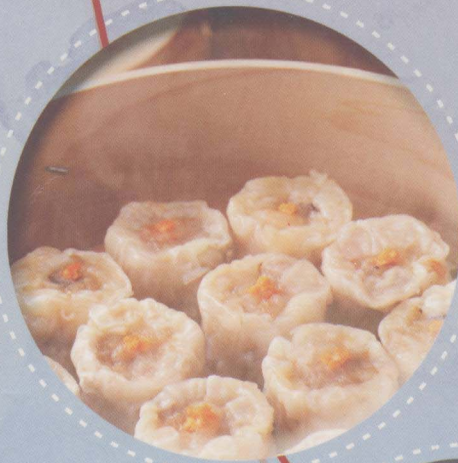


BOOK
FU-WEN
食品用書

冷凍食品學

frozen food

鄭清和 編著

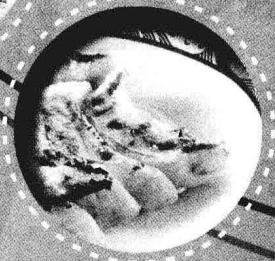
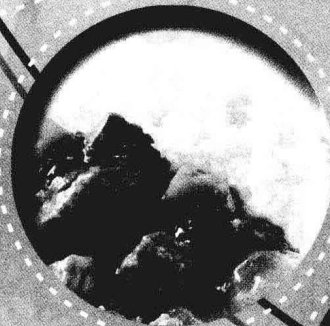


BOOK
FU-WEN
食品用書

冷凍食品學

frozen food

鄭清和 編著



國家圖書館出版品預行編目資料

冷凍食品學 / 鄭清和 編著 — 初版. —

臺南市：復文圖書，2009.07

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-6368-04-2 (平裝)

1. 冷凍食品 2. 食品加工

463.1325

98012584

冷凍食品學

鄭清和 編著



發行人 / 吳佳勳 出版社 / 復文圖書有限公司 地址 / 台南市林森路二段63號

E-mail / fuhwen.book@msa.hinet.net

劃撥帳號 / 31561190 戶名 / 復文圖書有限公司

電話 / 06-3132755.3135219.2370003

傳真 / 06-3134544.2386937

香港經銷處 / 精美圖書有限公司

地址 / 香港柴灣永泰道50號港利中心802室

電話 / 2964-0238

傳真 / 2549-7223

出版日期 / 二〇〇九年八月初版發行

基價 / 6.20元

書號 / ARCX209

FU WEN BOOKS CO., LTD.

#63, Lin-Sen Road, Sec. 2, Tainan 70142 TAIWAN

版權所有 · 翻印必究

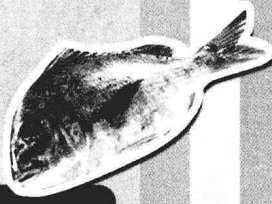


編輯大意

- 一、本書係依照 98 課綱**食品群**校訂參考科目《**冷凍食品學**》之教材大綱編撰而成。
- 二、本書供食品群之食品加工科、水產食品科、食品科於第三學年第一學期，每週三小時，3 學分教學用。
- 三、各章之〈**教學參考節數**〉為教材大綱所列之分配節數，講師可依實際教學狀況酌情修正之。
- 四、本課程期望達到下列教學目標：
 1. 認識冷凍、冷藏之原理與應用。
 2. 瞭解冷凍及冷藏設備裝置之構成。
 3. 瞭解各類冷凍及冷藏食品之加工方法。
 4. 認識目前國際與國內相關食品各種品保認證制度。
- 五、由於《**冷凍食品學**》屬專業課程，重實務，教學過程中如能配合冷凍食品業之參觀，將可讓學生有更具體、更深刻的認識。
- 六、本書引用先進名流大作之處頗多，並參考有關資料、文獻、期刊，在此特申表崇高謝意。在編撰過程中，雖力求完善，但因食品冷藏與冷凍之範圍深且廣，難免有疏漏和不妥之處，尚祈學者、專家、老師等賢達，不吝匡正是禱。



