمك المجمد لحين الوصول إلى الشاطئ حيث يتم تصنيعه. حالياً يتم تجميد الأسماك باستخدام طرق التجميد السريع باستخدام الهواء المدفوع air blast freezing حيث تنخفض درجة الحرارة إلى -30 أو

-40 ف في غرف التجميد سواء على دفعات أو ترص على عربات ويتم تجميدها في أنفاق التجميد. وقد تستخدم المجمدات ذات الأرفف في التجميد.

ويعتبر التجميد السريع أفضل الطرق لحفظ الأسماك حتى لا يحدث إنفصال كمية كبيرة من السائل drip عند تفكيكها أو إذابة الثلج.

وبصفة عامة يتم تجميد الأسماك إما كاملة مثل التونة والماكريل أو على هيئة شرائح fillet منزوعة الجلد مثل الأسماك الكبيرة كسمك الوقار. وللحصول على سمك مجمد ذى جودة مرتفعة يشترط أن تكون الأسماك طازجة وذات جودة ممتازة قبل تجميدها. وبصفة عامة فإنه يجب غسيل الأسماك جيداً قبل تجميدها للتخلص من كمية كبيرة من الأحياء الدقيقة التى توجد على سطح الأسماك. والأسماك ذات الحجم الصغير يتم تجميدها فى كتل حيث تعبأ فى علب معدنية يوجد بقاعها ثقوب لتسمح بسريان السوائل منها حيث يرص بها الأسماك فى طبقات ويتم تجميدها فى غرف مبردة وبعد تجميدها تنزع كتلة السمك من العلب وتغمر فى ماء بارد (34ف) عدة مرات ويتم ذلك فى غرف مبردة (40ف) فتتكون عليها طبقة من الثلج glaze وهذه تعمل على حماية السمك من الجفاف والأكسدة ويطلق على هذه العملية الأجلزة glazing. وقد يغطى السمك عوضاً عن طبقة الثلج بطبقة من بعض المحاليل الأخرى التى تحتوى على مواد مطهرة أو مضادات حيوية أو حامض الأسكوربيك، ثم يعبأ السمك المجمد فى صناديق خشبية ويخزن على درجة حرارة الصفر الفهرنيتى (-18 م). والأسماك التى تحتوى على نسبة مرتفعة من الزيت يتم تخزينها على درجة حرارة -5 ف. وقد تعاد عملية الأجلزة glazing مرة أخرى للسمك أثناء التخزين.

أما الأسماك كبيرة الحجم فيتم تجميدها منفردة بعد إزالة الأحشاء وقد تزال الرأس أيضاً ويتم الغسيل الجيد ثم يتم تجميدها فى غرف التجميد أو أنفاق التجميد وأيضاً تتم عملية الأجلزة للأسماك الكبيرة بعد تجميدها وقبل التخزين.

ويلاحظ عند تجميد شرائح الأسماك fillets أن يتم تبريد الأسماك أولاً حتى تنتهى فترة تصلب العضلات rigor mortis قبل التجميد حتى يقلل من حدوث الخشونةtoughness فى شرائح السمك المجمدة. حيث أن هذه الظاهرة لا تلاحظ فى الأسماك الكاملة المجمدة.

ولتجنب الأكسدة والتغيرات غير المرغوبة فى الأسماك المجمدة يتم تعبئتها فى عبوات

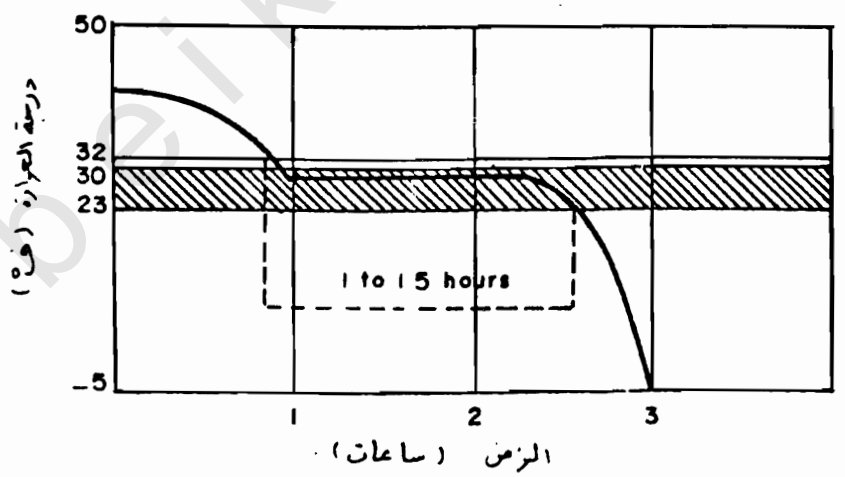
محكمة القفل ويفضل إستخدام الغازات الخاملة أو التعبئة تحت تفريغ لتقليل نسبة الأكسجين فى العبوات . ويجب تجنب تلوث الأسماك أثناء التجميد بالعوامل المساعدة على الأكسدة (المعادن الثقيلة) ويفضل إضافة مواد مضادة للأكسدة .

المنطقة الحرجة للتجميد : Critical zone

وهى المجال الحرارى المحصور بين درجتى حرارة 23 ،30 ف (-5 إلى - 0.5 م) ويزداد فيه حجم البلورات الثلجية المتكونة فى المادة الغذائية .

وكلما إزدادت الفترة التى تظل فيها المادة الغذائية فى هذا المجال كلما ازداد حجم البللورات وهو الأمر الذى يماثل ما يحدث فى التجميد البطئ حيث تظل المادة الغذائية فى هذا المجال ما يقرب من 12-18 ساعة بينما تقل هذه الفترة فى التجميد السريع إلى 3-4 ساعات فى حين أن إستخدام السوائل المبردة بدرجة كبيرة cryogenic يؤدى إلى تقليل هذه الفترة إلى حوالى 12-15 دقيقة فقط .

وقد وجد أن تجميد الأسماك بالطرق السريعة يؤدى إلى المحافظة على الجودة وصغر حجم البلورات الثلجية المتكونة حيث تكون المنطقة الحرجة للتجميد بين 1-1.5 ساعة وإذا زادت عن هذا الزمن فإن حجم البلورات الثلجية يبدأ فى الإزدياد (شكل رقم 16-18) .

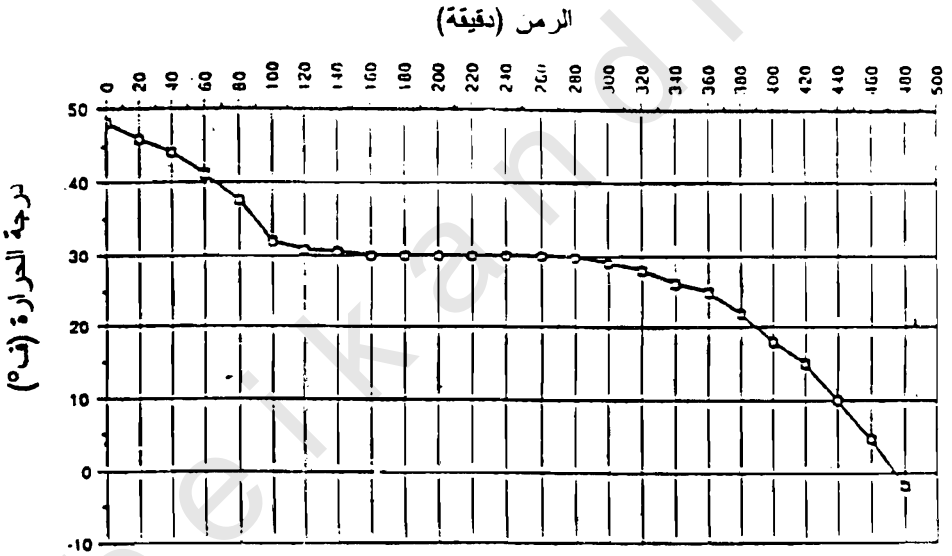


شكل رقم 16-18 . منحنى التجميد المثالى للسمك

المصدر : Hui (1992) .

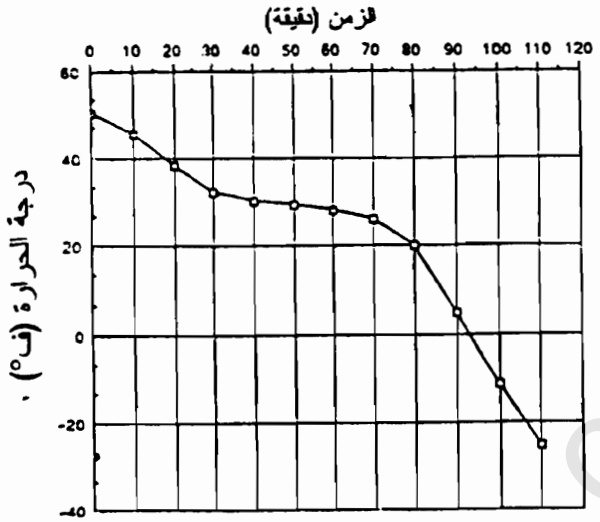
ويتضح ذلك عند مقارنة تجميد سمك السالمون (4رطل) بالطرق البطيئة (هواء ساكن) حيث يستغرق فترة زمنية تصل إلى4 ساعات فى المجال الحرارى فى المنطقة الحرجة ويستغرق 8 ساعات حتى تنخفض درجة الحرارة إلى الصفر ف (شكل رقم 16-19).

بينما فى التجميد السريع باستخدام الهواء البارد (أنفاق التجميد) فإن الزمن الذى يظل فيه السمك فى المنطقة الحرجة يصل إلى40 دقيقة فقط والزمن الكلى للتجميد لتصل درجة الحرارة إلى الصفر الفهرينتى تصل إلى 1.5 ساعة (شكل رقم 16-20). ويتضح تأثير ذلك على جودة السمك المجمد الناتج وأيضاً على كمية السائل المنفصل drip حيث تقل كثيراً فى التجميد السريع.



شكل رقم 16-19: منحنى التجميد البطئ لسمك السالمون

المصدر : Hui (1992).



شكل رقم 16-20: منحنى التجميد السريع لسمك السالمون

المصدر : Hui (1992).

ثانياً: الجمبـــرى :

عادة يتم تجميد الجمبرى بعد إزالة الرأس ثم الغسيل الجيد، ويتم التجميد إما بدون تقشير حيث يرص الجمبرى فى علب كرتون ويتم تجميد العلب فى مجمد الأرفف أو توضع العلب على الأرفف المبردة فى حجرات التجميد، وبعد تمام التجميد تتم عملية أجلزةglazing كما سبق ذكره مع الأسماك.

وقد يتم تجميد الجمبرى بعد التقشير والغسيل الجيد وقد يتم سلق الجمبرى بعد التقشير فى الماء أو فى محلول ملحى لتثبيط الإنزيمات والأحياء الدقيقة ولزيادة فترة الحفظ. ثم يبرد بعد السلق ويعبأ فى علب كرتون أو علب معدنية ثم يجمد.

