

2-16 التجميد : 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... إلخ) حيث تحتفظ المواد الغذائية بخواصها الطبيعية (اللون - النكهة - القيمة التغذوية) لأن التجميد يثبط العوامل المسؤولة عن فساد الأغذية على درجات الحرارة العادية.

وقد بدأ حفظ الأغذية بالتجميد منذ زمن بعيد حيث استخدمه 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 استخدام 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 و Fellers وأيضاً العلماء W. V Cruess ، M Joslyn أول من أوضح ضرورة عملية السلق لتثبيت الإنزيمات فى الحصرات قبل التجميد.

وقد أنتشر استخدام 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 وانتشر استهلاك الأغذية المجمدة بصور متعددة بعد حدوث تطور كبير فى صناعتها مثل الأغذية المجمدة سابقة التجهيز (أصابع السمك المعدة للقلى وشرائح الدجاج وفتائر الفاكهة... إلخ)

والوجبات الكاملة المجمدة مثل الوجبات المستهلكة في المستشفيات والمدارس والفنادق... الخ. ويعرف التجميد بأنه خفض درجة حرارة المادة الغذائية إلى درجة حرارة أقل من الدرجة التي 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 يؤدي إلى خفض درجة تجمدها. وكلما ازداد تركيز المواد الذائبة مثل الملح أو السكر أو البروتينات الذائبة في محلول ما أدى ذلك إلى خفض درجة الحرارة التي يتجمد عندها المحلول.

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

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

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

نقطة التجمد م	تركيز كلوريد الكالسيوم في 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 لأي سائل أو محلول هي درجة الحرارة التي يحدث عندها إتزان بين السائل والصلب. ولأن المواد الذائبة في السوائل تخفض الضغط البخاري لها لذلك لن يكون هناك إتزان بين السائل والصلب عند درجة التجمد العادية (الصفر المئوي)، ولكن يحتاج الأمر إلى خفض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوي حتى يحدث الإتزان.

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

2-2-16 منحنى التجميد : Freezing curve

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

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

درجة الحرارة °م	المادة الغذائية
0	ماء - خس - كرنب
0.6	قرنبيط - سلطة
1.1	سبرجس - ثوت
1.7	جزر - لحم - سمك
2.2	بطاطس
2.8	لحم صنلن
3.3	
3.9	اللحم - الموز - جزر للهند
4.4	
5.0	
5.6	
6.1	
6.7	التفاح
7.2	
7.8	
8.3	فول سولفنى
8.9	

شكل رقم 16 - 7 : نقطة تجمد بعض الأغذية

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977).

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: التبريد Cooling أو Prefreezing :

المرحلة الزمنية التى يمر بها للمنتج الغذائى من درجة الحرارة الابتدائية إلى درجة الحرارة التى يبدأ عندها بلورة الماء على هيئة بلورات ثلجية (بداية نقطة التجميد) وفى هذه المرحلة يتم إزالة الحرارة المحسوسة sensible heat .

ثانياً : التجميد Freezing :

وهذه المرحلة تكون فيها درجة الحرارة ثابتة تقريباً ويتم فيها بلورة معظم الماء الموجود فى صورة بلورات ثلجية ويتم فيها إزالة الحرارة الكامنة latent heat (الحرارة اللازمة لإزالتها من الماء ليتحول إلى ثلج بدون تغيير فى درجة الحرارة) .

ثالثاً : تعديل الحرارة لدرجة حرارة التخزين Tempering

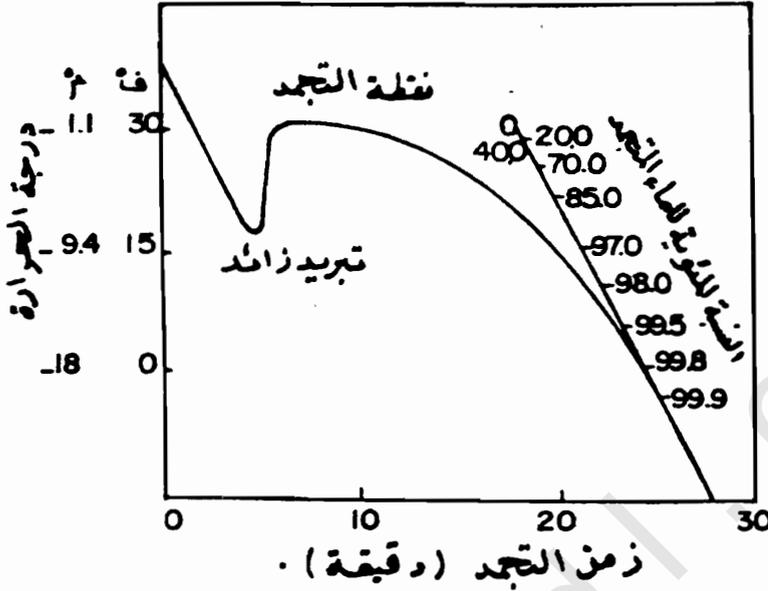
أو Reduction to storage temperature

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 (32°ف) 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 فتتخفض حرارته إلى أقل من الصفر المئوى قبل أن تبدأ بلورات الثلج الصغيرة فى التكون وتعمل كنواة لتبدأ عملية التجميد بعد ذلك وبمجرد تكون هذه البلورات 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 في 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 7-16) حيث نوضع شريحة اللحم في مجمد درجة حرارته -18م مع تسجيل درجة حرارة قطعة اللحم مع الزمن وتسجيل النسبة المئوية للماء الذى يتم تجميده بتقديم 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 بلورات 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) .

ويتقدم التجميد يلاحظ إنخفاض المنحنى وستنخفض درجة الحرارة إلى أقل من درجة تجميد اللحم بسبب انفصال الماء فى صورة بلورات ثلجية وزيادة تركيز المواد الذائبة . وتستمر زيادة التركيز بتقديم 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 والتي 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) .



شكل رقم 16 - 8 : منحنى التجميد لشريحة من اللحم
المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

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

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

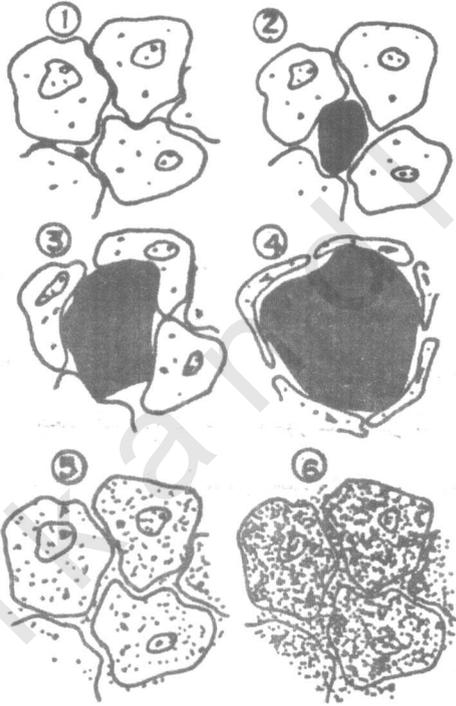
النسبة المئوية للثلج في المادة الغذائية					النسبة المئوية للثلج من الماء الكلي					نقطة التجميد م	الرطوبة %	المادة الغذائية
م					م							
30-	20-	15-	10-	5-	30-	20-	15-	10-	5-	م	%	
65	64	63	61	55	88	87	85	82	74	1-	74	لحم بتلو
73	71	70	67	62	91	89	87	84	77	1-	80	سمك وقار
43	43	43	43	40	87	87	86	85	80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

المصدر : مختصر من (Jul 1984).

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

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

للخلايا extracellular freezing في الأنسجة النباتية أو خارج الألياف في الأنسجة الحيوانية كما يتضح من شكل رقم 16 - 9 حيث يتضح نمو البلورات الثلجية في التجميد البطيء (أشكال 1, 2, 3, 4). ونتيجة كبر حجم البلورات الثلجية فقد تفكك thawing المراد المجمدة ينتج عنه تمزق للجدار الخلوي للخلايا وفقد في معظم السائل البروتوبلازمي عند الإنابة نتيجة صعوبة إمتصاصه مرة أخرى وهذا السائل المنفصل يطلق عليه drip وهو محلول يحتوي على عناصر غذائية قابلة للذوبان به ويحتوى أيضاً على بعض البروتينات



شكل رقم 16 - 9: تكون بلورات الثلج في الأنسجة

الأشكال (1,2,3,4): توضح نمو البلورات الثلجية في التجميد البطيء

الأشكال (5,6) : توضح البلورات الثلجية في التجميد السريع

المصدر : Fennema 1975 .

ومواد النكهة والتي تفقد مع السائل وبذلك تقل جودة الأغذية المجمدة. ويؤدي انفصال هذا السائل إلى تغيير في تركيب البروتينات حيث يسبب دنثرة البروتين ويصبح غير قادر على إمتصاص السائل المنفصل مرة أخرى بعد عملية التفكيك ويكون من الصعب المحافظة على النظام الغروي في الخلايا وتصبح الأنسجة لينة القوام وغير مقبولة. وأفضل مثال على ذلك التجميد البطئ للفراولة حيث يؤدي إلى ليونة وطرارة في 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 في الدهن. وعند تفكيك الزبد يفصل الماء وتتكون جيوب هوائية داخل الزبد. ويتشابه الجل مع الزبد في انفصال الماء منه أو ما يطلق عليه syneresis أما في الآيس كريم فإن البلورات الثلجية ذات الحجم الكبير ستضر الفقاعات الرغوية به مما يؤدي إلى إنخفاض حجم الآيس كريم أثناء التخزين أو حدوث التفكيك الجزئي له.

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

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

ب- قصر مدة التجميد.

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

د - خفض النشاط الإنزيمي 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 حوالي 1.3 سم (0.5 بوصة) في الساعة. أي أن العبوة التي

سمكها حوالي 5 سم يمكن أن يتم تجميدها في فترة حوالي ساعتين (درجة حرارة -18م أو أقل) باستخدام المجمد ذو الأرفف. تبعاً للنوع وطبيعة المادة الغذائية.