目錄



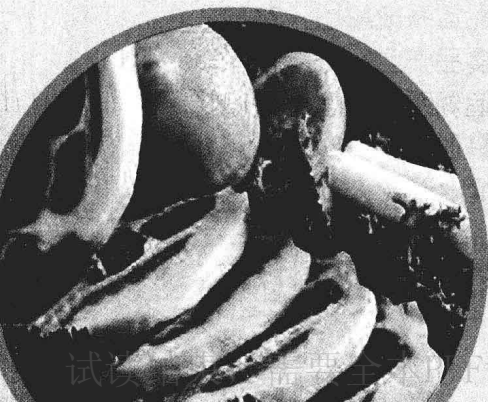
contents

1 冷凍、冷藏原理

- 1-1 低溫之形成 2
 - 低溫加工概說 2
 - 低溫之形成 4
- 1-2 相變化與冷凍曲線、冰晶生成 7
 - 相變化 7
 - 冷凍曲線 9
 - 冰晶生成 10
- 1-3 冷凍負荷計算 12
 - 冷凍過程所移除的熱 12
 - 冷凍負荷的計算 12
- 自我實力評量 1 15

2 機械式冷凍循環

- 2-1 基本裝置與附屬裝置 24
 - 冷凍循環系統的分類與原理 24
 - 機械式冷凍循環的基本裝置與附屬裝置 27
- 2-2 冷媒特性與選擇 31
 - 冷媒的特性 31
 - 冷媒的選擇 32
- 2-3 各式凍結裝置 38
 - 食品凍結的方法 38
 - 各式凍結裝置 39
- 自我實力評量 2 45

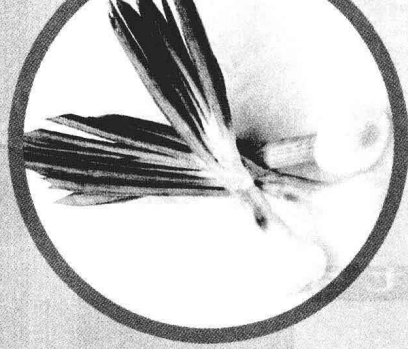


3 冷凍食品品質變化與檢查

- 3-1 酵素、微生物與低溫之關係 58
 - 酵素與低溫的關係 58
 - 微生物與低溫的關係 62
- 3-2 凍結速率與冰晶之品質變化 67
 - 凍結速率 67
 - 冰晶的形成與成長 68
 - 冰晶對冷凍食品品質的影響 69
- 3-3 冷凍鏈(cold chain)與 T.T.T. 71
 - 冷凍鏈(cold chain) 71
 - T.T.T.之計算 74
- 3-4 衛生檢驗(微生物、鮮度、添加物) 77
 - 微生物的檢驗 77
 - 鮮度的檢驗 80
 - 添加物的檢驗 85
- 自我實力評量 3 87

4 農產品冷凍(冷藏)食品

- 4-1 生鮮蔬果之呼吸作用 104
 - 低溫貯藏蔬果的原理 104
 - 呼吸作用與低溫的關係 104
- 4-2 蔬果冷凍(冷藏)的前處理 106
 - 蔬果冷藏的前處理 106
 - 蔬果冷凍的前處理 107
- 4-3 蔬果冷凍(冷藏)食品各論 110
 - 蔬果冷藏各論 110
 - 蔬果冷凍各論 113
- 自我實力評量 4 116



5 畜產冷凍(冷藏)食品

- 5-1 動物體死後生化變化 126
- 動物被宰後的變化 126
 - 死後僵直中的肉不適宜加工 126
 - 肉類顏色之變化 127
- 5-2 屠宰、檢疫與前處理(放血、預冷) 128
- 畜肉的屠宰、檢疫與前處理(放血、預冷) 128
 - 禽肉的屠宰與前處理(放血、預冷) 130
- 5-3 畜產冷凍(冷藏)食品各論 131
- 肉類冷凍(冷藏)食品 131
 - 乳類冷凍(冷藏)食品 133
 - 蛋類冷凍(冷藏)食品 139
- 自我實力評量 5 141

