الفصل السادس

التبريد والتجميد
Chilling and Freezing

تعريفات
Definitions

دائما ، يجب التفريق بين:

- **التبريد (Chilling)**: تبريد المادة إلى درجات حرارة فوق نقطة التجمد (freezing point) بقليل، مثلاً +٥°م (٤١°ف) أو صفر-٢°م (٣٢-٣٦°ف).
- يستخدم لفظ أو اصطلاح **التبريد الفائق(super chilling)** أحيانا ، للتبريد على درجات حرارة فوق أو تحت نقطة التجمد بقليل، مثلاً -٢ إلى +٢°م (٢٨- ٣٦°ف).
- التخزين المبرد (chill storage) هو حفظ المادة (الغذائية) على درجات التبريد (Chill temperatures) (صفر- ٥°م، ٣٢-٤١°ف).
- **التجميد (Freezing)**
  - تحويل المواد غير المجمدة [عادة تكون على درجات حرارة تبريد، مثلاً ٥°م (٤١°ف)] إلى مواد مجمدة؛ و يتطلب هذا طاقة تبريد كبيرة جداً (صفحة ١٣٧، ١٣٨).
  - تبريد المادة المجمدة إلى درجة حرارة حفظها مجمدة(إلى درجة حرارة أقل).
- **التخزين المجمد (Frozen storage)** حفظ المنتج المجمد على درجة تجميد مناسبة، عادة -١٨ إلى -٢٠°م (صفر إلى -٤°ف) ؛ يتحقق ذلك أساساً بالمحافظة على البيئة المحيطة (الجو المحيط) عند درجة حرارة التجميد الصحيحة.

إذا استخدمت أدوات أو معدات خطأ لأي مرحلة من تلك المراحل ، فلا يمكن الحصول على نتائج سليمة مرجوة. بصفة خاصة، لا يمكن استخدام مخزن تبريد لتجميد كميات متوسطة أو كبيرة من المواد؛ إذ حدث ذلك ، فغالباً ما تكون النتيجة ارتفاع في درجة حرارة المخزن ومن ثمَّ خفض كفاءته كمخزن تبريد أو تجميد.

مواد التجميد التي تهم مصنعي منتجات اللحوم بشكل رئيس هي:

- اللحم الطازج (الخام) والدهون .. الخ التي تستخدم كمواد خام للتصنيع .
- المنتجات النهائية المعدة للبيع كأغذية مجمدة.
- يوجد ملخص لدرجات الحرارة المناسبة في الجدول رقم (١ , ٦).

الجدول رقم (١ , ٦). درجات الحرارة التقريبية للتبريد والتجميد.

°م	°ف	
١٠	٥٠	أقصى درجة حرارة محددة في نظم السوق الأوروبية لغرف تقطيع اللحم، الخ. الحد الأدنى لمنطقة الخطر الميكروبي (صفحة ١١٢).
٧	٤٤	يتوقف نمو السالمونيلا عند هذه الدرجة.
صفر	٣٢	نقطة تجمد الماء النقي. يتوقف عند هذه الدرجة نمو البكتيريا الممرضة للإنسان.
١–	٣٠	يبدأ الماء الموجود في اللحم في التجمد على هذه الدرجة.
٢–	٢٨	يتجمد حوالي ٥٠٪ من الماء الموجود باللحم.
٤–	٢٥	أقصى سرعة لتدهور اللحم المجمد (تدهور ميكروبي ، إنزيمي وكيميائي).
٦–	٢١	(One star domestic freezers) المجمدات المحلية ذات النجمة الواحدة.
٨–	١٧	يتجمد حوالي ٩٠٪ من الماء.
١٠–	١٤	يتم تحطيم الطفيليات السيستيسيركوس بوفيس (*Cysticercus bouis*) والترايكينيلا اسبايراليس(*Trichinella spiralis*) خلال أسبوعين من التجميد (تقريباً). يتوقف النشاط الميكروبي و يتوقف نمو الأعفان.

تابع الجدول رقم (١ ,٦) .

°م	°ف	
-١٢	١٠	(Two-star domestic freezers) المجمدات المحلية ذات النجمتين.
-١٣	٩	يتجمد حوالي ٩٥٪ من الماء.
-١٨	صفر	(Three and four star domestic) المجمدات المنزلية ذات الثلاث والأربع نجمات هذه هي درجة التجميد (التخزين المجمد) الموصى بها للأغراض العامة. (freezers)
-٢٠	-٤	يتجمد حوالي ٩٨٪ من الماء.
-٣٠	-٢٢	درجة حرارة الهواء النموذجية في المجمدات الهوائية السريعة (Air blast freezers). تتوقف التغيرات التأكسدية في الدهون عملياً، وعندها يتجمد حوالي ١٠٠٪ من الماء.

قياس درجات الحرارة

Temperature Measurement

عند قياس درجات الحرارة يجب التفريق بين:

- درجة حرارة هواء المعدات أو الأجهزة، درجة حرارة الألواح في مجمدات الألواح (Plate freezers)، ودرجة حرارة السوائل في مجمدات الغمر (immersion freezers)، .. الخ؛ هذه الدرجات سهلة القياس نسبياً باستخدام مقاييس الحرارة الموجودة في المعدات أو الأجهزة، ومن المحتمل ألاّ تكون تلك المقاييس متكافئة(ثابتة أو متوافقة) دائماً. وبذلك ، قد يكون ذلك مؤشراً خادعاً لتحديد درجة حرارة المواد في المخزن.
- درجة حرارة سطح المنتج. يمكن قياس هذه بسهولة باستخدام مقاييس الحرارة التي تعمل بالملامسة (contact thermometers) .
- درجة حرارة مركز المنتج (centre temperature of the product). يمكن قياس درجة حرارة مركز المنتج في ظروف التجارب العملية كالأتي:

– أدخل مقياس الحرارة، أو المسبار (probe).. الخ ، داخل المنتج وجمده مع المنتج.