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

يحدث تمدد وزيادة في الحجم أثناء التجميد حيث أن الماء النقي على درجة حرارة الصفر المئوي يتمدد ويزداد في الحجم بنسبة 10% عندما يتحول إلى ثلج على نفس درجة الحرارة. ومعظم الأغذية تزداد في الحجم عند تجميدها ولكن بدرجة أقل من الماء النقي وتختلف المواد الغذائية في 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 في الحجم. ولقد لوحظ أن زيادة تركيز المواد الذائبة في الماء يقلل من الزيادة في الحجم فمثلاً المحاليل السكرية المركزة لا تزداد في الحجم عند التجميد بل قد يحدث نقص في الحجم. مثال الفراولة التي يتم تعبئتها في محلول سكري فإن حجمها يزداد بدرجة ضئيلة بعد تجميدها.

16 - 2 - 5 زيادة تركيز المواد الذائبة :

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

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

ثانياً: المواد المركزة قد تسبب دنثرة البروتين وحدث ترسيب له *salting out*.

ثالثاً: المواد الذائبة لها تأثير حمضى وتسبب إنخفاض فى رقم الأس الهيدروجينى (pH) إلى أقل من نقطة التعادل الكهربى *Isoelectric point* (الذويان أقل ما يمكن) للبروتين مما يؤدى إلى تجمع وترسيب البروتين.

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

خامساً: قد يؤدى ازدياد التركيز إلى جفاف الأنسجة وذلك نتيجة تكون البلورات الثلجية خارج الخلية وازدياد تركيز المواد الذائبة المجاورة للبلورات الثلجية فيبدأ الماء بالانتشار 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 الفيزيكية والتفاعلات الكيماوية والإنزيمية ونشاط الأحياء الدقيقة يمكن القول بأن درجة حرارة مركز المادة الغذائية يجب أن يصل إلى -18°م (الصفرة ف) والبقاء عليها أثناء التخزين مع العلم أن كثيراً من الأغذية يتم تجميدها على درجة حرارة أقل من ذلك (التجميد السريع). وإختيار درجة حرارة -18°م لضمان عدم حدوث فساد فى الأغذية حيث أن الميكروبات المرضية *pathogens* لا تنمو على درجات حرارة أقل من 3.3°م (38°ف) والأحياء الدقيقة المسببة لفساد الأغذية لا تنمو عادة عند درجة حرارة أقل من -9.4°م (15°ف) لذلك فإن إختيار درجة حرارة -18°م يوفر الكثير من عوامل الأمان وضمان عدم وجود أى مسببات للفساد نتيجة نمو الأحياء الدقيقة.

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

جزء من الماء غير مجمد على درجات الحرارة المنخفضة (-9.4م أو 15ف) ولكن بصفة عامة التخزين على درجة حرارة -18م 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 فهرنهايت) 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 مديباً 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 -18م أو درجة حرارة الإيزان equalization temperature. وزمن التجميد يعتمد على عدة عوامل أهمها :

- أ- درجة الحرارة الابتدائية والنهائية للمادة الغذائية.
- ب - كمية الحرارة اللازم إزالتها من المادة الغذائية.
- ج - كمية المادة الغذائية المراد تجميدها.
- د - خواص المادة الغذائية (الكيماوية والفيزيكية).
- هـ - حجم ونوع العبوة المستخدمة.

16-2-8 سعة المجمد : Freezer capacity

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

وكقاعدة عامة تستخدم المعادلة التالية لأي نوع من المجمدات

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

حيث أن:

C : سعة المجمد وتحسب طن / الساعة .

Q : الكمية بالطن للمادة الغذائية التي ستجمد .

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

V : الحجم (م³) للمنتج الغذائي الذي سيجمد.

q : وزن الحجم طن / متر³ من المنتج الغذائي.

ويلاحظ أن المنتجات الغذائية ستختلف في 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 بالهواء : 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 (-20ف) وقد بدأ استخدام هذه الطريقة عام 1860 وأطلق عليها sharp freezing أو التجميد الحاد حيث أن أى إنخفاض و

درجة الحرارة أقل من -18°C يُعتبر انخفاضاً كبيراً وحاداً في درجة الحرارة. وحركة الهواء في 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 في هذه الطريقة بطيء ولذلك تتجمد المواد الغذائية في فترة تتراوح بين 12-72 ساعة ويتوقف ذلك على حجم تركيب المادة الغذائية ونوع العبوات المستخدمة. ويلاحظ أن التجميد البطيء يسبب تكون بللورات ثلجية كبيرة الحجم وهذا يسبب أضراراً بالغة للمواد الغذائية عند تفكيكها وينقل من جودتها كما سبق ذكره بالمقارنة بطرق التجميد السريع.

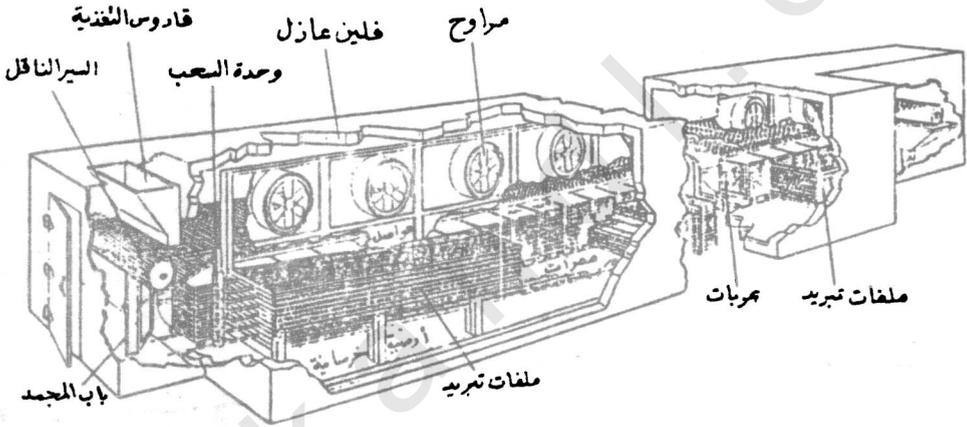
ويلاحظ أن المجمدات المنزلية صممت لتعمل على أساس التجميد بالهواء الساكن إلا أن تشغيلها يتم على درجات حرارة تقارب -18°C وليس في المجال الحراري المستخدم في التجميد على النطاق التجاري السابق ذكره (-28.9°C إلى -23.3°C).

ثانياً : التجميد بالهواء المدفوع : Air blast freezing

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

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

أخرى بعد تجميدها؛ وهذا يعكس أن يكون الهواء البارد موازياً لإتجاه مرور المادة الغذائية حيث يدخل الهواء البارد مع المادة الغذائية غير المجمدة في بداية النفق، وفي نهاية النفق ترتفع درجة حرارة الهواء مما قد يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارة المادة الغذائية المجمدة في 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*

زمن التجميد ساعة	سرعة الهواء (م / الدقيقة)
7.5	17
5.5	700
4.0	1000

* درجة حرارة الهواء : - 28م.

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 السبير multitier freezer يتكون من ثلاثة سبور فوق بعضها مع وجود مرواح ومواسير التبريد أعلى السبير العلوى (شكل رقم 16 - 11) حيث يمر المثلج الغذائى على السبير العلوى أولاً ثم ينقل إلى السبير الثانى ثم السبير السفلى ليكتمل تجميده ويتم خروجه من المجمد.

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

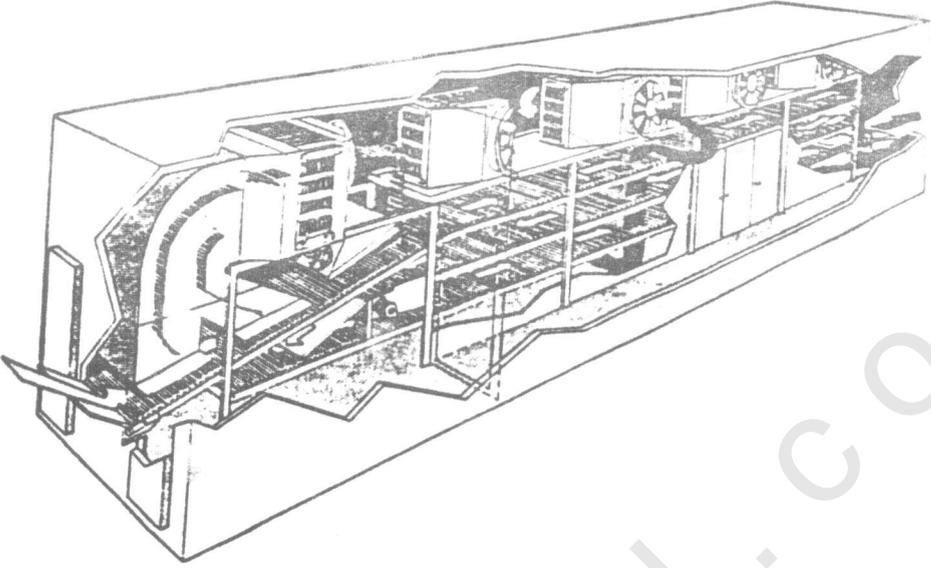
وأيضاً من المجمدات الحديثة مجمد السبور الحلزونى spiral belt freezer حيث يتم تجميد الأغذية باستخدام سبير حلزونى (شكل رقم 16-12) حيث تزداد كفاءة عملية التجميد

ويشغل مساحة ضيقة من الأرض

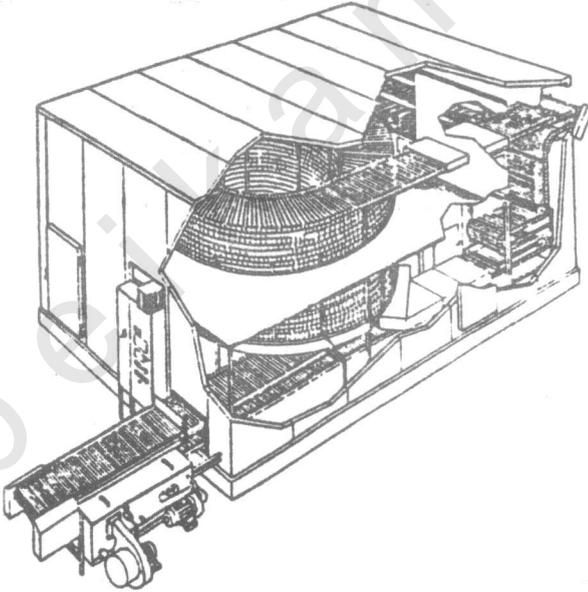
والياً يتم تجميد بعض الأغذية بدون تعبئة في وحدات منفصلة مثل بعض الخضروات كالنبلة) أو الجمبرى ويطلق على هذه المنتجات Individually quick frozen (IQF) وقد يحدث التصاق لوحدات الأغذية مع بعضها أثناء التجميد ولذلك تمرر على ماكينات خاصة لفكيها قبل التعبئة.