6 水產冷凍(冷藏)食品

- 6-1 鮮度之維持 154
- 鮮度維持的意義 154
 - 鮮度維持的做法 155
- 6-2 水產冷凍(冷藏)食品的前處理與後處理 159
- 水產物冷凍(冷藏)的前處理 159
 - 水產物冷凍(冷藏)的後處理 162
- 6-3 水產冷凍(冷藏)食品各論 164
- 水產冷藏食品的加工 164
 - 水產冷凍食品的加工 166
- 自我實力評量 6 171

7 調理冷凍(冷藏)食品

- 7-1 調理冷凍食品之商業市場趨勢 182
- 認識調理食品 182
 - 調理冷凍食品之未來發展 184
- 7-2 調理作業之衛生管理 187
- 調理設備與器具的衛生管理 187
 - 調理從業人員的衛生管理 191
- 7-3 調理冷凍(冷藏)食品各論 200
- 調理冷凍(冷藏)果蔬製品 200
 - 調理冷凍(冷藏)肉製品 202
 - 調理冷凍(冷藏)水產品 204
- 自我實力評量 7 207

8 冷凍(冷藏)食品 品保認證制度

- 8-1 品保認證制度之重要 218
- 冷凍食品業與品質保證 218
 - 冷凍食品業品保認證制度的重要 223
- 8-2 認識各種品保標章 227
- 優良作業規範標章 227
 - 品質系統驗證 231
 - 食品安全系統驗證 235
 - 追溯系統驗證 241
 - 其他驗證 245
- 自我實力評量 8 246

1

章

冷凍、冷藏原理

1-1 低溫之形成

1-2 相變化與冷凍曲線、冰晶生成

1-3 冷凍負荷計算



1-1

低溫之形成

一 ◆ 低溫加工概說

(一) 低溫加工的歷史

1. 人類最早是把食物置於冬天的窗外檯上及地窖、地洞或地下室等溫度較低處。
2. 1875年利用氨做冷媒之冷凍機被發明，但缺乏適當設備而無法推廣。冷凍肉品最早在1877年以 -10°C 保存，由澳洲船運至法國。
3. 1920年以前，都是到市場買冷凍食品，但回家時冷凍食品也解凍了，或在家解凍後品質變得相當不好。
4. 1929年左右，Clarence Birdseye 公司研發快速冷凍加工及設備，同時也研究冷凍食品及其包裝，加以家庭用冰箱、冰櫃普遍化之後，現代的冷凍食品工業即快速地成長。

(二) 低溫加工的方式


使食品冷卻至常溫以下的操作，稱為低溫加工。依溫度範圍來區分，低溫加工可分為下列方式：

1. 地窖貯藏

所使用的溫度不低於外界氣溫，少有低於 15°C 者，稱為地窖貯藏 (cellar storage)。在冰箱不普及的國家，對於根類食物、馬鈴薯、甘藍、芹菜、蘋果和類似的食物，利用此法，可於限定時間內貯藏。又稱普通貯藏 (common storage)。

2. 冷溫貯藏

所使用的溫度約 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 者，稱為冷溫貯藏，適用於蔬果貯藏，如南瓜、馬鈴薯等。香蕉之最好貯藏溫度為 $13.3\sim 16.7^{\circ}\text{C}$ 。



3. 冷卻貯藏

使用在凍結點以上， 10°C 以下的溫度進行貯藏，稱為冷卻貯藏，一般為 5°C 或 7°C 。即一般所稱之冷藏（cold storage）。通常在 5°C 以下，可抑制大部分食物中毒菌的生長。

4. 冰貯藏

利用碎冰冷藏食品，稱為冰貯藏，一般稱為冰藏法。可再分為碎冰法（dry icing）與冰水法（wet icing）。碎冰法係利用碎冰與食品接觸，又稱撒冰藏法；在清水或海水中加入碎冰，或是將食品冷卻後，再將產品與碎冰一同放入，進行浸漬冷藏，稱為冰水法，又稱水冰藏法。

5. 冰溫貯藏

在 $-2\sim 2^{\circ}\text{C}$ 溫度範圍內進行貯藏，稱為冰溫貯藏（chilld storage），一般用來保藏易腐敗的肉、魚貝類、果汁、乳品及蛋類等。冰溫貯藏之食品不必經解凍即可處理。在 $-1\sim -5^{\circ}\text{C}$ 時，微生物的生長幾乎被抑制。