– أعمل فتحة أو خرم (hole) في المنتج المجمد باستخدام مثقاب(drill) ، أو رزة مسمار من حديد غير قابل للصدأ(stainless steel spike).. الخ ، ومن ثم أدخل مقياس الحرارة ؛ احسب ١–٢°م (٢–٥°ف) ارتفاع في درجة الحرارة؛ بسبب عملية الثقب (drilling).

• متوسط درجة حرارة المنتج. هي درجة حرارة كل المنتج والتي يبلغها عندما يترك ليصل الى درجة التوازن أو التساوى الحراري، و عادة، يأخذ هذا عدة أيام. ومن الصعوبة حساب هذه الدرجة مسبقاً.

تأثيرات التجميد

Effects of Freezing

الهدف أو الغرض الرئيس من التجميد هو حفظ جودة المادة المجمدة لفترات طويلة بل أطول مما لو كان المنتج محفوظاً على درجات حرارة أعلى. ستتم مناقشة جوانب الجودة والنوعية التي قد تتأثر أدناه.

بصفة عامة، وتحت الظروف المثلى، يكون تدهور الجودة بسيطاً أو بطيئاً جداً ، ولكن قد يكون التدهور بالغاً تحت ظروف سوء الاستخدام.

التأثيرات الميكروبيولوجية Microbiological Effects

يتوقف النمو الميكروبي عند حوالي –١٠°م (+١٤°ف) (يتوقف نمو بكتيريا التسمم الغذائي عند +٧°م، +٤٤°ف)؛ ولكن معظم البكتيريا لا يتم تحطيمها حتى على درجات حرارة التخزين المبرد المنخفضة. (قد يحدث بعض النقص في الأعداد ولكن قد يتم تجاهل ذلك).

لا يمكن أن تكون الجودة الميكروبيولوجية للأغذية المجمدة أفضل مما كانت عليه قبل التجميد. لذا:

• يجب تجميد فقط المواد عالية الجودة، والمصنعة تصنيعاً صحياً (hygienically processed)الخ. . .

- جمد فوراً بأسرع ما يمكن بعد الإعداد والتحضير؛ وذلك لتقليل مزيداً من النمو الميكروبي.
- اجعل التجميد سريعاً قدر المستطاع.

تذكر بأن النمو يبدأ عند تسييح المادة المجمدة (للمشاكل الخاصة بمرحلة التسييح انظر صفحة ١٤٢٢). بعد التسييح سيستمر النمو بنفس السرعة (له علاقة بدرجة حرارة المادة) وكأن المادة لم تجمد أبداً.

عند تبريد وتجميد الذبائح قد يكون هناك خفضاً في أعداد الميكروبات؛ نتيجة لجفاف السطح (صفحة ١٤١). ولا يحدث هذا الجفاف في اللحوم المعبأة في صناديق (محاطة بالبولي ايثين polyethene lined) أو منتجات اللحوم المغلفة جيداً.

نمو الأعفان Mold Growth

قد يحدث نمو الأعفان على درجات حرارة منخفضة −١٠°م (+١٤°ف) . و وجود الأعفان على الأغذية المجمدة علامة أو دليل على تلوث تلك الأغذية بها قبل عملية التجميد أو على أن درجة حرارة مخزن التجميد عالية جداً.

حتى الخمسينيات ، لم تكن الأعفان السوداء أو البقعة السوداء (Black mold, "black spot") غير شائعة في مخازن التبريد التي تعمل على درجات حرارة −١٠°م (+١٤°ف). عادة تتطلب الأعفان السوداء شهرين لتصبح ظاهرة للعين.

التأثيرات الكيميائية Chemical Effects

الخشونة "الصلابة" وعلاقتها بوقت التجميد

Toughness in relation to time of freezing

العامل المفتاحي (الأساسي) هو هل بدأ التيبس الرمي أو انتهى عند وقت التجميد. (انظر صفحة ١٣-١٤ للنقاش المستفيض).

تزنخ الدهن Fat Rancidity

التزنخ سبب رئيس للنكهات غير الجيدة (stale flavor) في اللحوم المجمدة المخزنة، سواء أكانت معالجة أم غير معالجة. وعادة التزنخ هو العامل الذي يحد من فترة صلاحية التخزين المجمد.

أهم أشكال التزنخ هو الذي يحدث بسبب التأكسد ويطلق عليه التزنخ التأكسدي (oxidative rancidity)؛ ويقاس عادة بقيمة البيروكسيد (peroxide value "PV"). يحدث التزنخ بسبب التحلل الدهني (lipolytic rancidity) والذي يميل للتسبب في تكون نكهات صابونية (soapy flavors) أيضا، ويقاس هذا التزنخ بقيمة الحموضة (acid value) أو الأحماض الدهنية الحرة [(free fatty acids- (FFA)]، ولكن هذا النوع من التزنخ أقل أهمية لأغراض الوقت الحالي. ومن أجل المعلومات والحيثيات الكاملة حول الموضوع ، راجع المراجع والكتب الدراسية المناسبة في الكيمياء.