ومن مميزات أنفاق التجميد إمكانية استخدامها في تجميد الأغذية غير منتظمة الشكل (الدواجن - اللحوم) وقد تكون الأغذية مغلقة أو بدون تغليف. ومن عيوب استخدام الهواء البارد في 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 ففي القسم الأول يتم تبريد مبدئى للمواد الغذائية حيث تخفض درجة الحرارة إلى 20° ف رطوبة نسبية مرتفعة وفى الأقسام التالية فى النفق يتم خفض درجة الحرارة تدريجياً حتى تصل إلى الصفر الفهرنيتى (-18°م) 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 يؤدي إلى تجميد طبقة من الثلج حول المادة الغذائية فيقتل من خطر الجفاف، ثم تنقل المادة الغذائية إلى أنفاق التجميد ليتم تجميدها على درجات الحرارة المنخفضة (-30 إلى -20° ف) 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 11 - 16 : نفق التجميد ذات السور المتعددة
المصدر : Hui (1992).



شكل رقم 12 - 16 : نفق التجميد الحلزوني
المصدر : Bald (1991).

ثالثاً : التجميد بالهواء على السيور المتحركة (التعويم) :

Fluidized - bed freezing

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

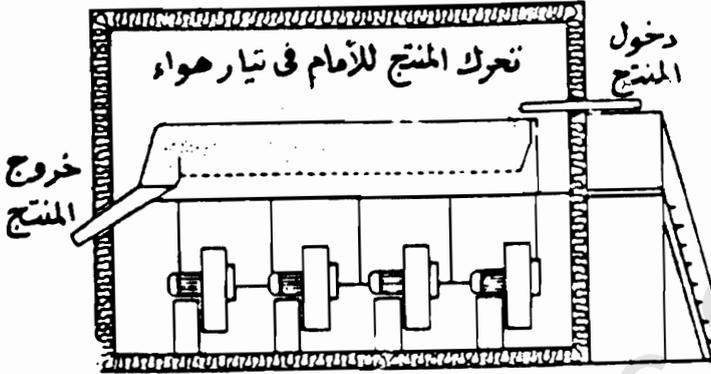
وقد جرى تبريد مبدئي للمادة الغذائية قبل مرورها داخل النفق لتتكون طبقة من الثلج حول الحبيبات. ومرور الهواء البارد بسرعة كبيرة تؤدي إلى تفكيك الحبيبات وتجميدها بسرعة وفي نهاية السير يتم تجميع الحبيبات وتعبئتها (شكل رقم 13-16)، وهذا النوع من التجميد يلائم المنتجات التي يتم تجميدها مفردة (وحدات منفصلة) IQF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

أ - يتم تجميد الوحدات مفردة (وحدات منفصلة) IQF.

ب - معدل التجميد سريع .

ج - لا يحدث جفاف للمواد الغذائية بالمقارنة بأنفاق التجميد التي يستخدم بها الهواء المدفوع. حيث لوحظ أنه بتجميد الجمبرى بهذه الطريقة يحدث فقداً في الوزن حوالي 1% فقط.

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



شكل رقم 13-16: مجمد هواء بارد على السير المتحرك (التعويم)
المصدر: (Potter & Hotchkiss (1995).

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

المادة الغذائية	الزمن اللازم لخفض درجة الحرارة من 21° إلى -18°م (70 إلى 0°ف) ^a (دقيقة)
^b البسلة - الذرة السكرية	3 - 4
فاصوليا الليما - التوت	5 - 4
شرايح الجزر	6
قطع فاصوليا خضراء	12 - 5
بطاطس (أصابع)	12 - 8
جمبرى كبير - سمك (أصابع)	15 - 12
فراولة	13 - 9
شرايح سمك (أكثر من واحد ورابع في السمك)	30

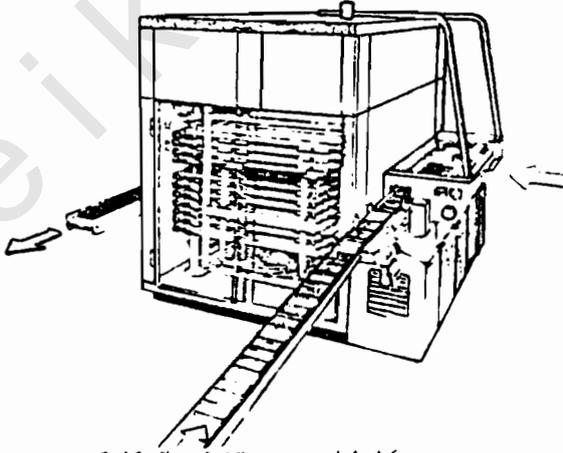
المصدر: (Fennema (1975).

- a- التجميد على درجة حرارة -3.4°م (-30°ف) 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 معدني مبرد بسوائل التبريد أو بطريقة تبريد أخرى ومن أهم أنواع المجمدات هو مجمد Birdseve 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 الهيدروليكي 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 لا بد أن تكون متجانسة في السمك كما أن معدل التجميد يكون بطيئاً بالمقارنة بطرق التجميد الأخرى. ويحتاج إلى أيدي 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 وتحرك الأرفف داخل منطقة معزولة حيث يتم فيها التجميد وفي نهاية منطقة التجميد تفرغ العبوات المجمدة لكل رف على حده أي أنها طريقة مستمرة حيث يعاد ملء الرف مرة أخرى بالعبوات بمجرد تفريره من العبوات المجمدة، وهكذا (شكل رقم 14-16).



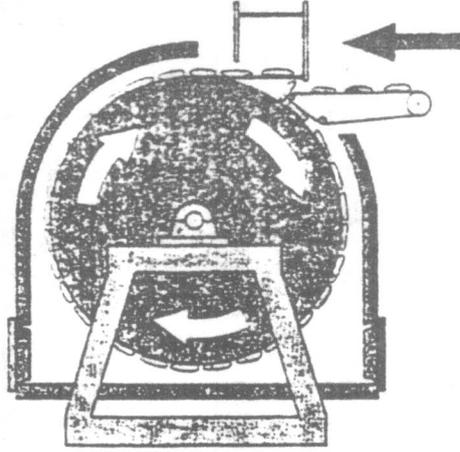
رقم 14-16 : مجمد الأرفف الميكانيكي

المصدر : Hui (1992).

وللحصول على نتائج جيدة في 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 التي 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 والتي تقلل من سرعة إنتقال الحرارة. ويجب أيضا تبريد الأرفف جيداً قبل وضع المواد الغذائية.

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

أما تجميد الأغذية السائلة أو عجينة القوام purees في مجمدات الأرفف أو الملامسة غير المباشرة فهو مختلف لما سبق لأنه يتم في 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 في هذه المرحلة لأنه إذا تم فإنه سيحول دون إستمرار إنسياب المادة الغذائية. والمرحلة الثانية يتم فيها تعبئة المادة الغذائية المجمدة جزئياً ويكمل تجميدها في مجمدات الهواء المدفوع أو مجمدات الغمر. أو يتم التجميد بإستخدام مجمد إسطوانى drum freezer أو مجمد دائرى rotary freezer (شكل رقم 15-16) 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 والتي يتم تجميعها بكشطها من سطح الإسطوانة والتي يستكمل تجميدها بالهواء المدفوع.



شكل رقم 15-16 : مجمد الاسطوانات

المصدر : Hui (1992).

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

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

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

ب - المواد الغذائية يتم تجميدها في وحدات منفردة وليس في كتل وتحفظ بجودة عالية عند استخدام سوائل تبريد ذات الكفاءة العالية في التبريد (cryogenic liquids) .

ج - تقليل حدوث الأكسدة في الأغذية الحساسة حيث لا يتم تعرضها للهواء كما في التجميد بالهواء المدفوع.

د - ثمار الفاكهة تتجمد وعليها طبقة من محلول سكري يساعد على المحافظة على اللون

بها، ويجب أن يراعى فى وسط التبريد المستخدم فى الفمر 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 بالفمر 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 -18م أو أقل. فمثلاً كلوريد الصوديوم يستخدم بتركيز 21% أو أكثر حيث يمكن خفض درجة الحرارة إلى -21.1م (-6ف) باستخدام محلول ملحي تركيزه 23%. ولكن عند هذا التركيز يحدث تجمد لمخلوط الماء والملح ولذلك تعتبر درجة حرارة -21م هى أقل درجة يمكن الحصول عليها. ويلاحظ أنه لا يمكن استخدام محلول كلوريد الصوديوم إلا مع الأغذية التى تحتوى على نسبة من الملح ولذلك فإن استخدامه متصور 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 لزجتها إلى حد يصعب فيه استخدامها فيجب استخدام تركيز السكر 62% حتى تصل إلى درجة حرارة -21.1م (-6ف) ويكون المحلول عندئذ عالى اللزوجة جداً. وعند الدرجات الأقل من -21م يفصل من المحلول مزيج متجمد من بلورات الماء والسكر. ويمكن استخدام مخلوط من الجليسيرول والماء لتجميد الفاكهة حيث يمكن خفض درجة الحرارة إلى -47م باستخدام محلول جليسيرول تركيزه 67% ولكن لا يمكن استخدامه 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 بالفمر فى المحاليل المبردة فى تجميد الأسماك (المحاليل الملحية) أو فى تجميد علب عصير الموالح المركز باستخدام إسطوانات تدور فيها العلب وتكون مغمورة فى سائل التبريد.