6. 凍結貯藏

在 -18°C 以下的溫度進行貯藏，稱為凍結貯藏（frozen storage），亦即一般所稱之冷凍。由於 -10°C 為微生物生長抑制界限溫度，因此 -18°C 以下，幾乎可以抑制所有微生物的生長。

上述各種方式，以冷卻貯藏（冷藏）與凍結貯藏（冷凍）使用最廣泛。以低溫處理之食品，一般分為冷藏（或冷卻）食品（ $0\sim 15^{\circ}\text{C}$ ）與凍結食品（ $-10\sim -30^{\circ}\text{C}$ ）。

(三) 低溫加工之改進建議

低溫並不能完全破壞微生物，所以，當食物解凍後，微生物仍會快速的恢復活性而生長繁殖，因此要注意下列事項：

1. 最好從食品採收或屠宰後馬上開始進行低溫處理。如田間採收使

- 用冷藏車，將含有食鹽之冰水噴灑在蔬果表面，以抑制微生物。
2. 低溫處理前最好能施行前處理，如包裝、包冰衣等。
 3. 低溫處理中，可配合加抗氧化劑、紫外線照射、控制空氣組成…等處理。
 4. 包裝應完整，且在運輸、倉貯、販售及貯存期間均能維持在低溫進行，此稱為冷凍鏈（cold chain），亦稱低溫食品連鎖運銷。
〔請參閱第 3 章第 3-3 節〕

四 低溫加工的優點與未來發展趨勢

1. 低溫加工的優點：低溫加工具有如下優點：
 - (1) 能保持近乎天然或調製時之原有風味。
 - (2) 不受季節之限制。
 - (3) 不受地區之限制。
 - (4) 調製食用者可以保持原狀，取用方便。
 - (5) 不用防腐劑。
2. 未來發展趨勢：低溫加工是最能保持食品品質的方法，未來發展不可限量，其發展趨勢如下：
 - (1) 用於方便食品（如調理食品）之製造。
 - (2) 利用凍結以行脫水，如豆腐之乾燥、洋菜之製成。
 - (3) 用於提高工作效率，如製造麵包之冷凍麵糰。
 - (4) 與其他加工方式結合，如各種食品的冷凍乾燥、果汁及醋之凍結濃縮。
 - (5) 降低加工成本。

二 ◆ 低溫之形成

（一）食品冷藏的基本原理

1. 將食品置於低溫而有保存效果，其原理係因低溫可以：

- (1) 抑制食品中大部分微生物的生長繁殖。
 - (2) 延緩食品中酵素的活性。
 - (3) 緩和食品之化學反應，如脂質氧化、梅納反應……等。
2. 溫度上升，則反應速率加快，食品品質劣變速度加速。
- (1) 在適當範圍內，溫度每升高 10°C ，則反應速率提高 2 倍。
 - (2) 溫度每升高 10°C ，其反應速率提高之倍數稱為溫度係數 (temperature coefficient)，簡稱為 Q_{10} 。大多數菌體之 Q_{10} 為 $1.5\sim 2.5$ 。假設絕對溫度 T_1 、 T_2 之反應速率常數分別為 K_1 、 K_2 ， Q_{10} 之計算如下：

$$Q_{10} = \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}}$$

(3) 因此，降低溫度，可使品質變化之反應速率降低，達到保存目的。

3. 食品冷藏的溫度範圍：冷藏食品之溫度範圍約 $0\sim 15^{\circ}\text{C}$ 。在此條件下，大部分微生物的活性降低，食品可貯藏數天到數週。

(二) 食品冷凍的基本原理

冷凍之所以能保存食品較長時間，其原因如下：

1. 使微生物體內水分凍結，致使其細胞或酵素無法利用水分。
2. 細胞物質因形成冰晶，造成黏度增加，流動性減少，致水活性降低，可抑制微生物生長。
3. 使部分細胞的蛋白質產生變性；如在冷凍時硫氫基 ($-\text{SH}$) 會自脂蛋白中分離出來。
4. 使微生物體內氣體流失，影響嗜氧性微生物的呼吸作用。
5. 因微生物體內水分形成結晶，造成電解質濃度增加，或酸鹼性物質因累積而導致 pH 值改變，影響微生物之生長。
6. 使微生物的細胞質形成膠質態 (colloidal state) 的改變。