تشمل العوامل التي تسرع بنشوء وتطور التزنخ الآتي:

- **الهواء أو الأكسجين**. لن تكون هناك مشكلات في اللحوم المغلفة تحت تفريغ (vacuum packed meats) إذا كان الغلاف سميكاً، ولكن نادراً ما يوجد التغليف السليم.
- **يسرع الضوء بالتغيرات الكيميائية**. بلغة ومصطلح الكيمياء يتم تشجيع تكون الشقوق (الجذور) الحرة (free radicals) .
- **الدهون الأكثر نعومة (softer fat)**. بلغة ومصطلح الكيمياء، فإن الدهون المشبعة تشبعاً زائداً مثل دهن الخنزير هي الأكثر عرضة للتزنخ مقارنة بالدهن البقري (انظر صفحة ٢٥، ٢٦).
- **صبغات اللحم أو صبغات الدم**. بلغة ومصطلح الكيمياء ، فإن تأكسد الدهون وتأكسد الصبغة (pigment oxidation) عمليات محفزة ذاتياً:(autocatalytic) بمعنى آخر، إن كل عملية تشجع الأخرى. فقد تكون الصبغات ملامسة للدهون في المنتجات المفرومة أو تكون الإجراءات الصحية ضعيفة وتكون أسطح الدهون ملطخة بالدم أوعصارة اللحم أو جزئيات (شدف) اللحم (meat fragments).
- **ظروف التجميد (frozen conditions)** . هناك تأثيران:
- تحدث التغيرات الكيميائية وتستمر أكثر بطأً عند درجات الحرارة المنخفضة.

• عندما يتكون الثلج، تتركز المواد المتفاعلة في الماء المتبقي، ومن ثمَّ تسرع بالتغيرات الكيميائية. في حالة التزنخ، يكون هذا التأثير أبلغ من تأثير درجة الحرارة المنخفضة.

أسوأ درجات حرارة فيما يتعلق بالتزنخ تكون حوالي −٢ إلى −٤°م (٢٨−٢٥°ف)، حيث أن درجة الحرارة ليست منخفضة جداً ولكن جزء كبير من الماء يكون متجمداً.

• **الملح**. قد يسرع الملح بالتغيرات الكيميائية، ربما بسبب أنه يقلل توافر الماء، وبذا، يعمل بنفس طريقة الثلج الصلب (solid ice) المذكورة أعلاه.

بسبب ربط التزنخ بالتغيرات في صبغات اللحم، فإن تطوره عادة يرتبط بتدهور اللون، فعلى سبيل المثال، قد يسبب استخدام الدهن المجمد الذي بدأ يتأكسد التدهور السريع في لون البرجرات.

المعجنات Pastry

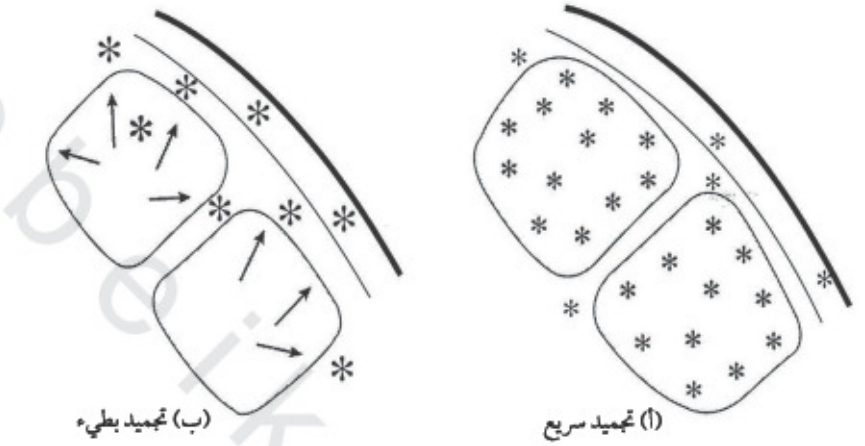
ليست هناك مشكلات خاصة في معجنات اللحم غير المخبوزة (unbaked pastry) ولكن قد تفقد المعجنات المخبوزة (backed pastry) طزاجتها (stale) بسرعة عند درجات التسييح (انظر صفحة ٢٥٩).

التأثيرات الفيزيائية (الطبيعية) Physical Effects

تكون الثلج – التأثيرات الميكانيكية والكيميائية Ice formation – mechanical and chemical effects

عندما يجمد اللحم فالماء هو الذي يتجمد مكوناً بلورات ثلجية. (يوضح الشكل رقم ١, ٦ موقع الماء في اللحم الأحمر غير المجمد). قد يؤثر شكل وحجم بلورات الثلج المتكونة في الخواص الأخرى للحم. كمية الثلج الموجود في اللحم عند درجة حرارة معينة ثابتة، ولكن يعتمد حجم البلورات على سرعة التجميد.

• **التجميد السريع Fast freezing**. تتكون كثير من بلورات الثلج الصغيرة داخل الخلايا وخارجها في الوقت نفسه ؛ و آخر ما يتجمد هو الماء المرتبط باللويفات العضلية (myofibrils) (الشكل رقم ١, ٦ أ)



الشكل رقم (١ ,٦). تكوين الثلج في اللحم.

• **التجميد البطيء Slow freezing** : أولاً: تتكون البلورات في الماء خارج الخلايا، ومن ثم تنمو هذه البلورات كلما انجذب نحوها الماء. و النتيجة هي كبر حجم البلورات الثلجية خارج الخلايا وجفاف بعض مكونات الخلايا (الشكل رقم ١ ,٦ ب) .