وقد يتم تجميد الجمبرى ذى الحجم الكبير كل على حدة حيث يتم التجميد برص الجمبرى على سيور متحركة ويجمد بإستخدام الهواء المدفوع air blast freezer أو بالهواء البارد على السيور المتحركة (التعويم) fluided bed freezer، ويتم تخزين الجمبرى المجمد على درجة الصفر الفهرنيتى أو -18° م كما هو الحال بالنسبة للأسماك.

ثالثاً: اللحـــوم :

يجب تبريد اللحوم بسرعة بعد الذبح على درجة حرارة تتراوح بين 10 إلى20° م لمدة

20إلى24 ساعة حتى تتم عملية الإنضاج aging قبل تجميد اللحوم ، حيث تساعد هذه العملية على زيادة عصيرية وطراوة اللحوم. ويجب عدم تبريد اللحوم بعد الذبح إلى درجة حرارة منخفضة (أقل من 10 م) لتجنب حدوث الإنكماش فى العضلات cold shortening، ويتم تجميد اللحوم على درجة حرارة -25 إلى -40 ف (-31.6 إلى -40 م) حيث يتم التجميد فى فترة من24 إلى36 ساعة . وعادة يتم تعليق اللحوم فى غرف التجميد حتى يمر الهواء البارد حولها كما يتم لفها بالقماش لتقليل الفقد فى الرطوبة. وقد تستخدم أنفاق التجميد لتجميد اللحوم مع تجنب إستخدام سرعات عالية من الهواء لتجنب الجفاف فى اللحم. وتخزن اللحوم المجمدة على درجة الصفر الفهرنيتى (-18م) . وتتوقف سرعة تجميد اللحوم على نوع اللحم (بقرى - جاموسى - ضأن - ماعز) وعلى مدى إحتوائه على الدهن حيث أن وجود الدهن بنسبة مرتفعة يقلل من معدل التجميد، بينما يؤدى إحتواء اللحم على نسبة مرتفعة من الرطوبة إلى سرعة تجمده . ويمكن حفظ اللحوم مجمدة لفترة تصل إلى12 شهر.

رابعاً : الدواجـــن :

يمكن حفظ الدواجن المجمدة لعدة شهور إذا تمت عملية التجميد بسرعة مع مراعاة الشروط الصحية أثناء الذبح وإزالة الريش حتى لا يحدث تلوث ميكروبى للدواجن . ويتم تعبئة الدواجن فى عبوات غير منفذة للرطوبة والهواء منعاً للجفاف والأكسدة ويفضل أن يتم تبريد مبدئى للدواجن قبل التجميد على درجة حرارة 10 م (50ف) أو أقل ويتم التبريد بالغمر فى ماء وثلج لتجنب فقد الرطوبة من الدواجن . ويتم التبريد المبدئى للدواجن لفترة من 1-6 ساعات للمساعدة على حدوث الطراوة tenderness والإنتهاء من مرحلة تصلب العضلات. ثم يتم التجميد السريع للدواجن لتجنب إنفصال كمية كبيرة من السائل المنفصل drip عند تفكيك الدواجن بعد تجميدها. وتخزن الدواجن على درجة الصفر الفهرنيتى حيث يمكن حفظها مجمدة على هذه الدرجة لفترة تتراوح بين 6 إلى10 شهور. وتعتمد جودة الدواجن المجمدة على جودة وسلامة الدواجن الحية وخلوها من أى أمراض وعلى أن تتم عملية الذبح فى ظروف صحية مناسبة.

خامساً : البيـض :

يمرر البيض على عملية الإحتبار الضوئى لإبعاد أى بيض فاسد ثم يغسل البيض بالماء

وقد تضاف إليه مواد مطهرة للقضاء على الأحياء الدقيقة. ويلى ذلك كسر البيض مع مراعاة عدم نزول أى جزء من القشر مع البيض حتى لا يكون مصدراً لتلوث البيض مع التخلص من أى بيضة ذات رائحة غير مرغوبة أو حدث بها تغيير فى لون الصفار ثم يجنس المخلوط بإستخدام خلاطات خاصة وقد يتم التجنيس للصفار والبياض كل على حدة إذا كان سيتم تجميد كل منهما على حدة. ويراعى عدم الرج والتقليب لمنع دخول الهواء الذى يساعد على حدوث الأكسدة. ويعبأ البيض فى علب كرتون مبطنة بورق مشمع ويجب عدم إستخدام العبوات المعدنية للحيلولة دون تغيير الطعم. ويتم التجميد باستخدام أنفاق التجميد أو مجمدات الأرفف وقد تتم عملية البسترة لمخلوط الصفار والبياض أو كليهما على حدة للقضاء على البكتريا المرضية خاصة *salmonella*، وحالياً تشترط عملية البسترة قبل التجميد.

عند تجميد صفار البيض على حدة فإنه يحتاج إلى معاملة مبدئية قبل التجميد لأن التجميد يسبب إرتفاع لزوجة الصفار بدرجة كبيرة ولا يعود إلى حالة السيولة مرة أخرى بعد التفكيك وتسمى هذه الظاهرة «التهليم» gelation والسبب فيها أن الليبوبروتينات lipoprotein تكون معقدات صمغية أثناء التجميد والتخزين ومن الصعب إذابتها وعودتها إلى الحالة الغروية مرة أخرى. ولذلك فإنه ينصح بإضافة الجليسيرول بنسبة 5٪ أو إضافة السكر (مثل السكروز، الأرابينوز، الجالاكتوز، الجلوكوز) بتركيز 10٪ كما يمكن إضافة الملح بنسبة تصل إلى 8٪. وقد تضاف بعض الإنزيمات مثل البابين والتريسن مع إجراء التحضين على درجة 75°ف لفترة قصيرة (15-20 دقيقة) قبل التجميد. وهذ المعاملات تقلل من حدوث هذه الظاهرة فى صفار البيض المجمد. ويتم تخزين البيض المجمد على درجة الصفر الفهرنيتى.

سادساً : الخضـروات :

إذا ما تم تجميد الخضروات بطريقة صحيحة فإن ذلك يجعلها أقرب ما تكون للحالة الطبيعية الطازجة بشكل أكفأ من أى طريقة أخرى من طرق حفظ الأغذية من حيث اللون والطعم والرائحة. وبصفة عامة فإن الخضروات التى تستهلك طازجة لا يصلح حفظها بالتجميد (الخيار – الخس – الطماطم) ويجب إختيار الصنف المناسب الذى يصلح للحفظ بالتجميد من حيث درجة النضج والطزاجة.

وتتلخص طريقة تجميد الخضروات فى إختيار الصنف المناسب ثم الغسيل والفرز والتجهيز بالطريقة التى تجهز بها للاستهلاك الطازج ثم السلق فى الماء على درجة الغليان أو بواسطة البخار لمدة تكفى لوصول درجة حرارة مركز قطع الخضروات إلى200 ف وذلك لتثبيط الإنزيمات .

سابعاً : الفاكهـــة :

يتم تجهيز وإعداد الفاكهة قبل التجميد بهدف تقليل فصل الإنزيمات المؤكسدة ، ومنع تعرضها للهواء لحمايتها من الأكسدة . وأهم المعاملات التى تتم على الفاكهة قبل التجميد: -

أ- إضافة السكر أو محلول سكرى: والهدف منه حفظ الفاكهة من الهواء ومن فعل الإنزيمات المؤكسدة حيث أن السكر يغلف الفاكهة أو شرائح الفاكهة بغلاف واقى من الهواء كما أن السكر يقلل من تطاير الاسترات والمركبات المسئولة عن النكهة وكذا يحسن الطعم نتيجة تخلل السكر لإنسجة خلال التجميد والتفكيك thawing وقد وجد أن خلط البكتين مع السكر المضاف إلى الفاكهة قبل التجميد يعمل على تقليل كمية السائل المنفصل drip الناتج من الفاكهة عند التفكيك لأن البكتين يتحد مع الكالسيوم فى الفاكهة ويكون جيلاً على سطح الفاكهة مما يحسن من قوام الفاكهة .

ب - الغمر فى محاليل تحتوى على مواد مضادة للأكسدة: وذلك لأنواع الفاكهة التى يتغير لونها بسرعة بعد التقشير والتقطيع (الكمثرى - التفاح) فتغمر فى محلول مخفف من ثانى أكسيد الكبريت حيث يخفض من نشاط إنزيمات البولى فينولاز polyphenolases التى تؤدى إلى تغيير لون الفاكهة إلى اللون البنى الغامق حيث أن المعاملة الحرارية لتثبيط هذه الإنزيمات فى الفاكهة غير مرغوبة حتى لا تؤدى إلى فقد المواد المسئولة عن النكهة فى الفاكهة والتى يسهل تحطيمها وتطايرها بالمعاملات الحرارية ولذا تستخدم المواد المضافة لتأخير النشاط الإنزيمى، ويجب تجنب إستخدام تركيزات مرتفعة من ثانى أكسيد الكبريت حتى لا تؤثر على مدى تماسك أنسجة الفاكهة وتسبب طراوتها.

وقد يتم الغمر فى محاليل تحتوى على حامض الستريك أو الماليك والتى تؤدى إلى خفض رقم الأس الهيدروجينى pH إلى درجة غير مناسبة لنشاط الإنزيمات المؤكسدة.

وأيضاً يستخدم حامض الأسكوربيك لمنع تكون اللون الغامق فى الفاكهة حيث أن حامض الأسكوربيك يؤدى إلى تحول المواد الفينولية إلى صورة مختزلة عديمة اللون مع ملاحظة أن تأثير حامض الأسكوربيك ضعيف على رقم الأس الهيدروجينى pH . ويستخدم حامض الاسكوربيك بتركيز يتراوح بين 0.1-0.3 ٪ فى المحلول السكرى. وأيضاً قد يتم غمر الفاكهة فى محلول من سلفيت الصوديوم $NaHSO_3$ بتركيز 0.25 ٪ لمدة 45 ثانية ثم يغمر فى محلول 0.2 ٪ فوسفات البوتاسيوم K_2HPO_4 لمدة 5 دقائق (8.8 pH) لتثبيط فعل إنزيمات الفينولاز. حيث أن المعاملة بواسطة فوسفات البوتاسيوم تؤدى إلى تقليل قابلية المواد الفينولية للأكسدة بواسطة الإنزيمات.

وقد تضاف بعض أملاح الكالسيوم للفاكهة قبل التجميد للمساعدة على تماسك أنسجة الفاكهة خاصة اللينة منها.

جـ - السلق : بعض أصناف الفاكهة مثل الخوخ - الكمثرى يتم سلقها (معاملة حرارية) لتثبيط فعل الإنزيمات المؤكسدة ومنع التغيير فى اللون، إلا أن هذه المعاملة قد تسبب فقداً فى بعض المواد الطيارة المسئولة عن النكهة.

