

食品冷凍工程學

下 冊

江 善 宗 著

國立編譯館主編
大中國圖書公司印行

食品冷凍工程學

下 冊

著 者 江 善 宗
主編者 國立編譯館

大中國圖書公司印行

版權所有
翻印必究

食品冷凍工程學(下)

著者：江 善 宗
著作權：國 立 編 譯 館
所有人：薛 永 成
發行人：薛 永 成
出版者：大 中 國 圖 書 公 司
印刷者：大 中 國 圖 書 公 司

台北市重慶南路一段66號
電 話：3 3 1 1 4 3 3
郵政劃撥：0002619-7號

登記證：局版台業字第0653號

中華民國七十八年六月初版

基本定價：九元

序 言

食品保藏方法很多，但大都須改變其外觀以及特性方能達到保藏的目的，例如乾燥食品、罐藏食品等，但隨着社會的安定繁榮，生活水準的提高，人類對『食』的要求亦隨之提昇，亦即除了保藏外，尚要求外觀、組織、色澤等特性儘量接近貯藏前之狀態，而以目前之保藏方法中，只有冷凍貯藏能達到該項要求。瞻望未來，食品冷凍工業之發展，除滿足需求外，更應注重品質之提昇、技術之改進以及能源的節省，因此，爲奠定良好基礎，基本的食品冷凍工程教材之編寫實爲當務之急。

本書乃參考歐美日之相關教科書，依我國大專院校食品相關科系之程度，加上擔任本課程之教學經驗加以編著而成。本書分三大部分，第一部分主要介紹冷凍之基本概念、冷凍熱力學、冷凍機械之原理、冷凍機械有關之計算、冷凍機之種類及維護等；第二部分則介紹食品之特性、食品冷凍之基本知識、食品冷凍工程及各個階段之條件對冷凍食品品質之影響等；第三部分主要介紹空氣調節的基本知識及其應用。惟在編輯、排印及校對過程中，雖已盡力，然遺漏及錯誤之處在所難免，尚祈先進賜予指教，俾能遵循更正。

江 善 宗 謹識
於國立臺灣海洋大學

第二部份 食品冷凍

目 錄

第 1 章 食品冷凍的概念

1-1	食品冷凍的基礎事項	1
1-2	食品冷凍的目的	4
1-3	低溫流通機構	6
1-4	低溫流通機構與冷凍食品	11
1-5	低溫流通機構與冷凍食品	11
1-6	低溫貯藏食品的原理	12

第 2 章 食品冷凍之熱學及設備

2-1	熱的移動	17
2-2	食品內部之熱移動及其產生之溫度變化	22
2-3	平板狀食品的冷卻	25
2-4	食品的凍結	29
2-5	平板狀食品的凍結時間	32
2-6	圓柱狀食品與球狀食品的凍結時間	36
2-7	冷卻條件及食品冷卻尺寸與凍結時間之關係	38

2-8	食品表面與冷却媒體間之傳熱爲熱通過（熱貫流） 的情形	39
2-9	冷凍設備	40
2-10	空氣調節機	81
2-11	冷凍設備的計算	85
2-12	冷藏庫之防熱	123
2-13	冷藏庫之絕緣壁	130
2-14	冷藏庫之配管比	151
2-15	冷藏及凍藏庫之防熱門之構造	154
2-16	冷藏及凍藏庫之冷凍負荷及其計算	156
2-17	清水和食品凍結所致體積的膨脹	172
2-18	清水與食品凍結導致的內壓	177
2-19	清水與食品凍結時所需淨冷量與時間	183