• **درجات الحرارة المتقلبة في المواد المجمدة Fluctuating temperature in frozen material:** عندما ترتفع درجة الحرارة يسيح بعض الثلج من كل البلورات الموجودة، بالتساوي، بحيث إن أصغر البلورات قد تختفي، وعندما تنخفض درجة الحرارة، يتكون الثلج مرة أخرى على البلورات الباقية، مما يجعلها تكبر ويزداد حجمها.

• **التجميد في النسيج الدهني Freezing in fatty tissue** : يتجمد الماء الموجود في النسيج الضام للنسيج الدهني بنفس الطريقة. لايحدث جفاف الخلايا مع التجميد البطيء ولكن المواد المذابة تتركز في الماء غير المتجمد، كما في اللحم الأحمر.

الاعتبارات التي تعطى للحرارة Heat considerations

يجب نزع الحرارة من اللحم عند تبريده وتجميده، أو إمدادها عند تسييح اللحم المجمد. يوضح الجدول رقم (٢, ٦) الكميات المناسبة للماء النقي (pure water).

الجدول رقم (٢, ٦). الاعتبارات التي تعطى لدرجات الحرارة في التجميد والتسييح.

التبريد	التسخين	كمية الحرارة المطلوب نزعها (تبريد) أو إمدادها (تسخين)	
		كيلوكالوري/ كجم	كيلوجول/ كجم
التبريد من درجة حرارة الجسم ٣٧°م (٩٨°ف) إلى الصفر المئوي (٣٢°ف).	التسخين من درجة صفر (٣٢°ف) إلى ٣٧°م (٩٨°ف).	٣٧	١٥٥
تجميد الماء على صفر°م (٣٢°ف) إلى ثلج على صفر°م.	تسييح الثلج من درجة صفر°م (٣٢°ف) إلى ماء على درجة صفر°م (٣٢°ف).	٨٠	٣٣٥
التبريد من صفر°م إلى –٢٠°م (–٤°ف).	التسخين من –٢٠°م (–٤°ف) إلى صفر°م (٣٢°ف).	١٠	٤٢

العامل الأكبر الوحيد هو تحويل الماء إلى ثلج (أو العكس) بدون أي تغيير في درجة الحرارة (نزع الحرارة الكامنة extraction of latent heat). يوضح الشكل رقم (٢, ٦) منحنيات تبريد نموذجية للحم مجمد باستخدام تيار هوائي على –٣٠°م (–٢٢°ف). يمثل القسم المستوي من المنحنى (الخط أ) الوقت الطويل المطلوب لتجميد الماء في وسط اللحم. تذكر الاستنتاجات العامة التالية:

- العبء الرئيس الذي يقع على مصنع التجميد هو تجميد اللحم؛ إن تبريد اللحم المجمد من نقطة التجمد إلى –٢٠°م (–٤°ف)، على سبيل المثال، أمر سهل نسبياً.

• عكس ذلك، فإن أي فشل في مصنع التبريد، أو زيادة في الحمل (فوق السعة المحددة overloading ..الخ) ، ربما يعني بأن بعض اللحم لم يتجمد البته.

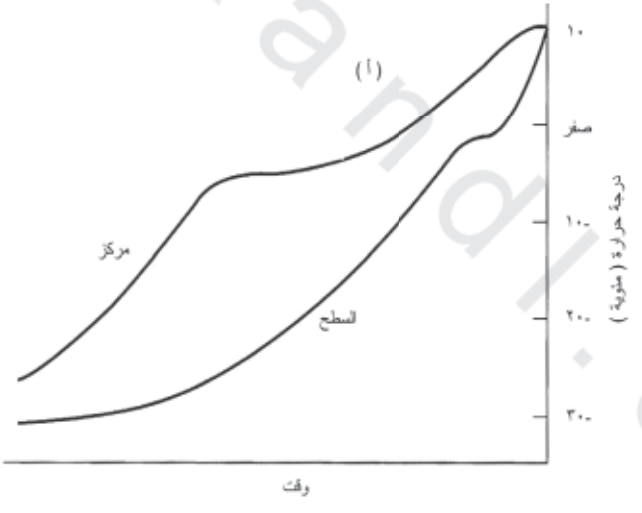
التبخير Evaporation

عادة ، يكون الحيز الهوائي في المجمد أو مخزن التبريد جافاً جداً ، ذلك بسبب:

• أن الملف الحلزوني (أنابيب التجميد الملفوفة أو الملتفة coils freezing) أو صفائح التجميد (f reezing plates) هي أبرد أجزاء وحدة التجميد .

• لذا، يتكثف الماء على الملف الحلزوني أو الصفائح: مكوناً الثلج (frosting).

• لذا، يتم جذب بخار الماء نحو الحيز الهوائي المحيط بالأنابيب الملتفة من الحيز الهوائي البعيد، أي يصبح هذا الحيز البعيد جافاً.



الشكل رقم (٢, ٦). تجميد قطعة لحم كبيرة.

ونتيجة لذلك، فإن أي مواد موجودة في المخزن ومحتوية على ماء أو ثلج ولا يتم حمايتها جيداً من فقد الرطوبة، ستفقد رطوبة تنتقل إلى جو المخزن، وستجف هذه المواد وسيساهم الجو الأكثر رطوبة في تكوين مزيد من الثلج على الأنابيب الملتفة أو الألواح. سيظهر الفقد في الماء من المادة المبردة أو المجمدة المخزنة، كفقد في الوزن.