وتعبأ الفاكهة كاملة أو على هيئة شرائح مع السكر وتحفظ لعدة ساعات فى غرف مبردة حتى يتم إختراق السكر لأنسجة الفاكهة قبل التجميد. ويتم تجميد الفاكهة باستخدام الطرق السريعة مثل المستخدمة فى تجميد الخضروات مع مراعاة الحرص فى تداول الفاكهة أثناء خطوات تجهيزها وإعدادها للتجميد حتى لا يؤثر ذلك على جودة الفاكهة المجمدة.

16 - 2 - 13 التغيرات التى تطرأ على الأغذية المجمدة :

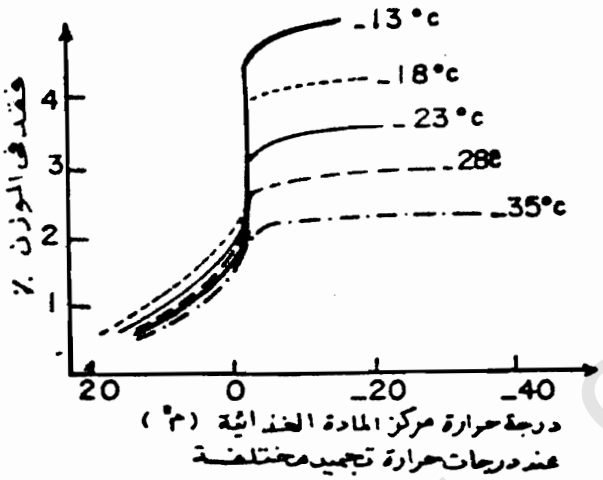
يتم تخزين الأغذية المجمدة على درجة حرارة الصفر الفهرنيتى (-18°م) وأثناء الإعداد والتجهيز والتجميد والتخزين فقد تحدث تغيرات ونقص فى جودة الأغذية وقيمتها التغذوية وهذه التغيرات إما طبيعية أو كيماوية وإنزيمية حيث أن الأحياء الدقيقة لا تنمو تحت هذه الظروف وتحدث التغيرات الميكروبية عندما يكون التبريد غير كافى أثناء تخزين الأغذية المجمدة.

أولاً : التغيرات الطبيعية :

أ- التذبذب فى درجات الحرارة أثناء تخزين الأغذية المجمدة أرتفاعاً ثم إنخفاضاً مرة أخرى يؤدى إلى نمو حجم البللورات الثلجية المتكونة فقد لوحظ أن تكرار تفكيك الأغذية المجمدة ثم إعادة تجميدها مرة أخرى يسبب أضراراً بالغة لجودة الأغذية المجمدة حيث يحدث تذبذب فى درجة الحرارة أثناء تخزين الأغذية المجمدة فتغيير درجة الحرارة فى حدود 3 °م أعلى أو أقل من درجة حرارة التخزين - (18°م) يسبب كبر حجم البللورات الثلجية فى الأغذية المجمدة لأن إرتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى تحول جزء من الثلج إلى ماء وبإنخفاضها مرة أخرى يتجمد الماء على البللورات الثلجية الموجودة فيؤدى إلى زيادة حجمها. ويتكرر ذلك مع كل دورة تذبذب فى درجة الحرارة. ولتلافى ذلك يجب التحكم فى درجة الحرارة أثناء النقل والتوزيع والتخزين على درجة حرارة ثابتة. والتذبذب فى درجة الحرارة يساعد على نشاط الإنزيمات وتنشيط الأحياء الدقيقة.

ب- ظاهرة الجفاف Desiccation : تسامى البللورات الثلجية خاصة فى الأغذية غير محكمة التغليف يسبب ظاهرة لسعات التجميد freeze burn وهذه الظاهرة تلاحظ فى اللحوم والدواجن حيث تتكون مناطق جافة ذات لون غامق وغير مقبول للمستهلك . كما يؤدى الجفاف إلى تزنخ وأكسدة الدهن فى المنطقة الجافة وحدوث دنترة للبروتين . مما يؤدى إلى تليف وخشونة اللحم. ولتجنب لسعات التجميد فإنه يجب التغليف الجيد للأغذية المجمدة وليس من السهل منع الجفاف تماماً فى الدواجن حيث يصعب تغليفها بطريقة محكمة تمنع أى تبخر للرطوبة ولذلك فإن تخزين الدواجن المجمدة يجب أن يتم فى مخازن مرتفعة الرطوبة النسبية ويتم إجراء الأجلزة glazing للسمك لحمايته من الجفاف.

ويؤدى تبخر الرطوبة من المواد الغذائية المجمدة إلى فقد فى الوزن قد يصل إلى 5-7 ٪ بينما التصميم الجيد للمجمدات والتغليف المحكم لا يؤدى إلى فقد يزيد عن 0.5-1.5 ٪ فقط. وتوجد علاقة مؤكدة بين الفقد فى الرطوبة وبين معدل التجميد حيث يقل حدوث الجفاف من الأغذية المجمدة كلما إنخفضت درجة الحرارة أثناء التجميد. وتتضح أهمية درجة الحرارة المنخفضة أثناء التجميد من شكل رقم 16-21 . فيوضح الفقد فى الوزن على درجات حرارة تجميد مختلفة.



شكل رقم 16-21 : الجفاف أثناء التجميد على درجات حرارة مختلفة

المصدر : Hui (1992) .

جـ – التبلـور crystallization: التبلور من التغيرات الطبيعية التى قد تظهر فى بعض منتجات الألبان المجمدة مثل الآيس كريم واللبن المركز والقشدة نتيجة تبلور سكر اللاكتوز أو بعض السكريات الأخرى التى لا تذوب بسرعة أثناء التفكيك وينتج قوام وملمس محبب غير مرغوب ويعرف بالترميل sandiness.

د- ذبول فى الأنسجة النباتية وليونة وطراوة فى الأنسجة النباتية بعد التفكيك ويرجع ذلك إلى تهتك فى جدر الخلايا النباتية نتيجة وجود البللورات الثلجية كبيرة الحجم خاصة فى التجميد البطئ بالإضافة إلى التلف فى الحالة الغروية للخلايا مما يضعف قدرتها على إمتصاص السائل المنفصل drip مرة أخرى.

هـ – انفصال كمية كبيرة من السوائل من الأغذية النباتية والحيوانية drip ويزداد الفقد عند إستخدام التجميد البطئ عنه فى طرق التجميد السريع أى أن إزدياد معدل التجميد يقلل من كمية السائل المنفصل كما يتضح من جدول رقم 16-16 وتؤثر درجة حرارة التخزين أيضاً على كمية السائل المنفصل فإرتفاع درجة الحرارة يزيد من كمية السائل المنفصل.

جدول رقم 16 16 العلاقة بين معدل التجميد والسائل المنفصل من اللحم المجمد

معدل التجميد سم / الساعه	السائل المنفصل ٪
10.0	0.0
2.8	1.4
2.3	1.5
1.6	3.4
1.0	3.9

المصدر : Jul (1984).

كما أن رقم الأس الهيدروجيني pH له تأثير على كمية السائل المنفصل، ففي اللحم بعد فترة الإنضاج أو التعتيق aging حيث يصل رقم الأس الهيدروجيني pH إلى 6.4 يلاحظ إنخفاض كمية السائل المنفصل عند هذا الرقم بعكس ما يحدث عند تجميد اللحم مباشرة بعد الذبح أي عند رقم أس هيدروجيني pH منخفض (5-5.5) فيلاحظ إزدياد كمية السائل المنفصل. وتزداد كمية السائل المنفصل في الأسماك المجمدة بعد تفكيكها بمعدل أكبر من اللحوم ويمكن تقليل كمية السائل المنفصل بغمر الأسماك في محلول ملحي من كلوريد الصوديوم (10 ٪) فترة قصيرة (20 ثانية) أو في محلول قلوي من كربونات الصوديوم (1-2 ٪) أو ثالث فوسفات الصوديوم فتعمل المحاليل القلوية على رفع رقم pH للأسماك مما يقلل من كمية السائل المنفصل. كما وجد أنه عند إضافة كمية قليلة من نترات الصوديوم أو البوتاسيوم إلى المحلول الملحي فإنها تعمل على تحسين لون الأسماك المجمدة. ويحدث تغيير في لون بعض الأغذية ويرجع ذلك إلى زيادة تركيز المواد الذائبة وينخفض رقم الـpH في جزء السائل المركز مما يؤثر على الصبغات ومن ثم تتغير الألوان.

ثانياً : التغيـرات الكيمـاوية والإنـزيمية :

يؤدى التجميد إلى خفض نشاط الإنزيمات ولكن بعض الإنزيمات يستمر نشاطها ببطء ولذلـك يجـب القـضـاء على الإنزيمات قبل التـجـمـيـد وذلـك بالمعـاملة الحـرارية (السلق blanching) فى الأغذية النباتية (الخضروات) ويستدل على كفاءة عملية السلق بالكشف عن إنزيم البيرواكسيداز لأنه أكثر مقاومة للحرارة من بقية الإنزيمات الأخرى.

ومن أهم التغيرات الكيماوية التى تحفزها الإنزيمات: التزنخ والأكسدة فى الدهن ويلاحظ أن دهن الأسماك أكثر عرضة للأكسدة والتزنخ من دهن اللحوم أو الدواجن. كما يحدث تحلل ببطء للدهن وتتكون أحماض دهنية منفردة . أما الدهون فى الأغذية النباتية فهى أقل عرضة للتزنخ والأكسدة. ويلاحظ أن اللحوم غير المغلفة يحدث بها أكسدة فى الدهن بسرعة كبيرة أيضاً فإن تعرض اللحوم أو الدواجن للضوء الشديد المباشر يؤدى إلى سرعة الأكسدة والتزنخ فى الدهون.

ويحتوى دهن الأسماك على نسبة مرتفعة من الأحماض الدهنية غير المشبعة التى يسهل أكسدتها ويتحول لون السمك إلى اللون البنى وتسمى هذه الظاهرة بالصدأ rusting. ويمكن تأخير حدوث التزنخ فى دهن الأسماك أثناء التخزين بغمرها فى محلول من حامض الأسكوربيك (0.05٪) أو جلات الإيثايل ethyl gallate أو بروبايل جلات propyl gallate بتركيز 0.01 - 0.05 ٪ لمدة 1-2 ثانية.

ويؤدى التجميد إلى دنترة البروتين (الميوسين myosin) مما يجعله غير قابل للذوبان تحت الظروف التى كان يذوب عليها وتقل الدنترة كلما كان التجميد أسرع. وقد تبين من البحوث أن التجميد يؤدى إلى تغيرات غير مرغوبة فى قوام السمك فيصبح أكثر صلابة وخشونة وتقل العصيرية به وتزداد كمية السائل المنفصل منه.