第 3 章 水產物之冷藏與凍藏

3-1	冷藏與凍藏	215
3-2	水產物的冷藏與凍藏的一般作業工程	216
3-3	水產物的冷藏與凍藏	217
3-4	各論	271

第 4 章 農產品的冷藏與凍結

4-1	農產品的冷藏	295
4-2	農產物的冷凍	314

第 5 章 畜產物的冷凍

5-1	食肉類	353
5-2	家禽類	372

5-3	冷却及凍結貯藏所造成的品質變化	379
-----	-----------------------	-----

第 6 章 冷凍食品的生產

6-1	冷凍食品的生產	381
6-2	冷凍食品之製造工程	382
6-3	衛生管理	387
6-4	排水處理	390
6-5	冷凍食品的流通	394
6-6	冷凍食品的解凍	395

第三部份 空氣調節

目 錄

第 1 章 濕空氣

1-1	比重量與相對濕度	401
1-2	絕對濕度與飽和度	405
1-3	比體積及焓	407

第 2 章 空氣中水的蒸發與水蒸氣的凝結

2-1	水的蒸發	409
2-2	水蒸氣的凝結	420

第 3 章 空氣調節的計算

3-1	專門術語及濕空氣的混合	425
3-2	空氣負荷的計算	430
3-3	濕空氣線圖的使用	452

第 4 章 空氣調節設備

4-1	空氣調節的種類	473
-----	---------------	-----

4-2	中央系統	474
4-3	中央系統空調器所使用之機器	485
4-4	熱泵	513
4-5	個別系統之空調設備	537
4-6	自動調整	545
4-7	空調的設計	555

第 5 章 風 管

5-1	空氣的流動	567
5-2	風管的阻力	569
5-3	風管的設計	578
5-4	風管的材料及構造	588

第 6 章 送風機

6-1	送風機規格名辭解釋	597
6-2	送風機所產生之全壓力差	599
6-3	送風機的種類	600
6-4	送風機計算之法則	602
6-5	送風機之性能	607
6-6	送風機之轉動與組合	601
6-7	送風機之選擇	611
6-8	送風機之安裝	613

附 錄

附錄一	氨 (R 717) 飽和蒸氣表	617
附錄二	R 12 飽和蒸氣表	620
附錄三	R 22 飽和蒸氣表	624
附錄四	R 502 之飽和蒸氣表	626
附錄五	R 502 之莫利歐圖	629
附錄六	乙二醇水溶液之凍結及沸騰點	630
附錄七	氨 (R 717) 之莫利歐	631
附錄八	R-12 之莫利歐線圖	633
附錄九	R 503 之莫利歐線圖	635
附錄十	R-22 之莫利歐線圖	636
附錄十一	濕空氣線圖 (760 mmHg)	637
附錄十二	主要參考	639

第 1 章

食品冷凍的概念

1-1 食品冷凍的基礎事項

一、食品冷凍的意義：

冷凍 (Refrigeration) 一詞，它包含着冷卻 (Cooling) 及凍結 (freezing)，因此食品冷凍工程含有食品冷卻及食品凍結兩工程，但在該種情形下的“冷卻”係指將食品品溫降至常溫以下而言。如果將食品的品溫降至常溫或凍結點 (Freezing point) 以下，則必須由食品中取去熱能。當品溫降至凍結點以下時，不僅是食品品溫下降，而且食品內部水分會出現凍結現象，由此可知，食品冷凍乃是在一般的常溫之下，由食品中取去熱能。

二、食品的焓 (Enthalpy)：

食品的熱學的狀態一般以焓來表示。食品的焓乃表示在該種狀態下，食品內部所含有的熱能，一般以 kcal/kg 單位來表示。因此食品冷凍的過程即是將食品中之熱能取去，亦即使食品的焓減少。在食

品之冷藏或凍結貯藏中，食品品溫的上昇或下降，即意味着食品內部焓的增加或減少。該種食品溫度的上昇或下降在食品冷凍工程中爲一重要的問題，因此亦併列於食品冷凍工程來討論。由此可知，關於常溫以下食品內部焓的變化應納入食品冷凍的範圍來處理。有關凍結食品的解凍亦包括在內。