حروق التجميد Freezer burn: ينتج حرق التجميد من تسامي الثلج (sublimation) من على سطوح اللحم غير المحمية.. الخ. في المراحل الأولى. توجد نقاط صغيرة بيضاء أو رمادية تسمى أحياناً سفاعات (حروق) التجميد السطحية (freezer scorch). قد يختفي هذا التلون عندما يُسَيح اللحم ويتم إعادة ترطيب سطحه. إذا كان حرق التجميد شديداً، فقد لا يختفي عند التسييح. لايسبب حرق التجميد أي ضرر، ولكن قد يحدث تأثيرٌ بالغٌ في مظهر وخواص اللحم الحسية والتصنيعية. عندما يحدث حرق التجميد، من المحتمل أن يحدث فقد ملحوظ وكبير في الوزن أيضاً.

يمكن تفادي حروق التجميد وفقد الوزن المصاحب لها بمراعاة النقاط التالية:

- منع الجفاف، وذلك بالتغليف الجيد الفعال – بوليثين (polythene)أو أي مادة أخرى مانعة لفقد الرطوبة (moisture-proof).
- منع إتلاف أو تحطيم الغلاف أو العبوة عن طريق التداول الحذر.
- المخازن ثابتة الهواء (still-air stores) أفضل من المخازن متحركة الهواء (blown-air stores).

التأثيرات على خواص اللحم
Effects on Meat Properties

اللون Color

اللحوم الحمراء (البقر، الضأن والخنزير) أغمق وأكثر بنية/ رمادية (brown/gray) عندما تُجمد مقارنة بحالتها غير المجمدة.

قد يظهر لحم الدواجن الداكن، لحم الأرانب ولحم طيور الصيد (game birds) بلون أرجواني (purple appearance) عندما يجمد، ولوناً أكثر احمراراً (redder)عندما يكون بلا تجميد. يكون لون لحم الدواجن الأبيض أحمر – بني (red-brown) عندما يجمد ببطء، وكريمي (cream) إلى أبيض إذا جُمد بسرعة. وتعود هذه الألوان إلى اللون الكريمي

(cream) عندما تسيح هذه اللحوم. ودائماً، ما تؤخذ الألوان الداكنة كعلامة على أن لحوم الدواجن قد تم تسييحها ثم جمدت مرة أخرى ببطء في ممارسة خاطئة.

الفواقد بسبب التقطر (السوائل المنفصلة) Drip Losses

من المعروف الآن بأن فواقد القطر من اللحم الذي جمد ثم تم تسييحه، وبذلك، فإن الفواقد المحتملة عندما يطبخ اللحم، تتأثر بدرجة كبيرة بسرعة التجميد. كلما جمد اللحم بسرعة كانت الفواقد أقل. ومن أجل أفضل النتائج، يجب العناية والاهتمام بـ:

- كلما كانت القطع المراد تجميدها صغيرة الحجم، كان التجميد أسرع.
- درجة حرارة المجمد التشغيلية وكفاءته – كلما كان أبرد كلما كان التجميد أسرع.

الفواقد بسبب الطبخ Cooking Losses

اللحم الأحمر Lean meat

- تزيد فواقد الماء بدرجة بسيطة؛ بسبب التجميد والتسييح.
- تتأثر مقدرة اللحم على ربط الدهون (fat binding capacity) ، والتي تعتمد على نظام اللحم الأحمر– الماء – الملح، بدرجة بسيطة ، بتجميد وتسييح اللحم الأحمر، مع استثناء بعض قطعيات أرباع اللحم البقري الأمامية (beef fore quarter)التي قد تتأثر. وأسباب تأثر بعض هذه القطعيات غير معروفة حتى الآن.
- يمكن أن يبرس اللحم الأحمر وهو في حالته المجمدة دون المزيد من التأثير في نظام اللحم الأحمر – الماء – الملح وعلى المقدرة على مسك الدهون ،(fat binding capacity) لكن تذكر بأنه في حالة التجميد لا يكون الماء متوفراً لإذابة الملح أو البروتينات؛ يكون جزء الماء - الملح من النظام فعالاً فقط في الحالة السائحة(thawed state) . والخفض في نقطة التجمد؛ بسبب أن الملح ليس كافياً للتغلب على هذا.

النسيج الدهني Fatty tissue

- لا تزيد فواقد الدهون؛ نتيجة التجميد والتسييح لوحدهما، أي إذا سُيحت الدهون تسييحاً تاماً واستخدمت على نفس درجة الحرارة كما لو أنها لم تُجمد بالمرة.

• ولكن، تزيد فواقد الدهون أثناء عملية الهرس (comminution) على درجات حرارة منخفضة؛ دائماً، تعطي الدهون التي تهرس وهي مجمدة فواقد كبيرة جداً (صفحة ٥٤).

فترة الصلاحية (العمر التخزيني): Storage Life

يوضح الجدول رقم (٦,٣) بعض القيم النموذجية لفترة الصلاحية.

إدارة سلسلة التبريد

Management of the Cold Chain

المبردات، الثلاجات Chillers , Refrigerators

هي أجهزة للمحافظة على فراغ هوائي (air space) على درجات قريبة من نقطة تجمد الماء. تعمل هذه الأجهزة بالضغط والتمدد المتبادل لغاز التبريد. ولهذه الأجهزة ثلاثة أجزاء أساسية:

• **الضاغط Compressor**، فيه يتم ضغط غاز التبريد بواسطة مضخة وتسخينه أثناء عملية الضغط.

• **المكثف Condenser**، فيه يمر الغاز من خلال أنابيب أو ألواح تُبَرد من خارجها بواسطة هواء أو ماء أو بالاثنين معاً؛ يؤدي تبريد الأنابيب أو الألواح إلى تحول الغاز المضغوط بداخلها إلى سائل.