وأوضحت بعض البحوث إنه عند تخزين الأسماك على درجة حرارة منخفضة تتراوح بين –40 °م إلى –20 °م فإن التغيرات فى القوام كانت غير ملحوظة بمقارنتها بالتخزين على درجة حرارة –7 °م والتجميد يؤدى إلى زيادة اللزوجة فى البيض المجمد ويرجع ذلك إلى دنترة البروتين والليبوبروتين كما أن بسترة البيض قبل التجميد على درجات حرارة مرتفعة

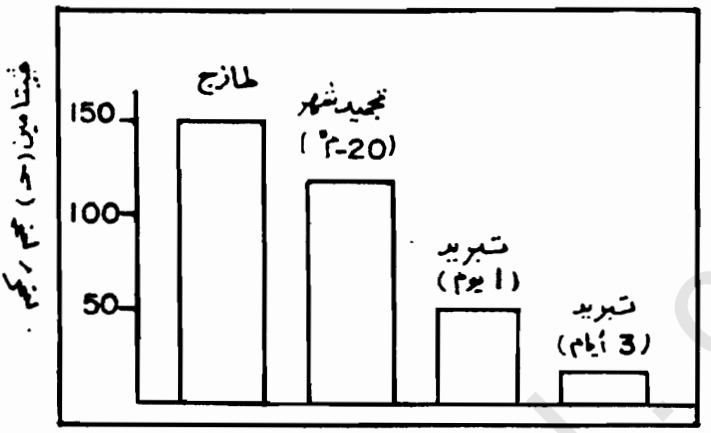
يساعد على زيادة اللزوجة . وقد يحدث تحلل للبروتين فى الأسماك واللحوم المجمدة بواسطة الإنزيمات المحللة للبروتين أثناء تخزينها مجمدة إذا لم تثبط هذه الإنزيمات .

الأغذية النباتية (الخضروات والفاكهة) يحدث بها فقد فى كثير من العناصر الغذائية مثل فيتامين جـ أثناء التجهيز للتجميد (السلق) حيث يصل الفقد إلى 6-15 ٪ فى الأسبرجس بينما يصل إلى 40-76 ٪ فى السبانخ . ويقل الفقد باستخدام البخار فى عملية السلق خاصة فى الخضروات الورقية (السبانخ) . وأثناء تخزين الأغذية المجمدة على درجة الصفر الفهرنيتى (-18م) تتراوح نسبة الفقد فى فيتامين جـ بين 10-20 ٪ (شكل رقم 16-22) وتصل فى بعض الخضروات إلى50 ٪. ويزداد الفقد بطول فترة التخزين وبإرتفاع درجة الحرارة أثناء التخزين. كما يفقد فيتامين جـ أيضاً من الفاكهة المجمدة أثناء التجميد والتخزين كما يتضح من جدول رقم 16-17 وأيضاً فإن لنوع العبوة المستخدمة فى تعبئة الفاكهة المجمدة تأثيراً على فقد فيتامين جـ .

جدول رقم 16-17 : الفقد فى فيتامين جـ أثناء تخزين الفراوله المجمدة على درجة صفر م

زمن التخـــزين بالأيـــام	فيتـــامين جـ مجم / 100 جم
0	31
60	30.5
120	29
240	26
280	20
720	14

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977) .



شكل رقم 16-22: تأثير التبريد والتجميد على محتوى البسلة من فيتامين جـ

المصدر : Bald (1991).

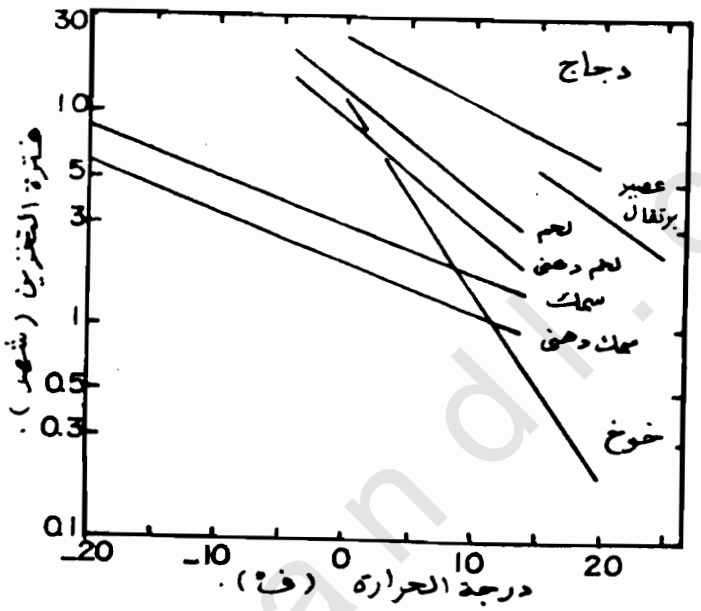
ولذلك فإنه يضاف فيتامين جـ إلى الفاكهة قبل التجميد للمحافظة على جودتها ، يلاحظ أن فيتامين ب$_1$ قد يفقد أثناء المعاملة الحرارية (السلق) فى الفاكهة والخضروات.

كذلك فقد يحدث تغيير فى لون المواد الغذائية المجمدة أثناء التخزين فالفاكهة والخضروات يحدث بها تغيير تدريجى فى اللون نتيجة فعل الإنزيمات المؤكسدة بالإضافة إلى التغيير فى اللون الذى يحدث فى الفاكهة أثناء تجهيزها للتجميد نتيجة أكسدة المواد الفينولية الموجودة طبيعياً فى الفاكهة والخضروات كما أن اللون قد يتغير فى الأغذية الحيوانية خاصة اللحوم حيث تحدث أكسدة لصبغات الميوجلوبين ويتحول اللون إلى البنى نتيجة لتحول الميوجلوبين إلى ميتميوجلوبين metmyoglobin والتعرض للضوء يساعد على تغيير اللون. والتغليف الجيد وعدم التعرض للضوء الشديد المباشر يساعد على المحافظة على اللون الطبيعى للحوم والأسماك والخضر والفاكهة.

وتفقد بعض الأغذية المجمدة مثل الفواكه والخضروات جزءاً من مركبات النكهة الطيارة أثناء تخزينها مجمدة ويرجع ذلك إلى إرتفاع درجة الحرارة عن الدرجة المثلى لتخزين هذه المنتجات مما يؤدى إلى تبخير المركبات الطيارة منها. وأيضاً يحدث تلف أو

تكسير الحالة الجيلية أو الاستحلابية أثناء التفكيك لبعض الأغذية المحتوية على نسبة مرتفعة من البكتين مثل الطماطم.

والشكل رقم 16-23 يوضح مدى ثبات الأغذية المجمدة عند تخزينها على درجات حرارة مختلفة.



شكل رقم 16-23 : ثبات الأغذية المجمدة على درجات حرارة تخزين مختلفة

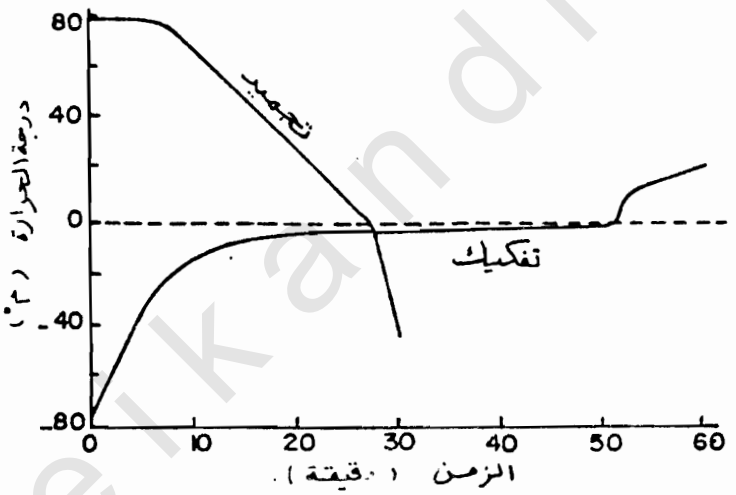
المصدر: Fennema (1975).

16 - 2 - 14 تفكيك المواد الغذائية المجمدة : Thawing of frozen foods

بالرغم من أن حفظ الأغذية بالتجميد يعتبر من أفضل طرق الحفظ إلا أن تفكيك هذه الأغذية عند استهلاكها أو تصنيعها يعرضها لكثير من التغيرات غير المرغوبة ويقلل من جودتها حيث أنه من السهل حدوث فساد للمادة الغذائية المجمدة أثناء إجراء عملية التفكيك لا سيما إذا كان التفكيك بطيئاً. ويلاحظ أن الزمن اللازم لتفكيك الغذاء أطول من زمن تجميده تحت نفس ظروف الإنتقال الحرارى، أى أن الأغذية المجمدة تحتاج إلى ضعف الزمن لترتفع درجة حرارتها من -10 م إلى60 ف (-23.3 إلى 15.6 م) عن الزمن اللازم

لتنخفض من 60 ° ف إلى -10 ° ف (من 15.6 إلى -23.3 ° م) . ويرجع ذلك إلى الإختلاف في معامل التوصيل الحرارى لكل من الماء والثلج .

ولذلك فإن تفكيك الأغذية المجمدة يستغرق زمناً أطول من زمن التجميد (شكل رقم 16-24) مما يعطى فرصة لنمو الميكروبات والتى تزداد على سطح المادة الغذائية بسرعة حيث أن درجة حرارة السطح الخارجى ستكون أول منطقة ترتفع فيها درجة الحرارة وستكون عرضة لنمو الأحياء الدقيقة أكثر من الأجزاء الداخلية فى المادة الغذائية . وشكل رقم 16-25 يوضح إنتقال الحرارة أثناء تجميد علبة اسطوانية [أشكال A ، B ، C] وأثناء التفكيك أشكال [D ، E ، F] حيث يتضح أن زمن التجميد أقل من زمن التفكيك . وبصفة عامة فإن الفترة



شكل رقم 16-24 : مقارنة منحنى التجميد والتفكيك لعلبة اسطوانية

المصدر : Fennema (1975) .

التى تحتاجها المادة الغذائية ليتم تفكيكها تعتمد على عدة عوامل أهمها :

أ- شكل المادة الغذائية (القطر والأبعاد) لا سيما الأجزاء السميكة منها .