冷凍食品被規定以 -18°C 以下的溫度來冷凍、運輸、貯藏及販

賣，所採的理由如下：

1. 微生物方面：病原菌於 3.3°C 以下、腐敗菌於 -9.5°C 以下無法生存，因此， -18°C 足夠安全。
2. 酵素反應方面： -7.3°C 酵素仍有反應； -9.5°C 仍有未凍結的水，酵素仍能活動， -18°C 足夠抑制大多數食品中的酵素。〔若要完全抑制酵素，最好先經殺菁處理〕
3. 非酵素性化學變化方面： -18°C 仍無法完全停止反應，但其反應速率下降，且因結凍之濃縮效應，可減少其發生機率。
4. 食品組織結構方面： -18°C 時，結冰量大於 80%，不會再有因冰結晶生長而破壞食品組織結構的現象。
5. 成本方面：比 -18°C 更低溫的效果會更好，但成本相對提高，且有些冷凍設備無法降至 -18°C 或以下。

冷凍食品之溫度範圍在 -18°C 以下。一般在 -10°C 以下幾乎已無微生物生長，因此，冷凍食品可貯藏長達數月至數年。

(三) 低溫形成的方法

低溫的形成，主要是利用物體形態變化時之吸熱作用。得到低溫的方法如下：

1. 利用蒸發熱：使用易於蒸發的液體，如液態氮在大氣壓下蒸發時，可達 -196°C 。
2. 利用熔解熱：使用冰。
3. 利用昇華熱：使用乾冰在大氣壓下昇華時，可達 -78.9°C 。
4. 利用高壓氣體膨脹。
5. 利用拍帖耳效應 (Peltier effect)。

上述方法中，方便且經濟者，係利用機械作用，使用易於蒸發的液體，蒸發膨脹而吸收被冷凍物之熱以進行冷凍。該法所使用的設備稱為冷凍機 (refrigerating machine)，而易於蒸發的液體，則稱為冷媒 (refrigerant)。〔請參閱第 2 章第 2-1 節、第 2-2 節〕

1-2

相變化與冷凍曲線、冰晶生成



一 ◆ 相變化

(一) 凍結點、共晶點及凍結率

食品中水分開始結成冰晶的溫度，稱為凍結點（freezing point），亦稱冷凍點；大部分食品的凍結點約在 $-1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 之間。

當食品之溫度達其凍結點時，由於水分被凍結而析出，體液中的溶質（如食鹽、糖、礦物質、蛋白質……等）濃度增加，致凍結點因而下降。

食品因種類及其性狀之不同，凍結點亦不同；即使同一種食品，亦會因鮮度及熟度之不同，其初冰點（initial freezing point）亦稍有不同，同時達到完全凍結所需時間也不一樣。

食品中水分凍結終了時之溫度，稱為共晶點（eutectic point）；食品的共晶點約為 $-50\sim -60^{\circ}\text{C}$ 。亦即食品體液中之水分在凍結點時，僅有 0 % 凍結；在共晶點時，則 100 % 凍結。

介於凍結點與共晶點間之溫度，食品內部水分之凍結比率，稱為凍結率（freezing ratio）。凍結率之近似值，可以下列表示之：

$$\text{凍結率 (\%)} = \left[1 - \frac{\text{食品之凍結點 } (^{\circ}\text{C})}{\text{凍結食品之溫度 } (^{\circ}\text{C})} \right] \times 100$$

凍結率是以 % 表示之。如某食品之凍結點為 -1.5°C ，而於冷藏將溫度降至 -10°C 時，則其凍結率為 85 %。計算如下：

$$\text{凍結率 (\%)} = \left[1 - \frac{-1.5}{-10} \right] \times 100 = 85 \%$$

(二) 食品凍結之三相

食品被冷卻或凍結時，其溫度之降低是由表面開始，逐漸向中心部移動，此時，食品內部任意點之溫度均不相等，且愈向中心部，其溫度愈高，此種溫度的分布情形，稱為溫度傾斜 (temperature gradient)。食品凍結時，其品溫下降與經過時間之關係，如圖 1-1，共分為三相。