• **المُبَخر أو أنابيب التبريد الملفوفة Evaporator or cooling coils**، أو تقع في الحيز المطلوب تبريده: يُرفع الضغط ، يتبخر الغاز المسال بأخذ الحرارة من محيطه لكي يستخدمها في التبخر.

الجدول رقم (٣, ٦). فترة صلاحية اللحوم المجمدة (من التوصيات لتصنيع وتداول الأغذية المجمدة، المعهد العالي للتبريد (International Institute of Refrigeration, 1964).

	درجة الحرارة		فترة صلاحية التخزين المتوقعة
	م°	ف°	(شهور)
اللحم البقري:			
الروست، الاستيك المغلف	-١٢	١٠	٨-٥
	-١٥	٥	٩-٦
	-١٨	صفر	١٢-٨
	-٢٤	-١٠	١٨
	-١٨	صفر	١٢
لحم مفروم مغلف (غير مملح)	-١٢	١٠	٦-٥
	-١٨	١٠	٨-٤
لحم العجول			
روست (roasts)، شرائح (chops)	-١٨	صفر	١٠-٨
قطيعات (cutlets)، مكعبات (cubes)	-١٨	صفر	٨-٦
لحم الحملان			
روست و شرائح	-١٢	١٠	٦-٣
	-٢٠ إلى -١٨	-٤ إلى صفر	١٠-٦
	-٢٣ إلى -١٨	-١٠ إلى صفر	١٠-٨
	-١٨	صفر	١٢

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٦,٣).

	درجة الحرارة		فترة صلاحية التخزين المتوقعة
	°م	°ف	(شهور)
لحم الخنزير			
روست وشرائح	-١٢	١٠	٢
	-١٨	صفر	٦-٤
	-٢٣	-١٠	١٠-٨
	-٢٩	-٢٠	١٤-١٢
	-١٨	صفر	٨-٦
مفروم، نقانق	-١٨	صفر	١٤-٣
خنزير، أو هام مدخن	-١٨	صفر	٧-٥
هام طازج	-٢٣ إلى -١٨	-١٠ إلى صفر	٨-٦
بيكون طازج (أخضر)	-٢٣ إلى -١٨	-١٠ إلى صفر	٦-٤
دواجن مزالة الأحشاء، في أغلفة غير منفذة			
للرطوبة	-١٢	١٠	٣
	-١٨		٨-٦
	-٢٣ إلى -٢٠	-١٠ إلى -٥	١٠-٩
دواجن مقلية	-١٨	صفر	٤-٣
	-٢٩	-٢٠	١٤

openkandi.com

تابع الجدول رقم (٣, ٦).

	درجة الحرارة		فترة صلاحية التخزين المتوقعة
	°م	°ف	(شهور)
أرانب	-٢٣ إلى -٢٠	-١٠ إلى -٥	حتى ٦ شهور
أحشاء (offal) صالحة للاستهلاك			
الآدمي مغلفة	-١٨	صفر	١٤-٣
شحم خنزير (Lard)	-١٨	صفر	١٢-٩

غازات وسوائل التبريد Refrigerants

فُضِّلت الهيدروكربونات المكلورة ومفلورة بالكامل وغير السامة والتي تعرف تجارياً باسم الفريون أو الأركتون (fully chlorinated and fluorinated non-toxic CFC_s hydrocarbons, with trade, names Freon or Acton) ، لعدة سنوات حتى اكتشف التأثير المدمر لمركبات الكلور الغازية (gaseous chlorine compounds) على طبقة الأوزون. الآن وبناءً على اتفاق عالمي (بروتوكول) يدعى اتفاق مونتريال ونظام الاتحاد الأوروبي رقم ٣٠٩٣/ ٩٤ (The Montreal Protocol and EC Regulation ٣٠٩٣/ ٩٤) ، فقد أصبح استخدامها قليلاً، وسيوقف استخدام الهيدروكربونات المكلورة ومفلورة جزئيا (HCFCs) بحلول عام ٢٠٢٠ أو ٢٠٣٠. ما زال استخدام الهيدروكروبات التي لا تحتوي على الكلور (HFCs) مسموحاً به.

الآن، تعود الأمونيا- النشادر (ammonia) التي استُبدلت سابقاً بالهيدروكروبات المكلورة والمفلورة بالكامل (CFCs)للاستخدام الواسع. و تعدَّ الأمونيا فعالة واقتصادية ولكنها سامة جداً. (رائحتها المميزة هي الوقاية في حالة التسربات البسيطة، لكن يجب اعتبارها مادة خطرة).

بدأ استخدام البيوتان (Butane)، لكن تكمن مشكلة استخدامه في قابليته للاشتعال.

المجمدات Freezers

يستخدم مصطلح مجمد (freezer) هنا ليرمز إلى جهاز تجميد الأغذية... الخ، وليس مخازن التبريد التي تحفظ فيها الأغذية.

تصميم الطاقة الاستيعابية Design Capacity

تذكر بأن كل مجمد صُمم ليجمد:

- حجم ، كمية وشكل معين من المنتج.
- على معدل وسرعة إدخال (thorough-put) محددة.
- على درجة حرارة محددة.

أي زيادة في معدل وسرعة الإدخال أو درجة الحرارة التي يتم التجميد عليها من المحتمل أن تكون سبباً في ألا يُجْمد المنتج تجميداً كاملاً: قد يبدو سطحه طبيعياً ولكن جزء من مركزه لن يتجمد وستتوازن درجة حرارته على متوسط درجات أعلى. ومن الممكن إذاً، أن يكون هناك حمل تبريد (cooling load) إضافي على أجهزة مخزن التبريد (cold-store) عند إدخال المنتج فيه.