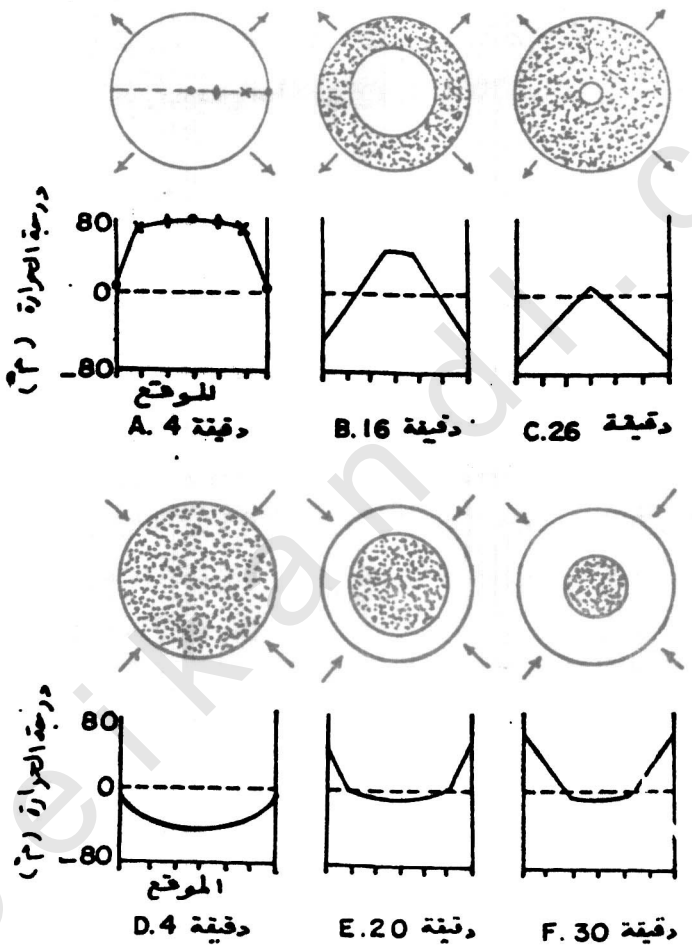
ب- كمية الطاقة أو الحرارة التى يجب إضافتها إلى هذه المادة وهذه تتوقف على درجة الحرارة الإبتدائية للمادة والدرجة النهائية التى يجب أن تصل إليها .

obeikandl.com

جـ – الخواص الطبيعية للمادة الغذائية (معامل التوصيل) والتركيب الكيماوى لها.

د– درجة حرارة الوسط الذى سيتم فيه التفكيك.

هـ – نوع الوسط الذى سيستخدم فى عملية التفكيك وسرعته.



شكل رقم 16-25 : إنتقال الحرارة أثناء التجميد والتفكيك لعلبة إسطوانية

A ، B ، C أثناء التجميد - D ،E ،F أثناء التفكيك

الأسهم تدل على إتجاه الحرارة - النقط تدل على المادة المجمدة

المصدر :(1975) Fennema.

obeikandl.com

ويلاحظ أنه فى الإستهلاك المنزلى فإن الخضروات المجمدة يمكن إستهلاكها مباشرة بالطبخ وبدون عملية تفكيك وأيضاً يمكن إجراء عملية التحمير مباشرة فى بعض منتجات اللحوم المجمدة فى وحدات منفصلة (البيفبرجر- السجق) أيضاً أصابع السمك fish fingers.

وأيضاً الفطائر المجمدة يمكن تسخينها مباشرة فى الأفران الكهربائية، ويمكن تقسيم طرق التفكيك إلى قسمين رئيسين هما : التفكيك بإستخدام الهواء أو الماء والتفكيك بالطرق الكهربية.

أولاً : التفكيك بالهـواء :

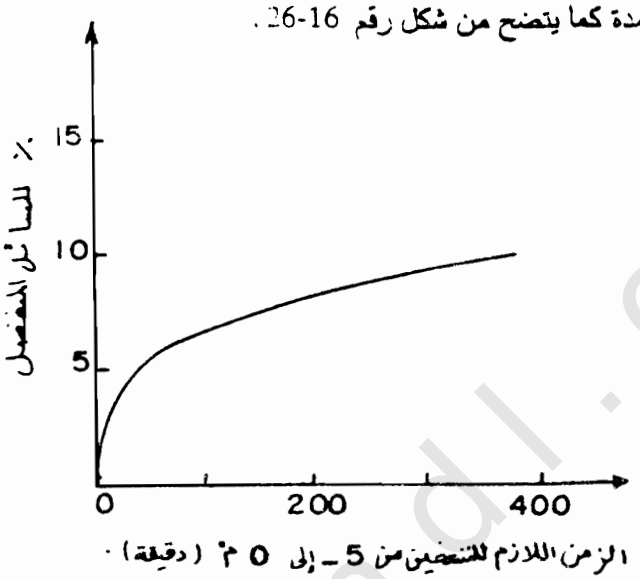
حيث يتم نقل الحرارة إلى المادة الغذائية المجمدة عن طريق طبقة الهواء الملامسة لسطح المادة الغذائية فالمنتجات المعبأة فى عبوات صغيرة يتم تفكيكها خلال ساعات قليلة على درجة حرارة الغرفة مما لا يؤدى إلى حدوث التغيرات غير المرغوبة الناتجة من نمو البكتريا. أما الأغذية المجمدة فى كتل كبيرة مثل الفواكه وعبوات مخاليط البيض واللحوم والأسماك الكبيرة والدواجن فإنها تتعرض لبعض التغيرات أثناء تفكيكها لطول زمن التفكيك فالبيض المجمد فى عبوات كبيرة (30 رطل) تحتاج إلى زمن قدره 20-60 ساعة حتى يتم تفكيكها فى الهواء (يعتمد الزمن على درجة حرارة الهواء) . وأثناء هذه الفترة قد يتعرض لنشاط الأحياء الدقيقة كما يتضح ذلك من جدول رقم 16-18.

جدول رقم 16-18 : تأثير التفكيك على ميكروبيولوجى البيض المجمد بعد إزالته من القشر

طريقـــة التفكـيـك	عـدد الساعات	% للزيادة فى عدد الميكروبات أثناء التفكيك
هواء درجة حرارة 27°م (80°ف)	23	1000
هواء درجة حرارة 21°م (70°ف)	36	750
هواء درجة حرارة 7.2°م (45°ف)	63	225
ماء جارى درجة حرارة 16°م (60°ف)	15	250
ماء جارى درجة حرارة 21°م (70°ف)	12	300
الماء مع الرج درجة حرارة 16°م (60°ف)	9	40
الطرق الكهربية	0.25	غير ملحوظ

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

كما أن طول فترة التفكيك يزيد من كمية السائل المنفصل drip من الأغذية المجمدة خاصة الأسماك المجمدة كما يتضح من شكل رقم 16-26 .



شكل رقم 16-26 : تأثير معدل التفكيك على كمية السائل المنفصل من سمك الوقار

المصدر : Jul (1984).

وقد تستخدم درجات حرارة مرتفعة نوعاً فى عملية التفكيك مما قد يؤدى إلى زيادة نشاط البكتريا والخمائر على الأجزاء السطحية بسبب تفككها بمعدل أسرع من الأجزاء الداخلية .

وقد تستخدم أنفاق تمر بها المواد الغذائية المجمدة (غالباً غير مغلفة) حيث تمر على سير متحرك ويتم دفع الهواء بسرعة 1000 قدم / دقيقة فى إتجاه مواز لإتجاه سير المادة الغذائية حيث يتم تفكيك تام للمادة الغذائية عند خروجها من النفق مع ضبط درجة حرارة الهواء وسرعته ورطوبته النسبية لتجنب حدوث جفاف سطحى .

وقد يستخدم التفكيك على مرحلتين حيث يستخدم فى المرحلة الأولى هواء درجة حرارته مرتفعة (35-60م) حتى يبدأ التفكيك فى الطبقة الخارجية ثم تخفض درجة الحرارة إلى10 م حتى يتم التفكيك وبذلك يقل إحتمال الفساد الميكروبى أثناء التفكيك .

ويفضل بصفة عامة إجراء التفكيك على درجة حرارة الثلاجة (1.7-4.4°م) وذلك بوضع الأغذية المجمدة فى الثلاجات طوال الليل وهى أفضل الطرق لتفكيك الأغذية المجمدة بكميات كبيرة وهذا يحد من الظروف المناسبة لنشاط الأحياء الدقيقة.

ثانياً : التفكيك بالمـــاء :

الأسماك الكاملة المجمدة يتم تفكيكها بغمر عبواتها فى أحواض ماء دافئ (60-70°ف) أو تستخدم أحواض مقسمة إلى عدة مسارات وتدفع عبوات الأغذية المجمدة بواسطة تيار ماء مدفوع بمضخة فى مسارات محددة تنتهى بخروجها من الحوض بعد تمام تفكيكها.

ثالثاً : التفكيك بالطرق الكهربية :

يستخدم تيار كهربى وفيه ترفع درجة حرارة المادة المجمدة من المركز إلى إتجاه السطح فقد يستخدم التسخين بالكهربـاء dielectric heating حيث يحدث إنتقال للحرارة إلى المادة الغذائية المجمدة عند تعرضها لحقل كهربائى حيث أن الأقطاب الكهربية تكون ملامسة للمادة الغذائية المجمدة وتؤدى إلى توليد حقل كهربى محيط بالمادة الغذائية من كل جهة ويكون إنتقال الحرارة منتظماً فى جميع أجزاء المادة الغذائية المجمدة. وميزة هذه الطريقة أنها تؤدى إلى سرعة التفكيك بالمقارنة بالطرق التقليدية (الهواء والماء) كما يوجد إنتظام فى رفع درجة حرارة المادة الغذائية مع ملاحظة أنه يجب ضبط الحقل الكهربى لتجنب إرتفاع درجة الحرارة فى جزء من المادة الغذائية بمعدل أكبر من الأجزاء الأخرى.

ويمكن إستخدام طاقة الأشعة ذات الموجات القصيرة microwave فى تفكيك الأغذية المجمدة حيث يكون التفكيك سريعاً إذ أن الأشعة تخترق الطبقات المختلفة للمادة الغذائية فى صورة تيار مستمر يحمل شحنات موجبة وأخرى سالبة وحيث أن الماء فى الأغذية يكون متأيناً (محمل بشحنات موجبة وأخرى سالبة) فمرور الأشعة يعمل على تحريك جزيئات الماء عن طريق قوى التجاذب والتنافر بينها وبين جزيئات الماء المتأينة مما يتولد عن هذه الحركة حرارة ناتجة من إحتكاك الجزيئات ببعضها البعض وهذه تساعد فى إذابة الثلج إلى ماء وحيث أن الطاقة الحرارية الممتصة بواسطة الغذاء تتوزع بصورة دورية ومنتظمة فإن ذلك يؤدى إلى تجانس تفكيك الناتج.

وتستخدم هذه الطرق فى تفكيك اللحوم والأسماك المجمدة وخاصة الجمبرى حيث لا تعطى الطاقة الحرارية المتولدة الفرصة لنمو الأحياء الدقيقة وحدوث التغيرات غير المرغوبة. ولكن التكاليف المرتفعة لهذه الطرق تحد من إستخدامها على نطاق صناعى. وقد يتم تفكيك للأغذية المجمدة ثم يعاد تصنيعها مرة أخرى مثل منتجات الأسماك (أصابع السمك fish finger) ومنتجات الدواجن واللحوم (السجق – البيفبورجر). وكما سبق ذكره فإن التفكيك ثم إعادة التجميد مرة أخرى له تأثير سيئ على جودة المنتجات ولذلك فإنه يفضل فرم اللحم المجمد مباشرة ثم تصنيعه إلى المنتجات المختلفة ويجب الحرص أثناء تصنيع هذه المنتجات حتى لا يحدث تلوث بالأحياء الدقيقة.