ثانياً : سوائل شديدة البرودة : cryogenic liquids

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

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

سوائل التبريد				الصفة
N ₂	CCl ₂ F ₂	NO ₂	CO ₂	
28.016	120.93	44.02	44.01	الوزن الجزيئي درجة الغليان
-320.46 ف° (-195.81 م°)	-21.62 ف° (-29.79 م°)	-129.1 ف° (-89.5 م°)	-109.3 ف° (-78.5 م°)	
بخار	بخار	بخار	$\frac{\text{صلب}}{\text{سائل}}$ $\frac{\text{سائل}}{\text{بخار}}$	الحرارة الكامنة (Btu / Ib) ^a
85.8	71.04	16.8	149.6 246.1	
0.2447	0.145	0.2004	0.1988	الحرارة النوعية (غاز) Btu / Ib °F ^b
161	71	184	150 264	السعة الحرارية المستخدمة (Btu / Ib) ^d

$$\text{Cal / g.} = 1.8 \frac{\text{Btu / Ib}}{\text{C}^\circ} \quad (\text{a})$$

$$\text{Cal / g C}^\circ = \text{Btu / Ib } ^\circ\text{F} \quad (\text{b})$$

(d) الحرارة الكامنة + (الحرارة النوعية $\Delta T \times$) حيث $\Delta T = (-20 \text{ ف}^\circ) -$ (درجة حرارة الغليان أو التسامي).

المصدر : مختصر من (Fennema 1975).

ومن أهم مميزاته ما يلي :-

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.

ج - 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 في المادة الغذائية فيؤدي إلى تقليل حدوث الأكسدة أثناء التجميد والتخزين حيث أن الفقد نتيجة الجفاف لا يزيد عن 1%.

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

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

أ- استخدام رذاذ النيتروجين السائل.

ب - الغمر في النيتروجين السائل.

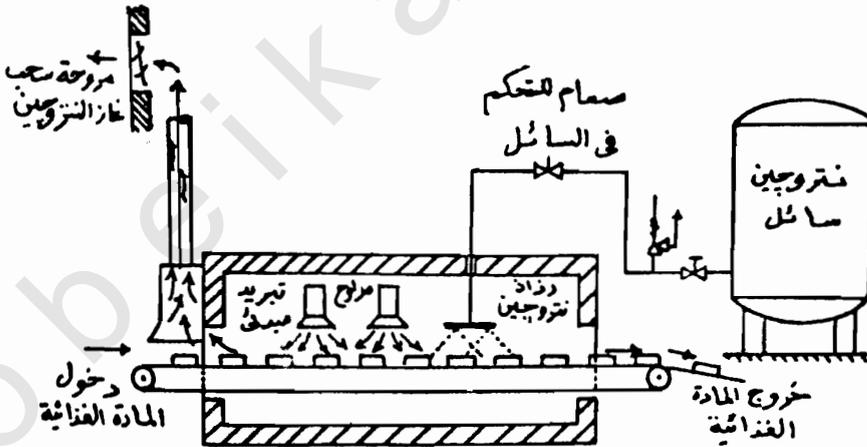
ج - استخدام بخار النيتروجين البارد في أنابيب تحيط بالمادة الغذائية.

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

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

تخرج المادة المجمدة ليتم تعبئتها حيث يتم تجميد الأغذية في صورة وحدات منفصلة .
 وحديداً يستخدم وحدة للتجميد تجمع بين التجميد السريع بواسطة النيتروجين والتجميد
 باستخدام الهواء البارد وتستخدم مع المنتجات الغذائية الحساسة والتي يصعب تناولها بدون
 أن يحدث لها تكسير في المجمدات العادية [الهواء المدفوع - السيور المتحركة (التعويم)]
 حيث يتم التجميد بالغمر السريع في تلك يحتوى على سائل النيتروجين حيث تتجمد الطبقة
 السطحية سريعاً ثم يكمل التجميد في مجمدات الهواء المدفوع أو السيور المتحركة ولذلك
 يطلق عليها مجمد الطبقة السطحية crust o freezer .

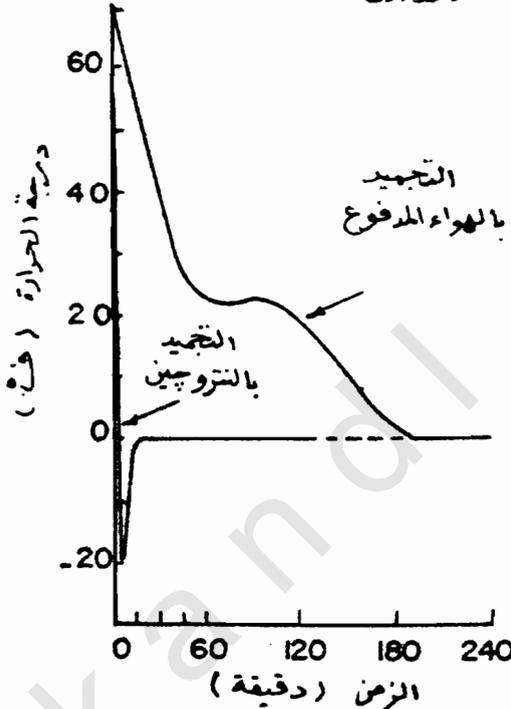
ويستخدم ثاني أكسيد الكربون إما في صورة رذاذ من سائل ثاني أكسيد الكربون أو
 يستخدم الثلج الجاف من ثاني أكسيد الكربون حيث يتسارى على درجة حرارة - 78.5 م°
 (-109.3 ف) ويتم خلط ودوران المادة الغذائية مع الثلج الجاف في أسطوانة خلط ميكانيكية
 ليتم التجميد مع ملاحظة ضرورة التخلص نهائياً من بقايا الثلج المحيط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



شكل رقم 16-16 : التجميد برذاذ النيتروجين السائل

المصدر : (1991) Bald .

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 20°ف) مع استخدام رذاذ النيتروجين.



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

المصدر : Woolrich & Novak (1977).

10-2-16 العوامل المحددة لمعدل التجميد :

Factors determining freezing rate

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

والقوة المحركة : هي الفرق بين درجة حرارة المادة الغذائية ودرجة حرارة وسط التبريد، أما المقارومات: فتتوقف على عدة عوامل منها سرعة الهواء وتركيب المادة الغذائية وخصائصها ونوع العبوات ... ألخ. وبصفة عامة يمكن تلخيص أهم العوامل التي 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 إزداد سمك المادة الغذائية فإذا إزداد سمك مادة غذائية من 5 إلى 10 سم فإن زمن التجميد يزداد بمقدار 2.5 مرة.

ثالثاً : إزداد 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 حوالى 3 ساعات وبتزيادة سرعة الهواء إلى 250 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 إزدادت السعة !! رارية سائل التبريد إزداد 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 المجدد تأثيراً على معدل التجميد وزمن التجميد للمنتجات الغذائية المختلفة (جدول رقم 15-16).

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

لمنتجات غذائية مختلفة

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

المصدر : Jul (1984).

سادساً : تركيب المادة الغذائية :

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

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 بلورات 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 بلورات ثلجية سيغير من معامل التوصيل الحرارى .

ج - 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 تخزين المادة على حالة مجمدة بدون أن تتفكك. وكما سبق ذكره فإن لكل مادة غذائية درجة حرارة للتجميد (جدول رقم 5-16 ، جدول رقم 7-16) عند حساب كمية الحرارة اللازمة لإزالتها 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° فإنه يجب إزالة وحدة حرارية بريطانية لكل درجة

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

$$\text{أى } 187 = 15 + 144 + 28 \text{ وحدة حرارية بريطانية.}$$

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.

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

$$H_2 = H_f \quad W$$

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

$$H_{\text{تجميد}} = H_1 + H_2 + H_3$$

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 الكاملة 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.

كمية الحرارة الكلية اللازم إزالتها من المادة الغذائية لتجميدها ونحريتها على درجة حرارة التخزين (عادة الصفر أو -18°C) هي مجموع H_1 ، H_2 ، H_3 وتكون مساوية H_4 وتحسب احتياجات التجميد بواسطة وحدات التجميد وهي طن التبريد ton of refrigeration، بالإضافة إلى الحسابات السابقة فلا بد من حساب احتياجات التبريد لغرف تخزين الأغذية المجمدة حتى تظل الأغذية المجمدة في حالة صلبة لذلك يجب أن تكون المخازن معزولة جيداً. ويتم حساب احتياجات التبريد الإضافية التي تنتج من فقد الحرارة أثناء فتح وغلق المخازن والحرارة الناتجة من الإضاءة... الخ.

16-2-12 طرق تجميد الأغذية :

أولاً : الأسماك :

تتوقف جودة الأسماك المجمدة على عدة عوامل أهمها الصنف - التركيب الكيماوي (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 الميكروبي ومن أهم المشاكل التي 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 اللداجات الكبيرة التي 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°C 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.

يعتبر التجميد السريع أفضل الطرق لحفظ الأسماك حتى لا يحدث إتفصال 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 ذي جودة مرتفعة يشترط أن تكون الأسماك طازجة وذات جودة ممتازة قبل تجميدها. وبصفة عامة فإنه يجب غسل الأسماك جيداً قبل تجميدها للتخلص من كمية كبيرة من الأحياء الدقيقة التي توجد على سطح الأسماك. والأسماك ذات الحجم الصغير يتم تجميدها في كتل حيث تعبأ في علب معدنية يوجد بقاعها ثقب لتسمح بسريران السوائل منها حيث يرص بها الأسماك في طبقات ويتم تجميدها في غرف مبردة وبعد تجميدها تزرع كتلة السمك من العلب وتغمر في ماء بارد (34°ف) عدة مرات ويتم ذلك في غرف مبردة (40°ف) 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 التي تحتوى على مواد مطهرة أو مضادات حيوية أو حامض الأسكوربيك، ثم يعبأ السمك المجمد في صناديق خشبية ويخزن على درجة حرارة الصفر الفهرنيتى (-18 م). والأسماك التي 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 في غرف التجميد أو أنفاق التجميد وأيضاً تتم عملية الأجلزة للأسماك الكبيرة بعد تجميدها وقبل التخزين.