三、冷凍工程中之感熱（Sensible heat）與潛熱（Latent heat）：

食品中焓的變化僅表現於品溫的上昇或下降者。其所得失的熱量稱之爲感熱。但是當焓的變化僅表現於狀態的變化時，其所得失的熱稱之爲“潛熱”。因此，食品在冷却的過程中，僅是感熱的變化而已，但是在凍結的過程中則隨着食品品溫的下降，食品的感熱與潛熱均隨之減少。

四、冷却媒體：

在食品冷凍過程中，將食品熱量取去使其溫度下降者爲較低溫度之冷却媒體，冷却媒體的種類甚多。例如空氣…等氣態媒體，Brine…等不凍液冷却媒體均利用溫度差而由食品取得熱，轉變爲冷却媒體之感熱使本身之溫度上升。又如氨之冷媒液體，直接與食品接觸之接觸式凍結（Contact freezing），該類冷却媒體爲將食品之熱取去轉變爲本身之蒸發潛熱，使食品溫度下降，但是冷却媒體由液態轉變爲氣態而本身溫度不變。

五、凍結食品（Frozen foods）：

當食品中大部分水分均結冰時，該食品即呈凍結狀態，但是作爲商品而在市場上運銷之凍結食品不僅是呈凍結狀態，而且須以儘可能不使食品產生物理、生化學及微生物的惡變化，且能保持食品的健全性及品質之凍結、凍藏方法來實施凍結凍藏者。又在凍結食品中使用之急速凍結或是保溫凍結，一般是指下述條件下凍結凍藏者。亦即使品溫迅速通過最大冰晶生成帶（一般食品爲 $0^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ ），食品品

溫達 -18°C 止實施凍結，並繼續使品溫維持在 -18°C 以下，儘可能避免溫度變動的發生。

六、最大冰晶生成帶 (Zone of maximum crystallization)：

當含有多量水分之生鮮食品的品溫降至凍結點以下時，則在食品中的水分開始凍結而形成冰晶。〔將食品冷却使其品溫下降，當食品內部水分開始凍結而產生冰晶時之溫度點稱之為該食品之凍結點 (Freezing point)〕。設食品之凍結點溫度為 $t_f^{\circ}\text{C}$ ，而該食品在 $t_f^{\circ}\text{C}$ 以下之溫度 $t^{\circ}\text{C}$ ，則其產生冰晶的比率概為 $RF = 1 - t_f/t$ ，一般食品的凍結點約在 -1°C 左右，設食品溫度降至 -5°C 時則 $RF = 80\%$ 左右，亦即在這個溫度帶 ($-1^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$) 中，食品內部水分將有80%結冰而形成凍結狀態，因此該溫度帶被稱為最大冰晶生成帶。

七、急速凍結 (Quick freezing)：

將食品冷却，其中心溫度由 -1°C 至 -5°C ，亦即通過最大冰晶生成帶所須的時間在30分鐘以內者，稱之為急速凍結。近年來亦有以凍結冰晶前線由表面向內部進行的速度來表示。該進行速度在某種程度以上時稱之為急速凍結，以魚類而言，凍結前線進行的速度在 $0.6 \sim 4.0 \text{ cm/h}$ 之間者均被視為急速凍結。

八、深溫凍結 (Deep freezing)：

為顧及凍結食品的品質，食品之品溫須降至 -18°C 以下止實施凍結，因此將食品品溫降至 -18°C 以下所實施之凍結稱之為深溫凍結。

九、溫度中心點 (Thermal center)：

食品由外部冷却凍結時，表面的溫度很快速地下降，然後由於食品的熱傳導而向內部移動，其溫度之分佈則為以內部某一點為頂點之曲線。該溫度下降或凍結的進行最慢的一點，稱之為溫度中心點。該溫度中心點與食品之幾何中心點並不一定相同。此乃因在實際凍結方

法中，食品表面之傳熱條件不盡相同，及食品的組織並非完全均質所致。

十、平衡品溫 (Equilibrium temperature or Average temperature) :