16 - 2 - 15 فترة صلاحية الأغذية المجمدة :

Shelf - life of frozen foods

تعتمد فترة صلاحية الأغذية المجمدة على فترة ودرجة حرارة التخزين وتعتمد أيضاً على نوع المنتج الغذائى وطريقة التصنيع ونوع مواد التعبئة المستخدمة أو ما يطلق عليه عوامل المنتج الغذائى والتصنيع والعبوة (ppp) product, process and packaging.

وأيضاً تعتمد إلى حد كبير على إختبارات التذوق taste panels التى تتم بواسطة محكمين من ذوى الخبرة يمكنهم الحكم على جودة الأغذية المجمدة.

أولاً: المنتج الغذائى : Product

المادة الخام المستخدمة للحفظ بالتجميد لها تأثير كبير على جودة المادة الغذائية المجمدة. فمدى جودة المادة الخام وطزاجتها له تأثير واضح على الجودة النهائية للمنتج الغذائى كما أن المواد المضافة للأغذية المجمدة قد يكون لها تأثير على الجودة مثل إضافة بروتين فول الصويا لمنتجات اللحوم (البيف برجر) حيث يزداد مدى التقبل لهذا المنتج. أيضاً قد تضاف مواد حافظة مثل ملح الطعام أو مضادات الأكسدة ... ألخ. فهذه المواد تطيل من فترة حفظ هذه الأغذية وبذلك تزيد من فترة الصلاحية. أيضاً فإن إضافة السكر للفاكهة قبل التجميد يحسن من الطعم ويزيد من فترة الصلاحية.

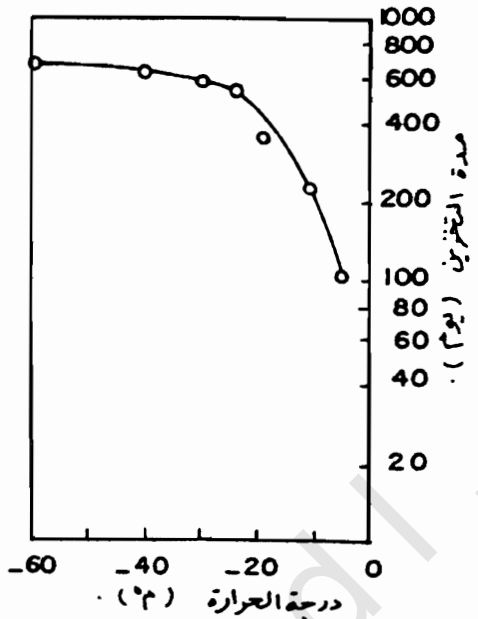
ثانياً : التصنيع : Process

تتم بعض العمليات التصنيعية على المواد الغذائية قبل تجميدها (الغسيل – التقشير – التقطيع – السلق .. ألخ) وإجراء هذه العمليات بكفاءة عالية سوف يحسن من جودة المنتجات المجمدة النهائية. أيضاً فإن لمراحل التصنيع المستخدمة تأثيراً واضحاً على جودة المنتجات وكلما إنخفضت درجة حرارة التخزين للأغذية المجمدة مع ثبات درجة الحرارة طوال فترة التخزين سيؤدى ذلك للحصول على منتجات ذات جودة مرتفعة وتزداد فترة الصلاحية (شكل رقم16-27) ويلاحظ أن عملية السلق للخضروات لها تأثير كبير على الجودة وعلى فترة الصلاحية للخضروات حيث تختلف هذه الفترة بإختلاف الطريقة المستخدمة فى السلق.

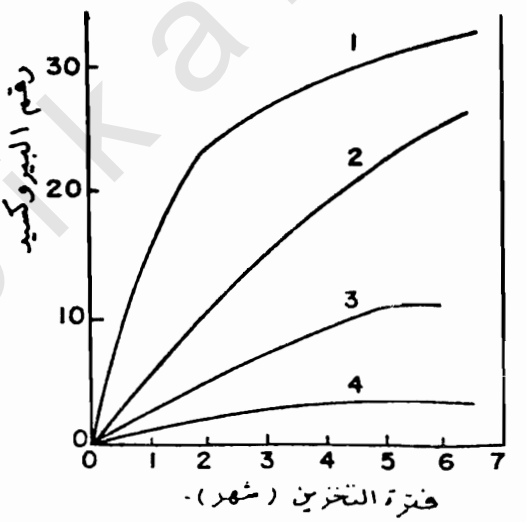
أيضاً فإن المعاملة بالمواد المضادة للأكسدة للأسماك الدهنية تساعد على إطالة فترة الحفظ للأسماك المجمدة. ويفضل أن تتم جميع مراحل التجميد بسرعة لتلافى التلوث بالأحياء الدقيقة أو التدهور فى خواص الجودة مما يساعد على إطالة فترة الصلاحية لها.

ثالثاً : التعبئـــة : Packaging

التعبئة الجيدة فى عبوات محكمة مفرغة من الهواء لها تأثير كبير على جودة المنتجات الغذائية المجمدة وإطالة فترة الصلاحية لها. فاستخدام العبوات المفرغة من الهواء تساعد على إطالة فترة حفظ الجمبرى والأسماك الدهنية كما يتضح من الجدول رقم 16-19 وأيضاً فإن لعملية الأجلزة glazing للأسماك نفس التأثير حيث يتضح من شكل رقم 16-28 أن رقم البيروكسيد كمقياس للتزنخ فى سمك الرنجة قد ازداد بدرجة ملحوظة فى السمك غير المغطى بطبقة الثلج أى لم تتم له عملية الأجلزة . كما أن التجميد بالهواء المدفوع كان أفضل من التجميد فى المحلول الملحى (رقم البيروكسيد أقل).



شكل رقم 16-27: فترة صلاحية قطع لحم معبأة فى عبوات بولى ايثيلين
المصدر : (1984) Jul.



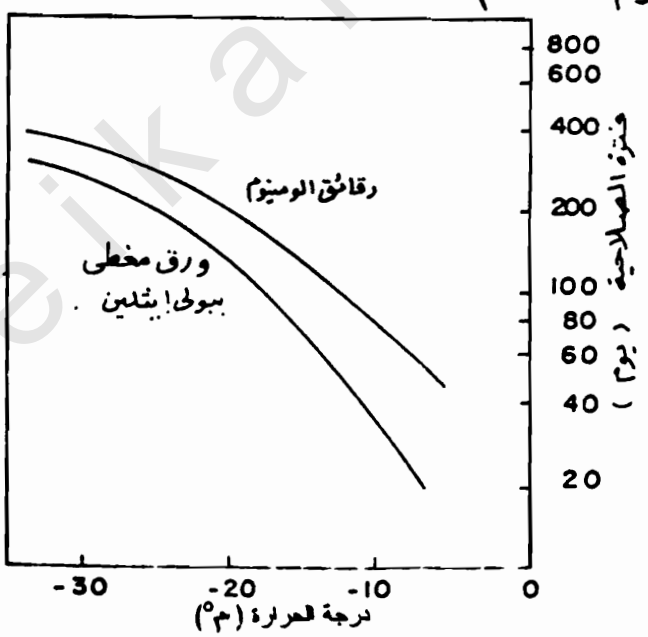
شكل رقم 16-28 : التزنخ (رقم البيروكسيد) فى سمك الرنجة
1- تجميد فى محلول ملحى بدون أجلزة 2- تجميد فى محلول ملحى مع أجلزة
3- تجميد فى هواء مدفوع بدون أجلزة 4- تجميد فى هـواء مدفوع مع أجنزة
المصدر : (1984) Jul.

جدول رقم 16-19 : فترة صلاحية الجمبرى المجمد ومخزن على درجة حرارة-18 م°

المـــادة الغـــذائيـة	مـــدة الصلاحية (شهر)
8٪ أجازة ومعبأ تحت تفريغ	10
4٪ أجازة ومعبأ تحت تفريغ	9 - 8
معبأ تحت تفريغ	7 - 6
معبأ فى بولى ايثيلين	4 - 3

المصدر : Jul (1984).

وأيضاً فإن للعبوة المستخدمة تأثيراً كبيراً على جودة الأغذية المجمدة وعلى فترة الصلاحية (شكل رقم : 16 - 29).



شكل رقم 16-29 : تأثير نوع العبوة على فترة صلاحية شرائح اللحم (بيف برجر)

المصدر : Hui (1992).

ويوضح جدول رقم 16-20 فترة صلاحية بعض أنواع الأغذية المجمدة

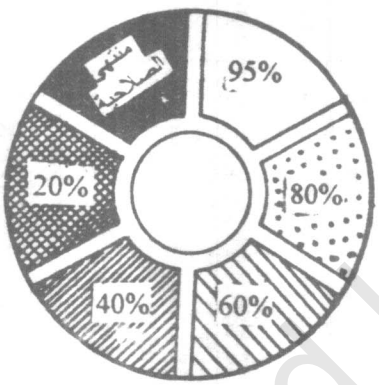
جدول رقم 16-20 : فترة صلاحية الأغذية المجمدة بالشهور على درجات حرارة تخزين مختلفة

المنتج	درجة حرارة التخزين		
	-17.7°م (0°ف)	-12.2°م (10°ف)	-6.6°م (20°ف)
عصير برتقال (معامل حراريا)	27	20	4
خوخ	12	2 >	6 يوم
فراولة	12	2.4	10 يوم
قرنبيط	12	2.4	10 يوم
فاصوليا خضراء	11-12	3	1
بسلة خضراء	11-12	3	1
سبانخ	6-7	3 >	0.75
لحم دجاج (مغلف)	27	15.5	8 >
دجاج مقلى	3 >	30 > يوم	18 > يوم
لحم بقرى	13-14	5	2 >
أسماك غير دهنية	3	2.25 >	1.5 >
أسماك دهنية	2	1.5	0.8

المصدر : مختصر من Potter & Hotchkis (1995).

وحديثاً تستخدم **دلائل لدرجة الحرارة** Temperature indicators: على عبوات الأغذية المجمدة لتحديد مدى تعرض العبوات للتغيير فى درجات الحرارة أثناء التخزين مثل وضع علامة spot حساسة للتغيير فى درجات الحرارة حيث يتغير لون هذه العلامة من الأصفر إلى الأحمر إذا ارتفعت درجة الحرارة أعلى عن -16°م ولذلك يجب المحافظة على أن يظل لون العلامة أصفر أى المحافظة على درجة الحرارة المناسبة للتخزين. وحديثاً تستخدم دلائل كثيرة كمؤشر لدرجات الحرارة المخزن عليها الأغذية المجمدة كما أن بعضها

يوضح فترة الصلاحية المتبقية على الغلاف الخارجى للعبوات (شكل رقم 16-30) حيث يتم مقارنة لون المركز (يحتوى على صبغة حساسة) الدى يوضح لون المادة الغذائية مع الأقسام الخارجية التى تدل على فترة الصلاحية المتبقية



شكل رقم 16-30: دليل درجة الحرارة والزمن للأغذية المجمدة

المصدر : Jul (1984).