أنواع المجمدات Types of freezers

مجمدات الدفع الهوائي Blast: وهي الأكثر شيوعاً:

- دفع هواء على درجة حرارة −٣٠ إلى −٤٠°م (−٢ إلى −٤°ف).
- سرعة الهواء ٥ أمتار/ الثانية (١٠٠٠ قدم/ الدقيقة).
- تعمل على دفعات (batches) أو مستمرة (continuous) .
- تستوعب أشكال وأحجام مختلفة.

مجمدات الألواح Plate:

- تحتوي على ألواح مبردة معدنية، ثقيلة يتم ضغط المنتج بينها.
- تستخدم للعبوات (packs) أو الكتل (blocks) المستطيلة والمنتظمة الشكل.

obeikandi.com

مجمدات سوائل التغطيس Liquid immersion:

- تستخدم للدواجن، خاصة الدجاج الرومي.
- يُغَطس المنتج المعبأ في حوض (tank) أويرش برذاذ مادة التبريد، والتي عادة تكون كلوريد الكالسيوم أو محلول البروبايلين جلايكول (propylene glycol).
- تُعطي تجميد سريع جداً يعرف بالتجميد السطحي أوالقشري (Crust freeze).
- هناك مشكلات تسرب مادة التبريد إلى داخل العبوات؛ وهذا ليس بضار ولكن قد يستدعي الغسيل وإعادة التجميد(re-freezing) .

مجمدات الغاز المسال Liquefied gas:

- يُرش الغاز المسال غير السام في حيز المنتج على ناقل... الخ، ويتم التجميد عندما يتبخر الغاز المرشوش. يغلى **النيتروجين** على -١٩٦°م (-٣٢١°ف). يتسامى (sublimes) **ثاني أكسيد الكربون** على -٧٨°م (-١٠٨°ف).
- عملية التجميد سريعة جداً.
- ممتازة للقطع الصغيرة مثل أجزاء الدواجن (قطعيات الدواجن).
- توجد مشكلات تشقق السطح للقطع الكبيرة و يحدث التشقق عندما يتمدد المركز مع التجمد بعد أن تتكون القشرة.
- مكلف نسبياً، يُوصى استخدامه فقط عندما تكون مميزات التجميد السريع مطلوبة.

المخازن المجمدة (أو مخازن التجميد) Frozen stores

مشاكل درجة الحرارة Temperature problems: تصمم المخازن أساساً لتحافظ على الهواء بارداً وعلى افتراض أن المنتج يدخل مجمداً تجميداً تاماً. لاحظ مشكلات سوء الاستخدام:

- يؤدي الهواء الرطب داخل المخزن إلى تكون الثلج (الصقيع) على أنابيب التبريد الملفوفة ... الخ، كما يؤدي أيضاً إلى هواء أكثر دفئاً، ومن ثمَّ تكرار تسييح الثلج (الصقيع) المتكون.

• فشل الاستمرار في مرحلة التجميد (مذكورة سابقاً) الجيد، مما يشكل عبئاً إضافياً على أجهزة تبريد المخزن، ومن ثمَّ الفشل في الحفاظ على درجة حرارة المخزن في حالة جيدة.

• يجب أن ترص المنتجات أو تكوم بطريقة تسمح بحركة الهواء بين صناديق المنتج.

حروق التجميد (صفحة ١٣٧، ١٣٨) Frezer burn: قد يؤدي التبخر من السطوح التي بها حروق تجميد ، إلى مزيد من تكون الثلج على ملفات التبريد (cooling coils) مسبباً مشكلات كما ذكر سابقاً.

الإضاءة Illumination: راجع مشكلات اللون والتزنخ لمنتجات اللحوم المجمدة (صفحات ٩٤، ١٠٥، ١٣٥، ١٣٦). يحدث أحياناً تأثير البيوت المحمية (green house effect) في مخازن التبريد، وفي أحيان أخرى يحدث في كابينات أو ثلاجات العرض في محلات التوزيع والبيع بالمفرق. إذا ترك الغذاء المغلف في أوعية شفافة (transparent) أو في الأطباق الملفوفة بالأغطية الشفافة معرضاً للضوء، فإن الشعاع الضوئي سيرفع درجة حرارة ذلك الغذاء دون تغيير درجة الحرارة الخارجية (كما في البيوت المحمية). ونتيجة لهذا، فقد تتدهور جودة المنتج تدهوراً سريعاً.

النقل المجمد Frozen transport

غالباً ما تكون مشكلات النقل المجمد متعلقة بالمحافظة على درجة الحرارة، وفي الأساس فإن مشكلات النقل المجمد مشابهة لمشكلات المخازن المجمدة، لكنها أكثر تفاقماً:

• فتح الأبواب، غلق وحدة التبريد، درجات حرارة مرتفعة للمنتج عند ادخاله؛ نتيجة للتأخير أثناء التحميل،.. الخ، لكل هذه العوامل تأثيرات كبيرة؛ لأن الحاوية صغيرة نسبياً وبها احتياطي برودة قليل.