在凍結結束時食品內部之溫度分佈為以溫度中心點為頂點的曲線來表示，但是如將該食品置於斷熱之狀態下，則該食品內部的溫度逐漸地達到平衡而為相等的溫度，該溫度稱之為平衡品溫。

十一、凍結時間 (Freezing time) :

凍結時間有二種定義，一為有效凍結時間，另一為公稱凍結時間 (IIR 1972)，有效凍結時間 (Effective freezing time) 乃指將食品凍結時，食品之溫度中心點由初溫降至規定之凍結終溫所須的時間。一般被稱為凍結時間。而公稱凍結時間 (Nominal freezing time) 乃指將食品冷卻，當食品表面的溫度降至 0°C 時，食品之溫度中心點降至凍結點以下 10°C 止所須的時間。

十二、凍結速度 (Freezing rate) :

食品之凍結速度乃是以食品之表面與溫度中心點間最短的距離與公稱凍結時間的比來表示之。一般以 cm/h 為單位 (IIR 1972)。

十三、凍結食品之實用凍藏時間 (Practical storage life) :

極為優良品質之食品，亦即保有原來固有優良品質之食品經過凍結、凍藏，其品質則隨着時間增長而下降，最後不宜作為市場上消費或是再加工利用之原料時，所經過的時間稱之為實用凍藏時間。(IIR 1972)

1-2 食品冷凍的目的

食品冷凍的目的，一般而言可分為兩方面來討論：

- 一、以保持食品原來的品質及性狀為目的者 —— 食品貯藏用 (For food preservation) :