وقد أنشئ نظام يعتمد على وجود بلورات معينة يمكن إدخالها فى مادة التغليف المعبأ بها المادة الغذائية حيث يتغير لونها سريعاً مع التغيير فى درجات الحرارة ومثال ذلك أن يتغير إلى اللون الأسود على درجة حرارة -15 م بينما يصبح أخضر عند درجة حرارة -14م ، أزرق عند درجة حرارة -12 م... وهكذا، وبذلك يمكن إعتبارها إشارة تحذير عند إرتفاع درجات الحرارة أثناء تخزين الأغذية المجمدة

ومن الدلائل المستخدمة أيضاً أنه قد توضع كرة صغيرة أو مكعب من الثلج فى عبوة المادة الغذائية المجمدة أثناء التخزين فإذا إختفت أو تغير شكلها دل ذلك على أن هذا المنتج قد إرتفعت درجة حرارته أعلى من الصفر الفهرنيتى (-18م) وأيضاً قد إستخدمت أجهزة خاصة لتحديد الزمن الذى تعرضت فيه المادة الغذائية لإرتفاع درجات معينة من الحرارة أعلى من درجة الحرارة المثلى للتحرير

وحديثاً تم تصميم مؤشرات devices بسيطة توضع على عبوات الأغذية المجمدة وتوضح زمن ودرجة الحرارة التى تعرضت لها المادة المجمدة طوال فترة التخزين وبذلك يمكن الإستفادة من هذه القرارات فى تحديد فترة الصلاحية لها shelf-life مع ملاحظة أن إستخدام هذه لمؤشرات لتحديد فترة الصلاحية للأغذية المجمدة يعتمد بدرجة أكبر على السطح الخارجى للمادة الغذائية وليس على الطبقات الداخلية للأغذية.

16 - 2 - 16 تعبئة الأغذية المجمدة : Packaging of frozen foods

تحفظ الأغذية المجمدة فى عبوات مناسبة أثناء تخزينها مجمدة وذلك لمنع جفافها نتيجة تبخر الرطوبة منها ولمنع أكسدتها وذلك بعزلها عن الهواء. وتراعى بعض الشروط عند إختيار مادة التعبئة والتغليف منها :

أ – مقاومة لنفاذ الرطوبة .

ب – ألا تكون هشة سهلة التمزق عند تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة .

جـ – أن تكون مرنة وتحتفظ بخواصها عند درجات الحرارة المنخفضة وتظل محكمة القفل على المادة الغذائية حيث أن معظم الأغذية المجمدة تتمدد عند تجميدها.

د – غير منفذة للهواء أو الضوء أو الغازات لطول فترة تخزين الأغذية المجمدة.

هـ – لا تسمح بتسرب الماء أو السوائل حتى لا يحدث رشح للسوائل منها أثناء تفكيك الأغذية المجمدة.

و – سهولة الطبع عليها أو لصق البيانات عليها.

ز – إمكان تفريغها من الهواء عند التعبئة.

ح – سريعة التوصيل للحرارة لتسهيل التجميد السريع.

ط – تتحمل الضغط أثناء التعبئة والتجميد والتخزين والنقل والتفكيك.

ى – تكاليف ثمنها غير مرتفعة ويكون منظرها جذاباً للمستهلك.

ويمكن القول أنه يوجد نوعان من العبوات للأغذية المجمدة : –

obeikan.com

أ- العبوات الداخلية : Primary packages .

ب – العبوات الخارجية : Shipping containers .

أولاً: العبوات الداخلية : Primary packages

وهى العبوات الملامسة للمادة الغذائية ومنها عدة أنواع :

ومن أهم المواد التى تستخدم فى هذه العبوات :

أ – الكرتون Carton and board :

الكرتون المقوى من أكثر المواد المستخدمة فى تعبئة الأغذية المجمدة وحديثاً يستخدم أنواع حديثة من الكرتون المصنعة من الألياف fibre board ويستخدم أيضاً الورق الكرافت kraft paper . وعادة تبطن العبوات من الداخل بطبقة من الشمع أو بطبقة من البلاستيك الرقيق من مواد مثل بولى ايثيلين polyetheylene (PE) أو بولى بروبلين(PP) polypropylene أو بولى فينلدين Polyvinylidene choride (PVDC) . حيث تعمل هذه المواد على زيادة كفاءة العبوات فى تقليل نفاذية الهواء والرطوبة.

ب – الألمونيوم Aluminum :

تستخدم رقائق الألمونيوم المضغوطة بكثرة فى تغليف الأغذية المجمدة حيث تستخدم على هيئة صوانى لتعبئة الأغذية سابقة التجهيز ك لأنها تتحمل درجات الحرارة المرتفعة فيمكن إستخدامها فى الأفران.

جـ – البلاستيك Plastic :

تصنع العديد من عبوات البلاستيك لتعبئة الأغذية المبردة والمجمدة ويستخدم ما يطلق عليه flexibl films (الأفلام المرنة) وتستخدم على هيئة لفائف rolls أو يستخدم أكثر من نوع من المواد وتلصق مع بعضها بواسطة الحرارة والضغط ويطلق عليها laminates . وعادة تصنع هذه الأفلام من بوليمرات عضوية حيث توجد الآن كثير من المواد البلاستيكية والتى تبدأ بكلمة "Poly" ومن أهمها:

1- البولى ايثيلين Polyethylene (PE)

وهو من أكثر مواد التغليف إستخداماً لرخص ثمنه ويتميز بأن له بريقاً وشفافية وهو مقاوم للتمزق وغير منفذ للرطوبة ومرن على درجة الحرارة المنخفضة. ويمكن قفله باستخدام الحرارة ولذلك فإنه يستخدم كغطاء أو كمادة laminate مع أفلام أخرى لا يمكن لحامها بالحرارة.

2- البولى بروبلين Polypropylene (PP)

3- كلوريد البولى فنيلدين Polyvinylidene chloride (PVDC)

والبولمير من vinylidene chloride يعرف باسم الساران saran ويستخدم لتغطية المواد الأخرى مثل الورق وهو أفضل من البولى ايثيلين فى مقاومته لنفاذ الرطوبة.

4- بولى ايثيلين تتراڤتالات Polyethylene tetraphthalate (PET)

5- البولى استير Polyesters

وهذا النوع من الأفلام يباع تحت اسم تجارى Mylar وعادة يستخدم فى طبقات مع مواد أخرى مثل البولى ايثيلين. ومن مميزات البولى استير تحمله للضغط ويمكن فرده بسهولة ويتحمل درجات الحرارة المنخفضة التى تصل إلى -95 ف وعادة ما يستخدم فى تغليف الأغذية غير منتظمة الشكل.

6- النايلون Nylon

ويشمل مجموعة من البولميرات ذات السلاسل الطويلة ويستخدم على حدة أو ضمن مجموعة أخرى من الأفلام.

7- السلوفان cellophane

ويصنع من السليلوز وقد يتم تغطيته بأنواع أخرى من البلاستيك مثل البولى ايثيلين والساران.

د- العلب الصفيح : Cans

قد تستخدم العلب الصفيح المصنوعة من ألواح القصدير tin-plate أو الألمونيوم لتعبئة

مزكزات العصائر المجمدة والبيض المجمد. وإن كان من غير الشائع تعبئة الأغذية المجمدة فى العلب الصفيح إلا أن إستخدامها ممكن حيث أنها تتحمل الضغط ويمكن تداولها بسهولة ويمكن تجميدها بالغمر المباشر.

ثانياً : عبوات الشحن Shipping containers :

تستخدم عبوات كبيرة لشحن الأغذية المجمدة وقد تستخدم الصناديق الخشبية فى تعبئة الدواجن المجمدة أو عبوات بلاستيك لشحن اللحوم المجمدة وأيضاً قد تستخدم عبوات من البولى استيرن Polystyrene لنقل الأغذية المجمدة أو العبوات الكرتونية.

16 - 2 - 17 تأثير التجميد على القيمة التغذوية للأغذية :

بدراسة تأثير عملية التجميد على القيمة التغذوية للأغذية تبين أن تأثير التجميد غير ملحوظ على القيمة التغذوية وأن التجميد يعتبر من أفضل طرق حفظ الأغذية بالمقارنة بطرق الحفظ الأخرى (التجفيف – التعليب ... ألخ) من حيث الإحتفاظ بالقيمة التغذوية والخواص العضوية الحسية للأغذية . ومعظم الفقد فى العناصر الغذائية يحدث أثناء خطوات التصنيع والمراحل الأولية لتجهيز الأغذية للتجميد (التقشير – الغسيل – السلق) وأثناء تخزين الأغذية المجمدة وأثناء عملية التفكيك. والفقد فى العناصر الغذائية فى الأغذية المجمدة يختلف باختلاف نوع المادة الغذائية ونوع العبوات المستخدمة وظروف التصنيع والتخزين. وتعتبر الفيتامينات من أكثر العناصر الغذائية التى تفقد أثناء عمليات الحفظ خاصة فيتامين (جـ) حيث يفقد بسرعة من الفواكه والخضروات وكذا مجموعة فيتامين (ب) من المنتجات الحيوانية.

1- البروتينات :

بدراسة تأثير التجميد على البروتين وجد أنه لا يحدث به تغيرات ملحوظة أثناء تجميد الأغذية. إلا أن فساد الأسماك أثناء تجميدها وتخزينها يكون مصحوباً بحدوث تغيير فى تركيب البروتين (دنترة) denturation . وقد وجد أنه يمكن هضم البروتين المدنتر فى الأسماك بعد طبخها وذلك إذا لم تخزن الأسماك لفترة طويلة على درجة حرارة مرتفعة.

2- الليبيدات :

أثناء تخزين الأغذية المجمدة قد يحدث بها تزنخ ويزداد معدله بطول فترة التخزين على درجة حرارة أعلى من الدرجة المناسبة للتخزين [صفر ف أو (-18م)] وتتعرض دهون الأسماك للتزنخ أسرع من دهن اللحوم الحيوانية. ويترتب على أكسدة الدهن حدوث فقد فى محتويات المادة الغذائية من فيتامين (أ) . ولا يعتبر التزنخ عاملاً هاماً فى التأثير على القيمة التغذوية للأغذية المجمدة. حيث يمكن منع حدوث التزنخ بخفض درجة حرارة التخزين.

3- الكربوهيدرات :

التغيير الذى يحدث فى الكربوهيدرات فى الفواكه المجمدة هو تحلل السكريات الثنائية إلى سكريات أحادية وهذا لا يؤثر على القيمة التغذوية للفاكهة المجمدة.

4- المعادن :

الفقد فى العناصر المعدنية قليل فى المنتجات الحيوانية المجمدة (اللحوم - الأسماك) إذا تم التجميد بالطرق السريعة عنه فى الطرق البطيئة حيث تقل كمية السائل المنفصل drip الذى يحتوى على نسبة ملحوظة من المعادن. والخضروات المجمدة يفقد منها نسبة من المعادن في ماء السلق ولذلك يفضل إستخدام البخار فى عملية السلق الخضروات. والفقد فى المعادن فى الفواكه المجمدة لا يؤثر على قيمتها التغذوية لأن السائل المنفصل والمحتوى على بعض العناصر المعدنية يتم عادة استهلاكه مع الفاكهة.