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

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

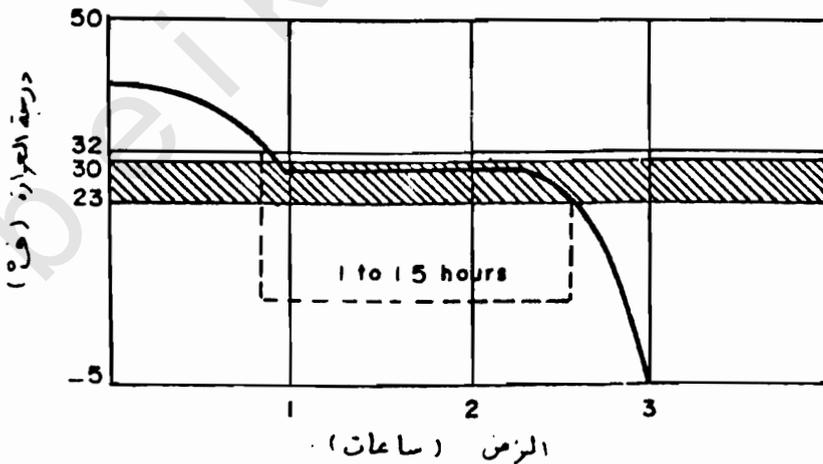
محكمة انقفل ويفضل استخدام الغازات الخاملة أو التعبئة تحت تفريغ لتقليل نسبة الأكسجين في العبوات . ويجب تجنب تلوث الأسماك أثناء التجميد بالعوامل المساعدة على الأكسدة (المعادن الثقيلة) ويفضل إضافة مواد مضادة للأكسدة .

المنطقة الحرجة للتجميد : Critical zone

وهي المجال الحرارى المحصور بين درجتى حرارة 30، 23 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 البلورات وهو الأمر الذى يماثل ما يحدث فى التجميد البطئ حيث تظل المادة الغذائية فى هذا المجال ما يقرب من 12-18 ساعة بينما نقل هذه الفترة فى التجميد السريع إلى 3-4 ساعات فى حين أن استخدام السوائل المبردة بدرجة كبيرة cryogenic يؤدي إلى تقليل هذه الفترة إلى حوالى 12-15 دقيقة فقط .

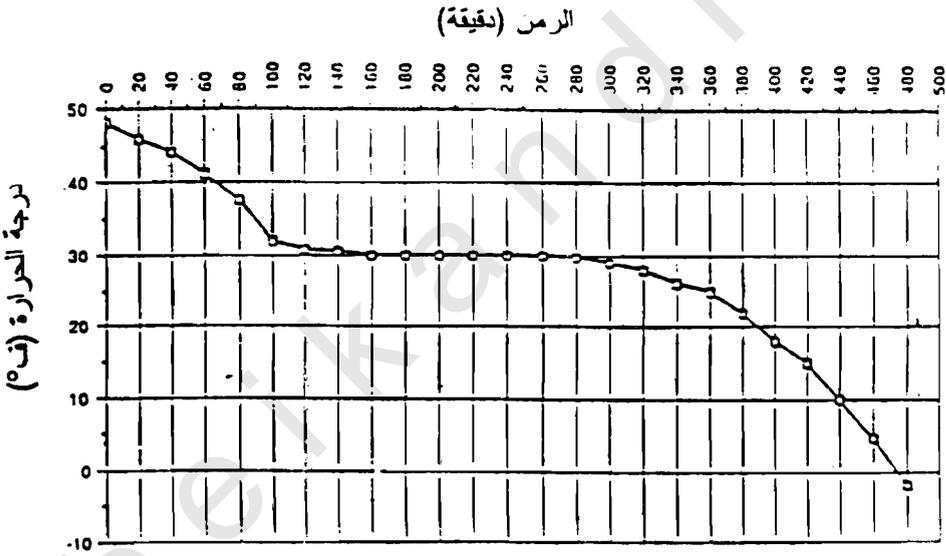
وقد وجد أن تجميد الأسماك بالطرق السريعة يؤدي إلى المحافظة على الجودة وصغر حجم البلورات الثلجية المتكونة حيث تكون المنطقة الحرجة للتجميد بين 1-1.5 ساعة وإذا زادت عن هذا الزمن فإن حجم البلورات الثلجية يبدأ فى الإزدياد (شكل رقم 16-18) .



شكل رقم 16-18 . منحى التجميد المثالى للسماك

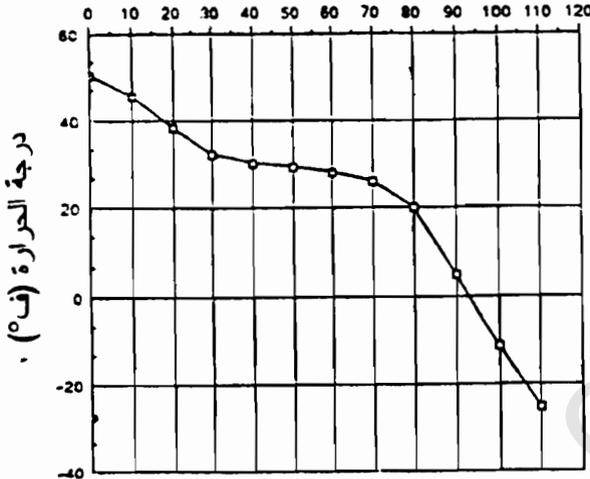
ويتضح ذلك عند مقارنة تجميد سمك السالمون (4 رطل) بالطرق البطيئة (هواء ساكن) حيث يستغرق فترة زمنية تصل إلى 4 ساعات في المجال الحراري في المنطقة الحرجة ويستغرق 8 ساعات حتى تنخفض درجة الحرارة إلى الصفر (شكل رقم 16-19).

بينما في التجميد السريع باستخدام الهواء البارد (أنفاق التجميد) فإن الزمن الذي يظل فيه السمك في المنطقة الحرجة يصل إلى 40 دقيقة فقط والزمن الكلي للتجميد لتصل درجة الحرارة إلى الصفر الفهرينى 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 في التجميد السريع.



شكل رقم 16-19: منحنى التجميد البطيء لسمك السالمون

المصدر: Hui (1992).



شكل رقم 16-20: منحنى التجميد السريع لسماك السلمون

المصدر: Hui (1992).

ثانياً: الجمبرى :

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 أجلزة glazing كما سبق ذكره مع الأسماك.

وقد يتم تجميد الجمبرى بعد التقشير والغسيل الجيد وقد يتم سلق الجمبرى بعد التقشير فى الماء أو فى محلول ملحي لتثبيت 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 باستخدام 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: اللحوم :

يجب تبريد اللحوم بسرعة بعد الذبح على درجة حرارة تتراوح بين 10 إلى 20 م لمدة

24 إلى 24 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 في العضلات cold shortening ، ويتم تجميد اللحوم على درجة حرارة -25 إلى -40°م (-31.6 إلى -40°م) حيث يتم التجميد في فترة من 24 إلى 36 ساعة . وعادة يتم تعليق اللحم في غرف التجميد حتى يمر الهواء البارد حولها كما يتم لفها بالقماش لتقليل الفقد في الرطوبة . وقد تستخدم أنفاق التجميد لتجميد اللحوم مع تجنب استخدام سرعات عالية من الهواء لتجنب الجفاف في اللحم . وتخزن اللحوم المجمدة على درجة الصفر الفهرنيتي (-18°م) . وتتوقف سرعة تجميد اللحوم على نوع اللحم (بقري - جاموسى - ضأن - ماعز) وعلى مدى إحتوائه على الدهن حيث أن وجود الدهن بنسبة مرتفعة يقلل من معدل التجميد، بينما يؤدي إحتواء اللحم على نسبة مرتفعة من الرطوبة إلى سرعة تجمده . ويمكن حفظ اللحوم مجمدة لفترة تصل إلى 12 شهر .

رابعاً : الدواجن :

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

خامساً : البيض :

يمرر البيض عنى عملية الإحتنار 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 باستخدام خلطات 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 استخدام 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 «التهلیم، gelation» والسبب فيها أن الليبوبروتينات lipoprotein تكون معقدات صمغية أثناء التجميد والتخزين ومن الصعب إذابتها وعودتها إلى الحالة الغزوية 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 : الخضروات :

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 والطازجة.

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 قِطع الخضروات إلى 200° ف وذلك لتثبيت الإنزيمات .

سابعاً : الفاكهة :

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 (الكثرى - 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 لتثبيت 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 استخدام 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 المالكىك 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 يودى 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) لتثبيت 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.

ج - المسلق : بعض أصناف الفاكهة مثل الخوخ - الكمثرى يتم سلقها (معاملة حرارية) لتثبيت فعل الإنزيمات المؤكسدة ومنع التغيير فى اللون، إلا أن هذه المعاملة قد تسبب فقداً فى بعض المواد الطيارة المسولة 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 :

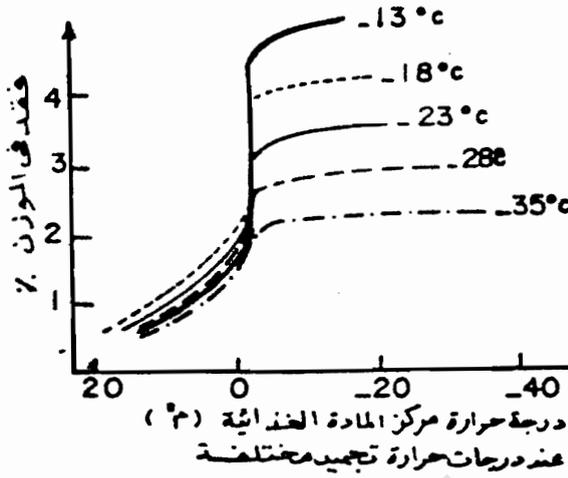
يتم تخزين الأغذية المجمدة على درجة حرارة الصفر الفهرنيتى (-18 م) وأثناء الإعداد والتجهيز والتجميد والتخزين فقد تحدث تغيرات ونقص فى جودة الأغذية وقيمتها التغذوية وهذه التغيرات إما طبيعية أو كيميائية وإنزيمية حيث أن الأحياء الدقيقة لا تنمو تحت هذه الظروف وتحدث التغيرات الميكروبية عندما يكون التبريد غير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

أولاً : التغيرات الطبيعية :

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

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

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



شكل رقم 16-21: الجفاف أثناء التجميد على درجات حرارة مختلفة
المصدر: Hui (1992).