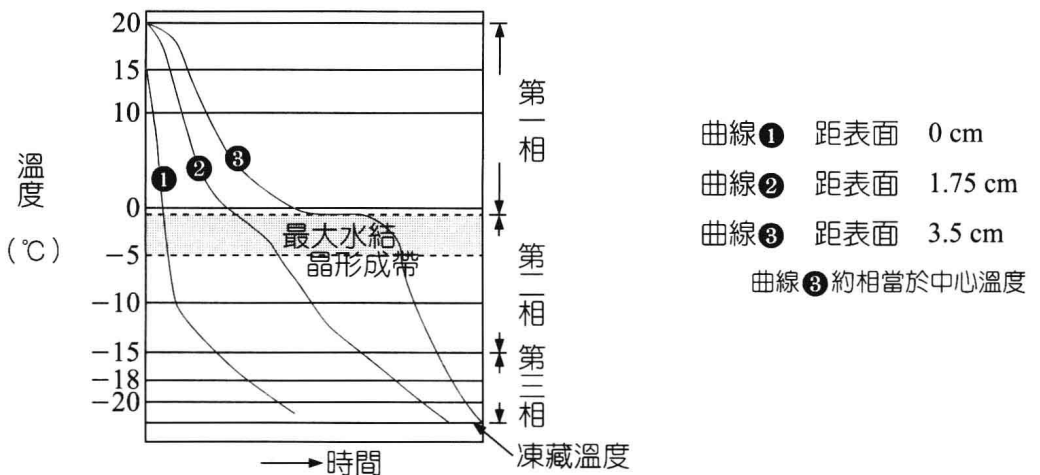


圖 1-1 食品凍結之三相

由食品初溫至凍結點，亦即冷卻狀態的部分，是為第一相。在這段範圍內，其品溫尚未達凍結點，微生物及酵素之作用尚未受到抑制，通過時間若過長，易致腐敗、變質，不利於食品之品質，因此，食品冷凍業者常於凍結前先預冷，或使食品個體及包裝單位不要過大，藉減少通過第一相之時間，以確保被冷凍食品之品質。

自食品之凍結點開始至 -15°C 之範圍，亦即食品之凍結進行期間，是為第二相。含水率較高的食品，於此範圍之凍結率將達 80~90%，雖已呈凍結狀態，但為確保食品之細胞不為冰結晶所破壞，且在此溫度尚有部分微生物之活動未被抑制，應儘速通過此相，以保持食品之良好冰結晶狀態。

食品品溫自 -15°C 降至凍藏溫度 (-20°C 或 -30°C) 之期間，是為第三相。由於氧化酵素、脂肪分解酵素在 -15°C 以下仍具有活性，故應儘速降至 -20°C 以下。

二 ◆ 冷凍曲線

(一) 冷凍曲線

食品被冷卻或凍結時，若以溫度為縱軸，時間為橫軸，則食品內部之某定點，取其時間與溫度之關係點，可得一連續曲線，此曲線稱為冷凍曲線 (refrigerating curve)。如圖 1-2。