5- الفيتامينات :

الفيتامينات من أكثر العناصر الغذائية التى تفقد أثناء التجهيز للتجميد وأيضاً أثناء تخزين الأغذية المجمدة وأثناء تفكيكها. وفيتامين جـ من أهم الفيتامينات التى تفقد أثناء سلق الخضروات حيث يتراوح الفقد بين 10-50 ٪ فى الأنواع المختلفة من الخضروات (جدول رقم 16-21) وقد تبين أن الفقد فى الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء يكون نتيجة الذوبان فى ماء السلق وليس نتيجة هدم هذه الفيتامينات. حيث تبين أن الثيامين (ب١) يحدث له فقد بنسبة تتراوح بين 9-60 ٪. وأوضحت بعض البحوث أن النياسين يفقد بنسبة تصل إلى 14-24 ٪ ويفقد الريبوفلافين بنسبة 11-17 ٪ وذلك فى مجموعة من الخضروات (البسلة -

الفاصوليا – السبانخ – البروكلى – الجزر) . والفقد يحدث أثناء غسيل وسلق الخضروات.

ويلاحظ أن عملية التجميد ليس لها تأثير ملحوظ على فقد الفيتامينات فى الخضروات المجمدة ولكن الفقد يحدث أثناء تخزين الخضر المجمدة (جدول رقم 16-22) . ويزداد الفقد كلما إرتفعت درجة حرارة التخزين (شكل رقم 16-31) .

والفقد من فيتامين (جـ) من الفاكهة المجمدة يعتبر ضئيلاً ويزداد بطول فترة التخزين. والفقد من عصير الفاكهة المجمد يكون غير ملحوظ خاصة عند عدم تعرض العصير للهواء قبل التجميد. ولا يفقد عصير الفاكهة المركز المجمد كثيراً من فيتامين (جـ) حيث وجد أن عصير البرتقال المركز المجمد يفقد حوالى 5٪ من فيتامين (جـ) عند تخزينه على درجة حرارة –18 °م لمدة 9-12 شهراً. والفقد فى فيتامين (ب) من منتجات اللحوم والدواجن المجمدة ضئيل للغاية وقد يحدث فقد لمجموعة فيتامين (ب) أثناء تخزين اللحوم المجمدة.

جدول رقم 16-21 : الفقد فى فيتامين جـ وفيتامين ب$_1$ من الخضروات أثناء السلق

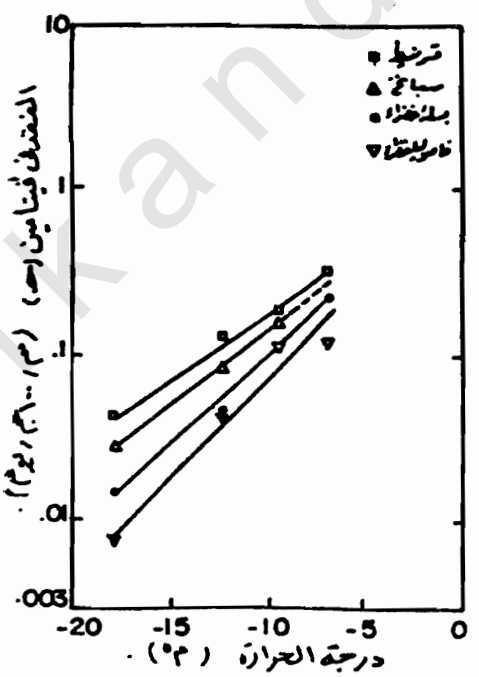
المنتـــج	متوسط الفقـد فى الفيتامينات ٪	
	فيتامين جـ	فيتامين ب$_1$
أسبرجس	10	-
فاصوليا خضراء	23	9
فاصوليا الليمـــا	24	36
بروكلـــى	36	-
القرنبيـــط	20	-
البســـلة	21	11
سبانـــخ	50	60

المصدر : Harris & Karmas (1975).

جدول رقم 16-22 : الفقد فى الفيتامينات والمعادن من الخضروات المجمدة أثناء التخزين

المنتج	الفقد فى العناصر الغذائية خلال 12 شهر تخزين على -18° م (٪)								
	ب١	ب٢	نياسين	ب٦	فولاسين	فوليك	بانتوثينك	كاروتين	حديد
الفاصوليا الخضراء	32.0	0	0	21-0	0	6	53	23-0	18
الكرنب	-	-	-	0	0	-	-	-	-
البسلة	16-0	8-0	8-0	7	-	0	29	4-0	20

المصدر: Harris & Karmas (1975).



شكل رقم 16-31 : تأثير درجة حرارة التخزين على الفقد فى فيتامين جـ من الخضروات المجمدة

المصدر : Harris & Karmas (1975).

وقد لوحظ أنه يحدث فقد فى مجموعة فيتامين ب من منتجات اللحوم المجمدة أثناء تفكيكها ويزداد الفقد إذا تم تفكيك اللحوم فى الماء عما إذا تم التفكيك فى الهواء ويقل الفقد إذا تم التفكيك فى الثلاجة. وجدول رقم 16-23 يوضح الفقد فى كمية فيتامين ب فى السائل المنفصل من اللحوم المجمدة

جدول رقم 16-23 : الفقد فى فيتامين ب مع السائل المنفصل من اللحوم المجمدة

الفيتـامين	الفقد فى فيتامين ب ٪
الثيامين	12.2
الريبوفلافين	10.3
النياسين	14.5
البيرودوكسين	9.4
حامض البانثونيك	33.2
حامض الفوليك	8.1

المصدر : Jul (1984).

obeikandl.com

References المراجـــع 3 - 16

Bald, W. B. (1991). Food freezing: Today and tomorrow. Springer - Verlag London limited.

Burg, S. P (1975). Hypotaric storage and transportation of fresh fruits and vegetables. In: "Postharvest biology and handling of fruits and vegetables". Haard N. F., and Salunkhe D. K. (Editors). AVI Publishing Co. Westport, Conn.

Cano, P., Marin, M. A and Fuster, C. (1990). Freezing of banana slices, Influence of maturity level and thermal treatment prior to freezing. J. Food Sci. 55, 1070 - 1072.

Chingying. L. and Kader, A. A. (1989). Residual effects of controlled atmospheres or postharvest physiology and quality of strawberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114, 629 - 634.

Desrosier, N. W. and Desrosier, J. N. (1977). The technology of food preservation, 4 th ed., AVI publishing Co., Westport, Conn.

Desrosier, N. W. and Tressler, D. K. (1977). Fundamentals of food freezing. AVI publishing. Co., Inc., Westport, Conn.

Fennema, O. (1975). Freezing preservation, In: "Principles of food science, part 2, physical principles of food preservation". karel, M., Fennema, O. R. and Lund, D. B. (Editors). Marcel Dekker, Inc. New York.

Fennema, O. (1975). preservation of food by storage at chilling Temperatures. In: "Principles of food science, part 2, physical principles of food preservation". karel, M., Fennema, O. R. and Lund, D. B. (Editors). Marcel Dekker, Inc. New York.

Harris, R. S. and Karmas, I. (1975) Nutritional evaluation of food processing . AVI publishing. Co., Inc.,Westport, CT.

Herald, T. J., Osorio, F. A and Smith, D. M. (1989). Rheological properties of pasteurized liquid whole egg during frozen storage. J. Food Sci. 54, 35 - 44.

Hsich, Y. L. and Regenstein, J. M. (1989). Texture changes of frozen stored cod and ocean perch minces. J. Food Sci. 54, 824 - 826.

obeikandl.com

Huffman, D. L., Davis, K. A., Marple, D. B. and MC guire, J. A. (1975) Effect of gas atmospheres on microbial growth, color, and pH of beef. J. Food Sci. 40, 1229 - 1233.

Hui,. Y. H. (eds) (1992). Encyclopedia of food science and technology. Vol I. II. III. IV. Wiley. Interscience - Publishing Inc. New York.

Hung, Y. C. (1990). Predicition of cooling and freezing times. Food Technol. 44, 137 - 140.

Jul, M. (1984). The quality of frozen foods. Academic Press Inc. London LTD.

Kader. A. A. (1986). Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Technol. 40. 99 - 104.

Knorr, D. and Regenstein, J. M. (1983). A simple method for evaluating textural changes of frozen fish minces. J. Food Sci. 48. 292 - 293.

Lipton, W. J. (1975). Controlled atmospheres for fresh vegetables and fruits. In: "Postharvest biology and handling of fruits and vegetables, N. F. Haard, and D. K. salunkhe (Editors). AVI pnblishing,. Co. Inc. Westport, Conn.

Luh, B. S., Feinberg, B. and Meehan, J. J. (1975). Freezing preservation of vegetables. In: "Commercial vegetable processing". Luh, B. S. and Woodroof, J. G. (Editors), AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

Nickerson, J. T. R. and Ronsivalli, L. J. (1975) Elementary food science. AVI Publishing Co. Inc. We..port, Conn.

Potter, N. N. and Hotchkiss, J. H. (1995) Food science, 5th ed. AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

Reid, D. S. (1983). Fundamental physiochemical aspects of freezing. Food Technol. 37, 110 - 115.

Renaus, T. Briery, P., Andrieu, J. and Laurent, M. (1992). Thermal properties of model food in the frozen state. J. Food Eng. 15, 83 - 97.

Salunkhe, D. K. and Wu, M. T. (1973). Effects of subatmospheric pressure storage on ripening and associated chemical changes of certain

deciduous fruits. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 98, 113 - 117.

Tressler, D. K., and Evers, C. F. (1968). The freezing preservation of foods. AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

Tressler, D. K.; Van Arsdel, W. B. and Copley. M. (1968) The freezing preservation of foods, 4th ed , Vol I, V, IV III, AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

Wang, C. Y. and Mellenthin, W. M. (1975). Effect of short term high Co_2 treatment on storage of d'Anjou pear. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100, 492 - 495.

Watt, B. K. (1977) The Nutritive value of frozen foods. in "Fundamentals of Food Freezing" Desrosier, N. W. and Tressler, D.K. AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

Watada, A. E., kim, S. D; Kim, K. S; and Harris, T. S. (1987) Quality of green beans, bell peppers and spinach stored in polythylene bags. J. Food Sci. 52, 1637 - 1641.

Williams, S. K.; Martin, R.; Brown, W. L.; and Bacus. N. (1983). Moisture loss in tray - packed fresh fish during eight days storage at 2°C. J. Food Sci. 48, 168 - 171.

Woolrich, W. R.; and Novak, A. F. (1977) Refrigeration technology. In "Fundamentals of Food Freezing" Desrosier, N. W. and Tressler, D. K. AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

د. محمد ممتاز الجندى 1981 ، الصناعات الغذائية ،حفظ وتصنيع الأطعمة، الجزء الثالث، دار المعارف.

د. محمد نزار أحمد 1992 ، تقانة تصنيع الأغذية وحفظها ، دمشق مكتبة الأسد.