ج - التبلور crystallization: التبلور من التغيرات الطبيعية التي قد تظهر في بعض منتجات الألبان المجمدة مثل الآيس كريم واللبن المركز والقشدة نتيجة تبلور سكر اللاكتوز أو بعض السكريات الأخرى التي لا تذوب بسرعة أثناء التفكيك وينتج قوام وملس محبب غير مرغوب ويعرف بالترميل sandiness.

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

هـ - انفصال كمية كبيرة من السوائل من الأغذية النباتية والحيوانية drip ويزداد الفقد عند استخدام التجميد البطيء عنه في طرق التجميد السريع أي أن إزداد 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

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

المصدر : (1984) Jul.

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 بنمر 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 pH في جزء السائل المركز مما يؤثر على الصبغات ومن ثم تتغير الألوان.

ثانياً : التغيرات الكيماوية والإنزيمية :

يؤدى التجميد إلى خفض نشاط الإنزيمات ولكن بعض الإنزيمات يستمر نشاطها ببطء ولذلك يجب القضاء على الإنزيمات قبل التجميد وذلك بالمعاملة الحرارية (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 الدهن.

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 دنثرة البروتين (الميوسين myosin) مما يجعله غير قابل للذوبان تحت الظروف التى كان يذوب عليها وتقل الدنثرة كلما كان التجميد أسرع. وقد تبين من البحوث أن التجميد يؤدى إلى تغيرات غير مرغوبة فى قوام السمك فيصبح أكثر صلابة وخشونة وتقل العصرية 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 دنثرة البروتين والليبوبروتين كما أن بسترة البيض قبل التجميد على درجات حرارة مرتفعة

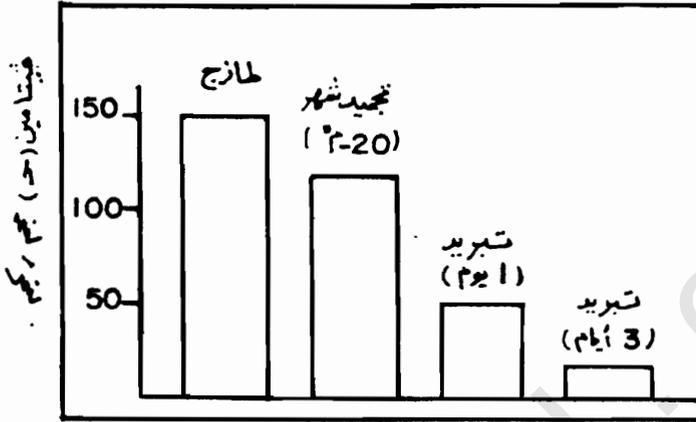
يساعد على زيادة اللزوجة . وقد يحدث تحلل للبروتين في الأسماك واللحوم المجمدة بواسطة الإنزيمات المحللة للبروتين أثناء تخزينها مجمدة إذا لم تثبط هذه الإنزيمات .

الأغذية النباتية (الخضروات والفاكهة) يحدث بها فقد في كثير من العناصر الغذائية مثل فيتامين ج أثناء التجهيز للتجميد (السلق) حيث يصل الفقد إلى 6-15 % في الأسبرجس بينما يصل إلى 40-76 % في السبانخ . ويقل الفقد باستخدام البخار في عملية السلق خاصة في الخضروات الورقية (السبانخ) . وأثناء تخزين الأغذية المجمدة على درجة الصفر الفهرنيتي (-18م) تتراوح نسبة الفقد في فيتامين ج بين 10-20% (شكل رقم 16-22) وتصل في بعض الخضروات إلى 50% . ويزداد الفقد بطول فترة التخزين وبارتفاع درجة الحرارة أثناء التخزين . كما يفقد فيتامين ج أيضاً من الفاكهة المجمدة أثناء التجميد والتخزين كما يتضح من جدول رقم 16-17 وأيضاً فإن لنوع العبوة المستخدمة في تعبئة الفاكهة المجمدة تأثيراً على فقد فيتامين ج .

جدول رقم 16-17 : الفقد في فيتامين ج أثناء تخزين الفراولة المجمدة على درجة صفر م

فيتامين ج مجم / 100 جم	زمن التخزين بالأيام
31	0
30.5	60
29	120
26	240
20	280
14	720

المصدر : (Desrosier & Desrosier 1977).



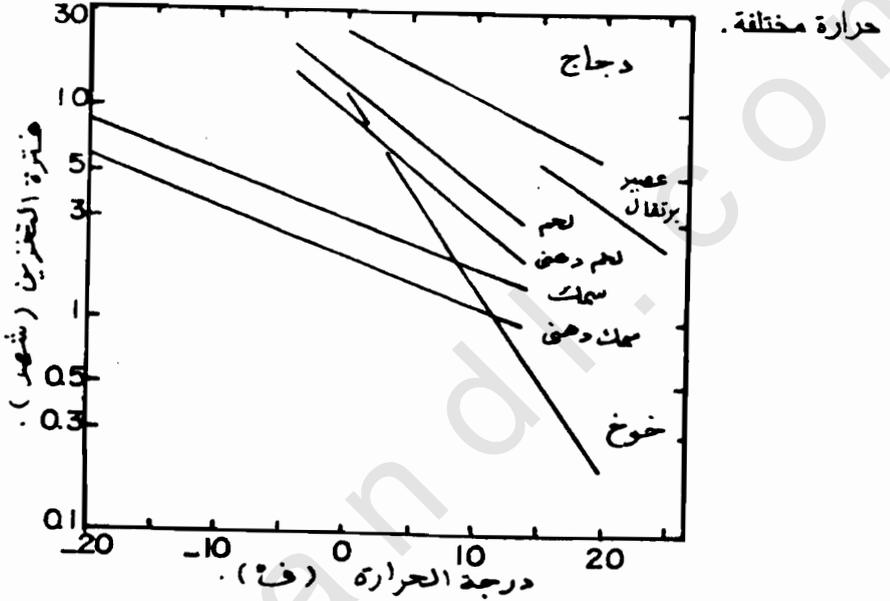
شكل رقم 16-22: تأثير التبريد والتجميد على محتوى البسلة من فيتامين ج
المصدر: Bald (1991).

ولذلك فإنه يضاف فيتامين ج إلى الفاكهة قبل التجميد للمحافظة على جودتها ،
 يلاحظ أن فيتامين ب₁ قد يفقد أثناء المعاملة الحرارية (السلق) في الفاكهة والخضروات .
 كذلك فقد يحدث تغيير في لون المواد الغذائية المجمدة أثناء التخزين فالفاكهة
 والخضروات يحدث بها تغيير تدريجي في اللون نتيجة فعل الإنزيمات المؤكسدة بالإضافة
 إلى التغيير في اللون الذي يحدث في الفاكهة أثناء تجهيزها للتجميد نتيجة أكسدة المواد
 الفيتولية الموجودة طبيعياً في الفاكهة والخضروات كما أن اللون قد يتغير في الأغذية
 الحيوانية خاصة اللحوم حيث تحدث أكسدة لصبغات الميوجلوبين ويتحول اللون إلى البني
 نتيجة لتحويل الميوجلوبين إلى ميتميوجلوبين metmyoglobin والتعرض للضوء يساعد على
 تغيير اللون. والتغليف الجيد وعدم التعرض للضوء الشديد المباشر يساعد على المحافظة على
 اللون الطبيعي 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 يؤدي إلى تبخير المركبات الطيارة منها. وأيضاً يحدث تلف أو

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

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



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

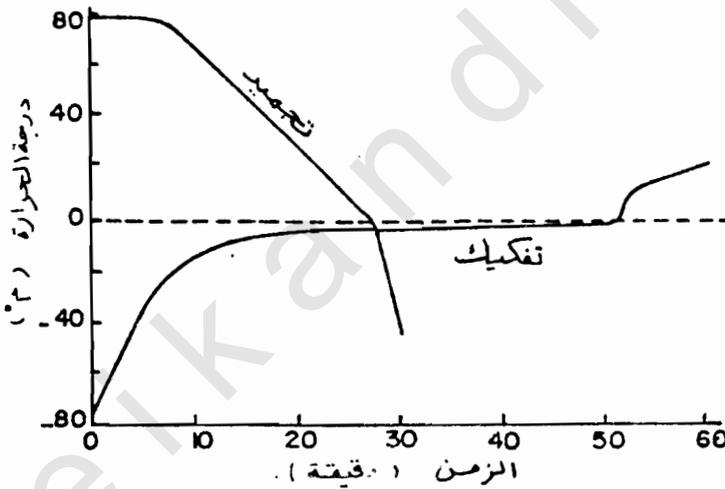
المصدر: (Fennema 1975).

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 تصليحها 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 الانتقال الحرارى، أى أن الأغذية المجمدة تحتاج إلى ضعف الزمن لترتفع درجة حرارتها من 10°م إلى 60°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 الاختلاف 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 والتي 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 24-16 : مقارنة منحنى التجميد والتفكيك لعبة اسطوانية المصدر : (Fennema 1975).