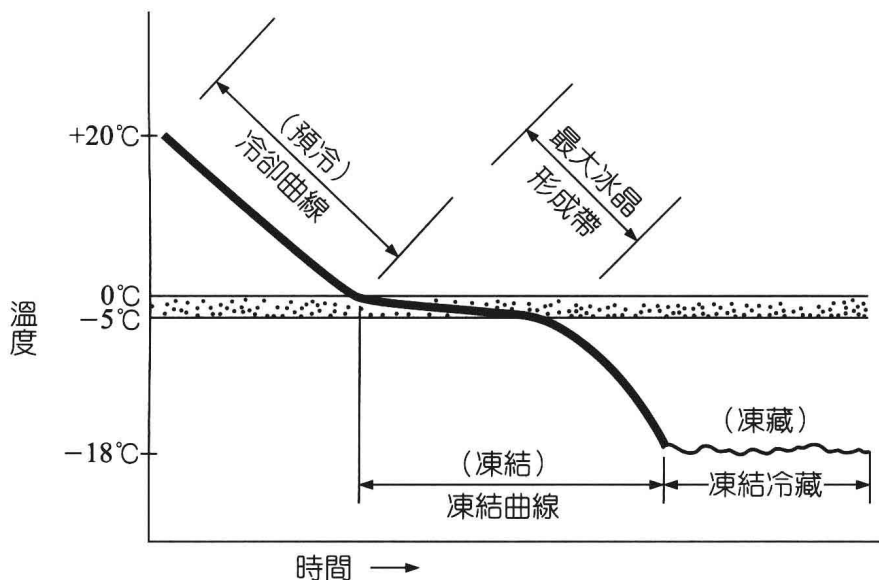


圖 1-2 冷凍曲線

冷凍曲線中，凍結點以上的部分，即為食品被冷卻部分，稱為冷卻曲線；凍結點以下之凍結狀態的部分，稱為凍結曲線。

食品凍結時，因迅速降溫而低於凍結點，但尚未結冰，此種現象稱為過冷 (supercooling)，該點之溫度稱為過冷點。

(二) 最大冰晶形成帶

食品凍結時，冰結晶形成最多之溫度範圍稱為最大冰晶形成帶 (zone of maximum ice crystal formation)，屬於食品凍結之第二相。一般食品通常都以 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ 為最大冰晶形成帶。如圖 1-2。

在最大冰晶形成帶時，機械損傷最大，食品若在此溫度範圍之時間太長，則品質不易維持；肌凝蛋白 (myosin) 之凍結變性帶為 $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$ 附近，因而最大冰晶形成帶易引起肌凝蛋白質之變性；糊化澱粉之老化溫度帶為 $1\sim-1^{\circ}\text{C}$ ，故在最大冰晶形成帶時，糊化澱粉易老化。

三 ◆ 冰晶生成

(一) 冰晶生成的原因

凍結食品時，其內部發生水結晶的現象，稱為冰晶 (ice crystal)。凍結時，食品中的水分先生成結晶核，以此為核心，水及水汽附著而形成冰結晶。

最初形成冰晶的是食品中濃度最低、溫度下降最快而沒有過冷卻現象發生的部位，當食品凍結時，表面溫度下降最快，冰晶於是由食品表面開始形成，然後漸漸擴及到內部。曾有實驗將 $30\times 12\times 9\text{ cm}$ 的圓筒形魚肉在不同的鹽水溫度進行凍結，結果發現冰晶留下的孔跡隨凍結溫度之下降而變小；另，發現在同一凍結溫度時，愈靠近魚肉表面，冰晶所留下的孔跡愈小。

(二) 冰晶的大小、數目與分布

冰晶的形狀受食品內部組織構造的影響，有針狀、板狀、棒狀及各種不規則形狀，其橫斷面之最大直徑有小至 10μ 者，大至 $500\sim 800\mu$ 亦有之。

在凍結過程中，通過最大冰晶形成帶的時間愈短，冰晶的形態小、數目多，且分布均勻；反之，形態大、數目少，且分布不均勻。

(三) 冰晶的位置

冰晶通常先生成於細胞外的體液中，然後細胞內隨之生成。當凍結速度慢時，冰晶在細胞外生成後，細胞內之未結冰的水分，則通過細胞膜而在細胞外形成大的冰晶；但若凍結速度很快，則可在細胞內形成無數的且很小的冰晶。

食品種類亦會影響冰晶之生成，如死後僵直前的魚肉凍結時，會在細胞內形成多數的冰晶；但死後僵直後的魚肉，則冰晶大部分形成在細胞外。

(四) 冰晶的成長

冰晶於凍結時生成，於凍結直後、凍藏中，其冰晶之狀態會隨環境之變化而改變。

冷凍食品在貯藏時，小形冰晶漸漸消失，形成大形冰晶，稱為冰晶成長（ice crystal growth）。當貯藏時間長時，通常會有冰晶增大、數目減少的現象，亦即大結晶會吸收小結晶而長大。

冰晶的成長對食品的品質有不利之影響，應於凍藏中防止之。

〔請參閱第 3 章第 3-2 節〕