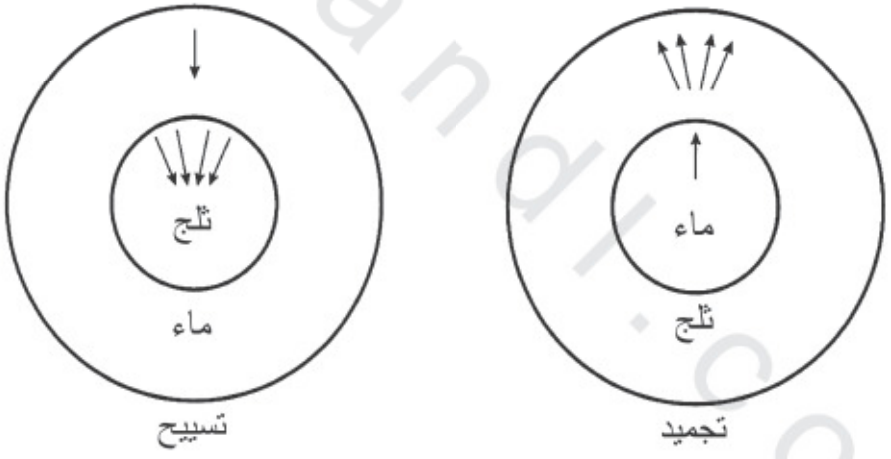
• من المحتمل أن يكون العزل (insulation)أقل مما في المخازن.

التسييح (الإذابة أو الانصهار)
Thawing

نقل الحرارة من مصدر أدفأ Heat Transfer From Warmer Source

مبدئياً، يعدُّ التسييح بنقل الحرارة من مصدر عملية أقل فعالية وكفاءة من التجميد. ويعتمد إدخال الحرارة في المنتج على:

• **التوصيل الحراري (Thermal conductivity)**: التوصيل الحراري للماء أقل مما للثلج بدرجة كبيرة. لذا، فإن التسييح عملية أبطأ من عملية التجميد؛ لأن على الحرارة أن تمر من خلال ماء ذي سمك متزايد بدلاً من المرور من خلال ثلج ذي سمك متزايد، كما هو موضح في الشكل رقم (٣, ٦).



الشكل رقم (٣, ٦). التوصيل الحراري أثناء التجميد والتسييح.

• فرق درجات حرارة المنتج ومصدر الحرارة: يُحَدد هذا الفرق عادة بدرجة حرارة المصدر الخارجي. يمكن توفير فارق كبير في درجة الحرارة أثناء التجميد، ولكن عادة يصعب توفير درجة حرارة خارجية عالية من أجل التسييح؛ وذلك بسبب المشكلات الميكروبيولوجية (انظر أسفل).

• طبيعة وسط التسخين: يوصل وينقل الماء الحرارة بكفاءة أكبر من الهواء، ولكن في الوقت نفسه يسبب مشكلات صحية أكثر (انظر أسفل).

تكون الظروف البيئية مشجعة على النمو الميكروبي اثناء التسييح أكثر من تلك التي في حالة التجميد؛ وذلك للأسباب التالية:

• توافر الرطوبة والعناصر الغذائية للميكروبات في سطح اللحم بمجرد ما يبدأ التسييح؛ وإذا استخدم الماء للتسييح ، فقد يستخدم كوسط للنمو.

• كلما ارتفعت درجة الحرارة الخارجية، زادت سرعة النمو الميكروبي؛ وكلما انخفضت درجة حرارة التسييح كان أبطأ وزاد الوقت لصالح النمو الميكروبي؛ أفضل تسوية في هذه الحالة، هي استخدام الهواء على درجات ٥-٧°م (٤٠-٤٥°ف) ، والذي يتم تدويره برفق باستخدام مروحة.

توليد الحرارة داخل المنتج Generation of Heat With the Product

يكون التسييح بهذه الطريقة سريعاً ومن ثمَّ يتم تفادي معظم المشكلات الميكروبية.

• الميكروويف Microwave (التسخين بالتردد اللاسلكي Radio frequency heating): هذه الطريقة جيدة للوحدات ذات الحجم والشكل المنتظم. قد تكون هناك مشاكل تتمثل في زيادة التسخين أو التسييح(runaway thawing) لبعض أجزاء المنتج.

• التسخين بالكهربية الثنائية (Dielectric heating): هذه الطريقة أيضاً جيدة للوحدات ذات الشكل والحجم المنتظم.

وكل من هاتين الطريقتين تتطلبان أجهزة ومعدات مكلفة؛ لذا، فإنه يلزم إنتاج كبير لتبرير استخدامها.

إعادة التجميد Re-freezing

للأسباب الكثيرة المذكورة سابقاً، يجب اعتبار اللحم المسيح أو المسيح جزئياً، لحماً طازجاً ذي فترة صلاحية قبل أن يفسد بأيام قليلة. شريطة إدراك هذا الأمر والعمل له، فإن ذلك اللحم (المسيح أو المسيح جزئياً) يمكن تقنياً إعادة تجميده إذا تم ذلك بصورة

سليمة وصحيحة، ولكن عملياً، قد يكون من الصعب ضمان أن العملية بكاملها تمت بالصورة السليمة الصحيحة ولذلك لابد أن يؤخذ هذا في الاعتبار وتقصر فترة صلاحية المنتج النهائي.

فإن أسباب عدم اللجوء إلى إعادة التجميد تشمل الآتي:

- حقيقة أن الفساد قد بدأ فعلاً في مرحلة التسييح وبشكل واضح؛ وعند التسييح في المرحلة الثانية، فإن فترة الصلاحية (التخزين) في ذلك الحين، ستكون أقصر.
- إذا لم تتم إعادة التجميد بالصورة السليمة في مجمدات الدفع الهوائي ومجمدات الألواح... الخ، فستضيف عبئاً على أجهزة التبريد والتجميد التي لم تصمم لهذه العملية.

obeikandl.com