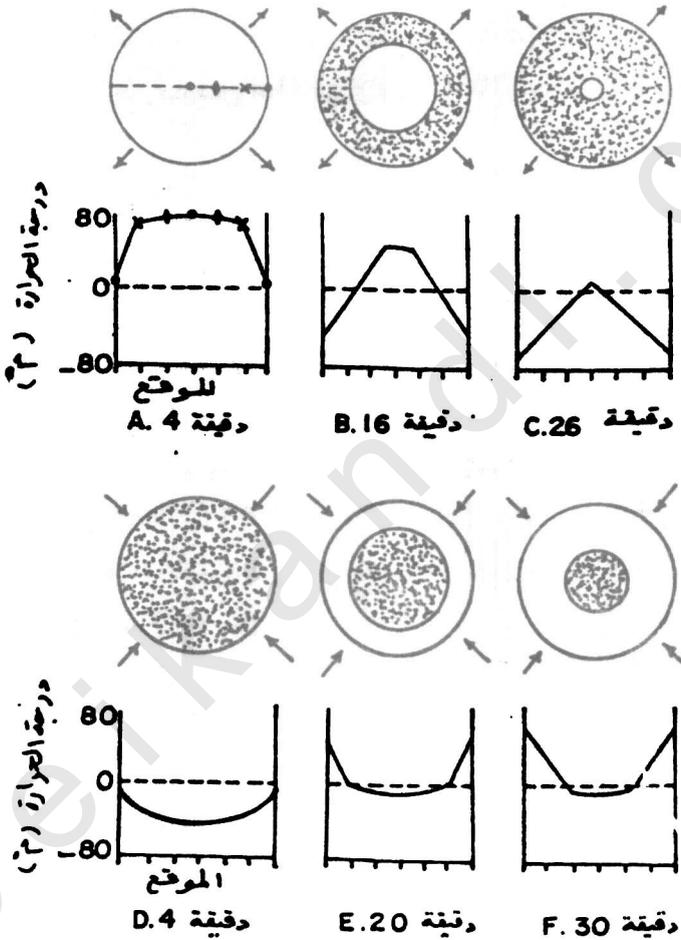
التي تحتاجها المادة الغذائية ليتم تفكيكها تعتمد على عدة عوامل أهمها :
أ- شكل المادة الغذائية (القطر والأبعاد) لا سيما الأجزاء السميكة منها.

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

ج - الخواص الطبيعية للمادة الغذائية (معامل التوصيل) والتركييب 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 لعدة إسطوانية

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

الأسهم تدل على إتجاه الحرارة - النقط تدل على المادة المجمدة

المصدر: (Fennema 1975).

ويلاحظ أنه في الإستهلاك المنزلى فإن الخضروات المجمدة يمكن إستهلاكها مباشرة بالطبخ وبدون عملية تفكيك وأيضاً يمكن إجراء عملية التخمير مباشرة في بعض منتجات اللحوم المجمدة في وحدات منفصلة (البيفبرجر- السجق) أيضاً أصابع السمك fish fingers. وأيضاً الفطائر المجمدة يمكن تسخينها مباشرة في الأفران الكهربائية، ويمكن تقسيم طرق التفكيك إلى قسمين رئيسيين هما : التفكيك باستخدام الهواء أو الماء والتفكيك بالطرق الكهربائية.

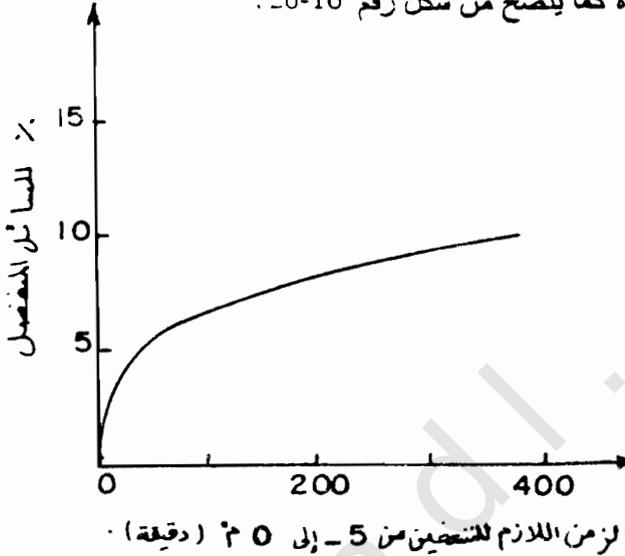
أولاً : التفكيك بالهواء :

حيث يتم نقل الحرارة إلى المادة الغذائية المجمدة عن طريق طبقة الهواء الملامسة لسطح المادة الغذائية فالمنتجات المعبأة في عبوات صغيرة يتم تفكيكها خلال ساعات قليلة على درجة حرارة الغرفة مما لا يؤدي إلى حدوث التغيرات غير المرغوبة الناتجة من نمو البكتيريا. أما الأغذية المجمدة في كتل كبيرة مثل الفواكه وعبوات مخاليط البيض واللحوم والأسماك الكبيرة والدواجن فإنها تتعرض لبعض التغيرات أثناء تفكيكها لطول زمن التفكيك فالبيض المجمد في عبوات كبيرة (30 رطل) تحتاج إلى زمن قدره 20-60 ساعة حتى يتم تفكيكها في 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

طريقة التفكيك	عدد الساعات	% للزيادة في 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 الكهربائية	0.25	غير ملحوظ

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



شكل رقم 26-16: تأثير معدل التفكيك على كمية للسائل المنفصل من سمك الوقار
المصدر: (Jul (1984).

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

وقد تستخدم أنفاق تمر بها المواد الغذائية المجمدة (غالباً غير مغلقة) حيث تمر على سير متحرك ويتم دفع الهواء بسرعة 1000 قدم / دقيقة في اتجاه 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 سطحي.

وقد يستخدم التفكيك على مرحلتين حيث يستخدم في المرحلة الأولى هواء درجة حرارته مرتفعة (35-60°م) حتى يبدأ التفكيك في الطبقة الخارجية ثم تخفض درجة الحرارة إلى 10°م حتى يتم التفكيك وبذلك يقل احتمال الفساد الميكروبي أثناء التفكيك.

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

ثانياً : التفكيك بالماء :

الأسماك الكاملة المجمدة يتم تفكيكها بغمر عبواتها فى أحواض ماء دافئ (60-70ف) 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 الكهربائية :

يستخدم تيار كهربي وفيه ترفع درجة حرارة المادة المجمدة من المركز إلى إتجاه السطح فقد يستخدم التسخين بالكهرباء dielectric heating حيث يحدث إنتقال للحرارة إلى المادة الغذائية المجمدة عند تعرضها لحقل كهربي حيث أن الأقطاب الكهربائية تكون ملائمة للمادة الغذائية المجمدة وتؤدى إلى توليد حقل كهربي 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 الكهربي لتجنب ارتفاع 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 متأيئاً (محمل بشحنات موجبة وأخرى سالبة) فمرور الأشعة يعمل على تحريك جزيئات الماء عن طريق قوى التجاذب والتنافر بينها وبين جزيئات الماء المتأيئة 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 سئى 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 الذوق 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 ... الخ. 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.

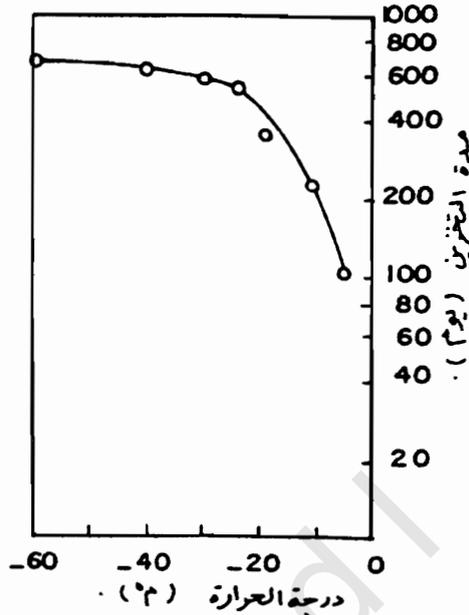
ثانياً : التصنيع : Process :

تتم بعض العمليات التصنيعية على المواد الغذائية قبل تجميدها (الضيل - التفشير - 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 سيؤدي ذلك للحصول على منتجات ذات جودة مرتفعة وتزداد فترة الصلاحية (شكل رقم 16-27) ويلاحظ أن عملية السلق للخضروات لها تأثير كبير على الجودة وعلى فترة الصلاحية للخضروات حيث تختلف هذه الفترة باختلاف الطريقة المستخدمة في السلق.

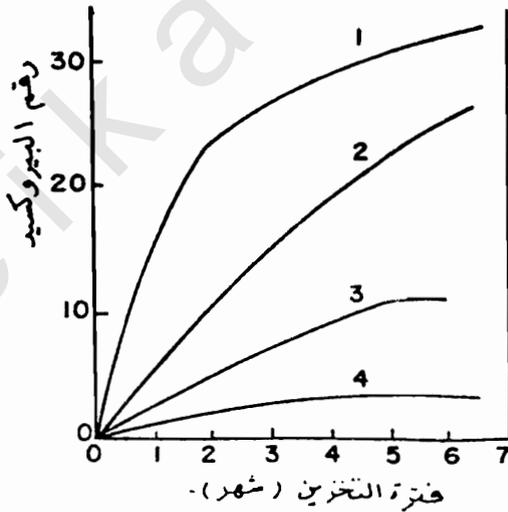
أيضاً فإن المعاملة بالمواد المضادة للأكسدة للأسماك الدهنية تساعد على إطالة فترة الحفظ للأسماك المجمدة. ويفضل أن تتم جميع مراحل التجميد بسرعة لتلافي التلوث بالأحياء الدقيقة أو التدهور في خواص الجودة مما يساعد على إطالة فترة الصلاحية لها.

ثالثاً : التعبئة : Packaging :

التعبئة الجيدة في 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 للترنخ في سمك الرنجة قد ازداد بدرجة ملحوظة في السمك غير المغطى بطبقة الثلج أي لم تتم له عملية الأجلزة . كما أن التجميد بالهواء المدفوع كان أفضل من التجميد في المحلول الملحي (رقم البيروكسيد أقل) .