二、以改變食品之性狀爲目的者——食品加工者（For food processing）：

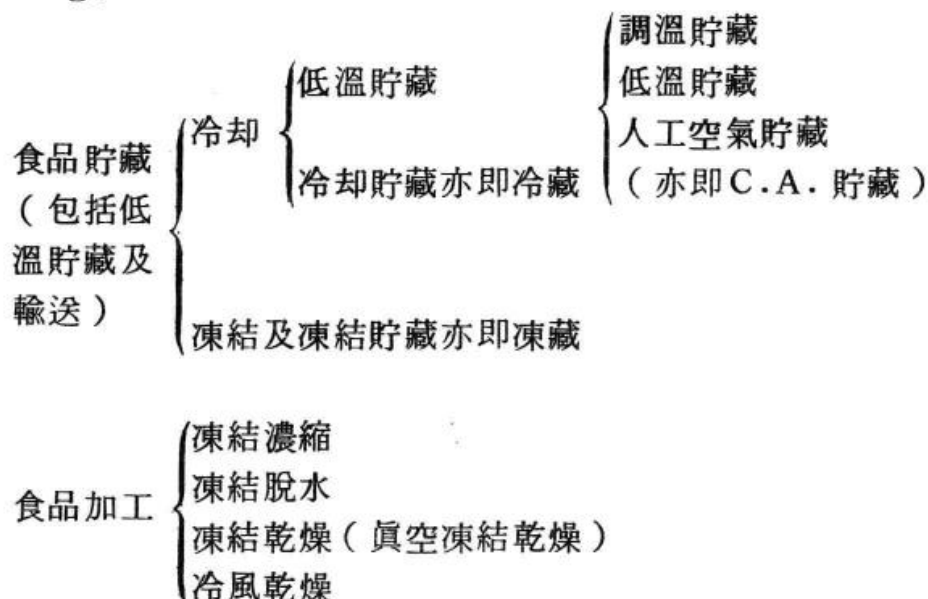


圖 1-1 食品的低溫利用

以上兩者，雖然目的不同，但均爲利用食品在低溫下所產生之種種現象及變化。食品之低溫利用不論是貯藏或加工均是食品本身被冷却或凍結。衆所周知，在大氣壓力之下，清水在 0°C 時開始凍結，而且在 0°C 凍結結束。但是因食品內部水分並非純水，而是溶有多種溶質之狀態，因此水分開始凍結的溫度稍低於 0°C ，該點稱之爲凍結點（Freezing point），但是結束凍結的溫度則低於 0°C 甚多。此點溫度稱之爲共晶點（Eutectic point），一般蔬果類、肉類、魚介類、果汁、乳製品、蛋類等之生鮮食品（Perishable foods）的凍結點爲 $-0.5 \sim -2.5^{\circ}\text{C}$ 之間，共晶點爲 -60°C 。在凍結點與共晶點之溫度帶，食品內部水分凍結的比率稱之爲凍結率（Ratio of freezing），凍結率可由下式而簡單地，近似的計算出。

$$\text{凍結率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{食品之凍結點}}{\text{當時食品之溫度}} \right) \times 100\%$$

在共晶點— 60°C 時的凍結率，一般均視為 100%

1-3 低溫流通機構

低溫流通機構乃是將生鮮食品從生產到消費之間保存在所規定的溫度下的流通機構。

1-3.1 時間 - 溫度 - 品質耐性 (Time - Temperature - Tolerance) (略為 T T T)

維持食品品質的時間隨着食品品溫不同而異。一般而言，冷却品或冷却食品的品溫愈接近所定的溫度，而冷凍品或冷凍食品的品溫愈低時，維持食品品質的時間愈長。各種食品的 T.T.T. 即表示此種時間—溫度—品質耐性的情形或在相同的品質之下，其貯藏溫度與時間的關係。

1-3.2 低溫流通機構所指定之三溫度 (品溫) 範圍

一、低溫貯藏 (Cold storage) :

溫度範圍為 $10 \sim 2^{\circ}\text{C}$ ，一般以貯藏生鮮之蔬菜、水果等之植物性食品為主。

二、冰溫貯藏 (Chilled storage or Ice storage) :

溫度範圍為 $2 \sim -2^{\circ}\text{C}$ ，主要貯藏對象食品為生鮮之畜產肉、魚介類、果汁、乳製品及蛋類等之食品。目前低溫貯藏及冰溫貯藏兩者均被合併稱之為冷藏 (Cold storage)。

三、凍結貯藏 (略稱為凍藏) (Frozen storage) :

溫度為 -18°C 以下，以長期貯藏為目的者，主要的對象食品為經凍結到品溫在 -18°C 以下之蔬果類、畜產肉類、魚介類、果汁、乳製品及蛋類等食品。

1-3.3 低溫流通機構的內容

生鮮食品在符合其 T.T.T. 所指定的溫度範圍，從生產地，中間運銷，消費地到消費者均須具備下列所示的低溫機構。

生產者的低溫保管。

從生產者到批發商的低溫輸送。

批發商的低溫保管。

從批發商到零售商的低溫輸送。

零售商的低溫保管與低溫銷售。

零售商到消費者的低溫輸送。

消費者的低溫保管。

1-3.4 低溫流通機構的合理化

如果以生鮮食品來運銷將會有下列之浪費：

一、因腐敗所致的浪費：

生鮮食品稱為 Perishable foods，在常溫下極易變質、腐敗，爲了減少該項浪費，須將該類食品保存在低溫下。亦即將常溫處理改爲低溫處理。

二、因不可食部份所致的浪費：

生鮮食品大都爲素材品狀態，附有不可食部份在整個運銷過程中，爲了降低該項的浪費，則須先在生產地實施前處理，包裝使規格化而成爲一種加工品，亦即將原來之素材品流通改爲加工品流通。

三、經過多層次人手所致之浪費：

生鮮食品由生產者到消費者之間，在市場中，有大批發商、中盤商、零售商等多層次地觀看實物而交易，增加手續上的繁困，亦無形中提高了價格。爲了減少此項浪費，則須減少中間交易。如果能將生鮮食品之品質或等級一定化，將檢查方式標準化做成一種規格食品，