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



شكل رقم 16-28: التزنخ (رقم البيروكسيد) في سمك الرنجة
1- تجميد في محلول ملحي بدون أجزئة
2- تجميد في محلول ملحي مع أجزئة
3- تجميد في هواء مدفوع بدون أجزئة
4- تجميد في هواء مدفوع مع أجزئة
المصدر: (1984) Jul.

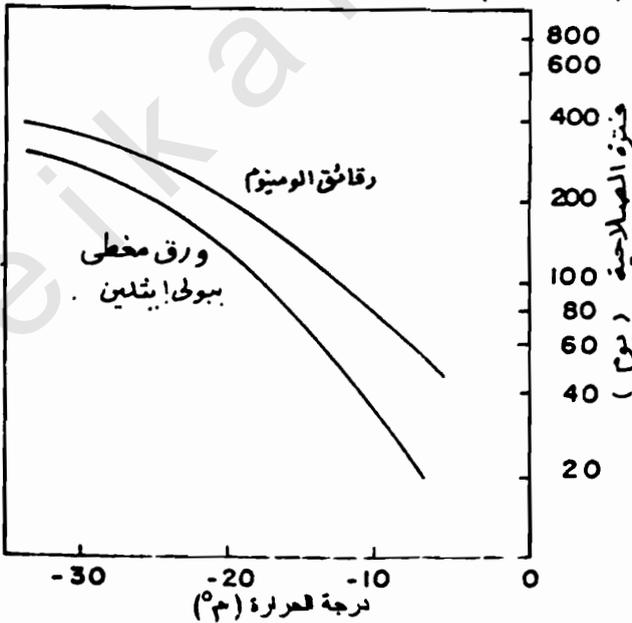
جدول رقم 16-19 : فترة صلاحية الجمبرى المجمد ومخزن على درجة حرارة 18° م

مدة الصلاحية (شهر)	المادة الغذائية
10	8% أجزأة ومعبأ تحت تفرغ
9 - 8	4% أجزأة ومعبأ تحت تفرغ
7 - 6	معبأ تحت تفرغ
4 - 3	معبأ فى بولى إيثيلين

المصدر: Jul (1984).

وأيضاً فإن للعبوة المستخدمة تأثيراً كبيراً على جودة الأغذية المجمدة وعلى فترة

الصلاحية (شكل رقم : 16 - 29).



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

المصدر: Hui (1992).

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

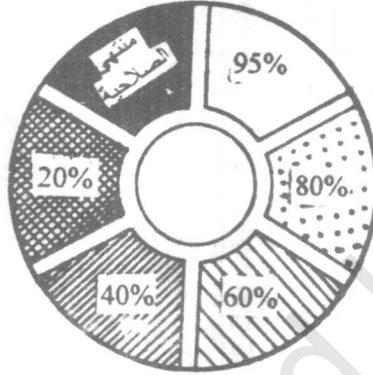
جدول رقم 16-20: فترة صلاحية الأغذية المجمدة بالشهور على درجات حرارة تخزين مختلفة

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

المصدر: مختصر من (Potter & Hotchkis (1995).

وحدثياً تستخدم دلالات لدرجة الحرارة Temperature indicators: على عبوات الأغذية المجمدة لتحديد مدى تعرض العبوات للتغيير في درجات الحرارة أثناء التخزين مثل وضع علامة spot حساسة للتغيير في 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. وحدثياً تستخدم دلالات 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) الذى 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 -14 م°، 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 نوضع 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 الفهرينى (-18 م°) 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 التي تعرضت لها المادة للمجمدة طوال فترة التخزين وبذلك يمكن الاستفادة من هذه القرارات في تحديد فترة الصلاحية لها shelf-life مع ملاحظة أن استخدام هذه لسؤشرات 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 أكسبتها وذلك بعزلها عن الهواء . وتراعى بعض الشروط عند اختيار مادة التعبئة والتغليف منها :

- أ - مقاومة لنفاذ الرطوبة .
 - ب - ألا تكون هشة سهلة التمزق عند تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة .
 - ج - أن تكون مرنة وتحفظ 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 تفريقها من الهواء عند التعبئة .
 - ح - سرعة 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 :-

أ- العبوات للدخالية : Primary packages .

ب - العبوات للخارجية : Shipping containers .

أولاً: العبوات الداخلية : Primary packages

وهي العبوات الملامسة للمادة الغذائية ومنها عدة أنواع :

ومن أهم المواد التي تستخدم في هذه العبوات :

أ - الكرتون Carton and board :

الكرتون المقوى من أكثر المواد المستخدمة في 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 طبقة من البلاستيك الرقيق من مواد مثل بولي إيثيلين (PE) polyethylen أو بولي بروبيلين (PP) polypropylene أو بولي فينيلدين (PVDC) Polyvinylidene choride . حيث تعمل هذه المواد على زيادة كفاءة العبوات في تقليل نفاذية الهواء والرطوبة .

ب - الألومنيوم Aluminum :

تستخدم رقائق الألومنيوم المصنوعة بكثرة في تغليف الأغذية المجمدة حيث تستخدم على هيئة صوانى لتعبئة الأغذية سابقة التجهيز لأنها تتحمل درجات الحرارة المرتفعة فيمكن إستخدامها في الأفران .

ج - البلاستيك Plastic :

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

1- البولي إيثيلين (PE) Polyethylene

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- البولي بروبيلين (PP) Polypropylene

3- كلوريد البولي فينيلدين (PVDC) Polyvinylidene chloride

والبوليمير من vinylidene chloride يعرف باسم الساران saran ويستخدم لتغطية المواد الأخرى مثل الورق وهو أفضل من البولي إيثيلين في مقاومته لنفاذ الرطوبة.

4- بولي إيثيلين تترافثالات (PET) Polyethylene tetraphthalate

5- البولي استير Polyesters

وهذا النوع من الأفلام يباع تحت اسم تجارى Mylar وعادة يستخدم فى طبقات مع مواد أخرى مثل البولي إيثيلين. ومن مميزات البولي 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 البوليميرات 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 البولي إيثيلين والساران.

د- العلب الصفائح : Cans

قد تستخدم العلب الصفائح المصنوعة من ألواح القصدير tin-plate أو الألومنيوم لتعبئة

مركزات العصائر المجمدة والبيض المجمد. وإن كان من غير الشائع تعبئة الأغذية المجمدة في 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 في تعبئة الدواجن المجمدة أو عبوات بلاستيك لشحن اللحوم المجمدة وأيضاً قد تستخدم عبوات من البولي استيرين 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 في العناصر الغذائية يحدث أثناء خطوات التصنيع والمراحل الأولية لتجهيز الأغذية للتجميد (التفشير - الغسيل - السلق) وأثناء تخزين الأغذية المجمدة وأثناء عملية التفكيك. والفقد في العناصر الغذائية في الأغذية المجمدة يختلف باختلاف نوع المادة الغذائية ونوع العبوات المستخدمة وظروف التصنيع والتخزين. وتعتبر الفيتامينات من أكثر العناصر الغذائية التي تفقد أثناء عمليات الحفظ خاصة فيتامين (ج) 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 في تركيب البروتين (دنترة) denturation . وقد وجد أنه يمكن هضم البروتين للمدنتر في 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 معدل بطول فترة التخزين على درجة حرارة أعلى من الدرجة المناسبة للتخزين (صفر ف أو -18م) وتعرض دهون الأسماك للتزنخ أسرع من دهن اللحوم الحيوانية. ويترتب على أكسدة الدهن حدوث فقد في محتويات المادة الغذائية من فيتامين (أ) . ولا يعتبر التزنخ عاملاً هاماً في التأثير على القيمة التغذوية للأغذية المجمدة. حيث يمكن منع حدوث التزنخ بخفض درجة حرارة التخزين.

3- الكربوهيدرات :

التغيير الذي يحدث في الكربوهيدرات في الفواكه المجمدة هو تحلل السكريات للتنائية إلى سكريات أحادية وهذا لا يؤثر على القيمة التغذوية للفاكهة المجمدة.

4- المعادن :

الفقد في العناصر المعدنية قليل في المنتجات للحيوانية المجمدة (اللحوم - الأسماك) إذا تم التجميد بالطرق السريعة عنه في الطرق البطيئة حيث تقل كمية السائل المنفصل drip الذى يحتوى على نسبة ملحوظة من المعادن. وللخضروات المجمدة يفقد منها نسبة من المعادن في ماء السلق ولذلك يفضل استخدام البخار في عملية السلق للخضروات. والفقد في المعادن في الفواكه المجمدة لا يؤثر على قيمتها للتغذية 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 ج 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 (ب₁) 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 الخضار المجمدة (جدول رقم 16-22). ويزداد الفقد كلما إرتفعت درجة حرارة التخزين (شكل رقم 16-31).

والفقد من فيتامين (ج) 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 (ج) حيث وجد أن عصير البرتقال المركز المجمد يفقد حوالى 5% من فيتامين (ج) 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 ج وفيتامين ب₁ من الخضروات أثناء السلق

متوسط الفقد فى الفيتامينات %		المنتج
فيتامين ب ₁	فيتامين ج	
-	10	أسبرجس
9	23	فاصوليا خضراء
36	24	فاصوليا اللبما
-	36	بروكلى
-	20	القرنبيط
11	21	البسلة
60	50	سبانخ

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

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

الفقد في فيتامين ب %	الفيتامين
12.2	الثيامين
10.3	الريبوفلافين
14.5	النياسين
9.4	البيريدوكسين
33.2	حامض البانثوثريك
8.1	حامض الفوليك

المصدر: (1984) Jul.

References المراجع 3 - 16

- Bald, W. B. (1991). Food freezing: Today and tomorrow. Springer - Verlag London limited.
- Burg, S. P (1975). Hypothermic 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 on 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.
- Hsieh, Y. L. and Regenstein, J. M. (1989). Texture changes of frozen stored cod and ocean perch minces. J. Food Sci. 54, 824 - 826.

- Huffman, D. L., Davis, K. A., Marple, D. B. and McGuire, 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). Prediction 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 Publishing 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. Westport, 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.