

## 第八章食品之熱性質

### 第一節食品之熱量與溫度

#### 一、熱量與溫度

$$\frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) = ^{\circ}\text{C} \quad \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32 = ^{\circ}\text{F}$$

例如  $37^{\circ}\text{C} = 37 \times (9/5) + 32 = 98.6^{\circ}\text{F}$   
 $250^{\circ}\text{F} = (250 - 32) \times 5/9 = 121.1^{\circ}\text{C}$

熱量單位 Kcal(calorie)、BTU(British thermal unit)

1 Kcal=3.966 Btu      1 Btu=0.252 Kcal

1

#### 二、顯熱與潛熱

1公斤水加1Kcal熱量後，水溫增加 $1^{\circ}\text{C}$ ，此熱量稱為顯熱(Sensible heat)。熱量增減，溫度不會升降，此熱量稱為潛熱(Latent heat)。

每公斤 $0^{\circ}\text{C}$ 的水結成 $0^{\circ}\text{C}$ 的冰時，需去除80 Kcal熱量這個熱量稱為潛熱，冰的潛熱實際值為79.68Kcal。

3

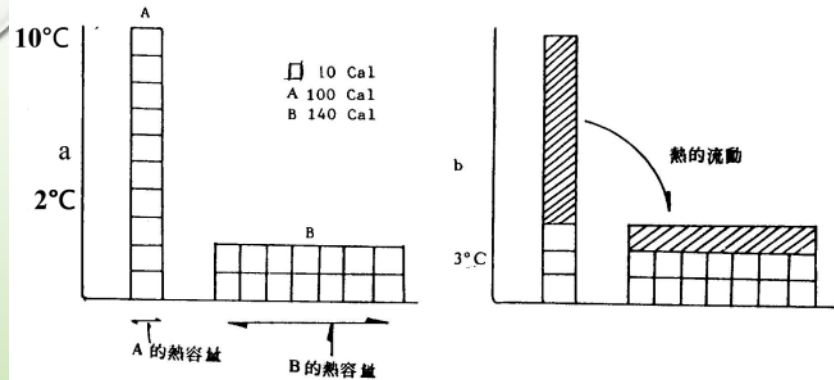


圖1 物體的熱量與溫度之關係

A物體( $10^{\circ}\text{C}$ )的溫度較B物體( $2^{\circ}\text{C}$ )為高，但B的比熱較A高，故熱含量A較B高。當A與B接觸時，熱量的流動是由高溫A往低溫B流動。

2

表2 食品的含水率，比熱及凍結潛溫

食品別	含水率 (%)	比熱 (Kcal/kg $^{\circ}\text{C}$ )		凍結潛熱 (Kcal/kg)
		凍結點以上	凍結點以下	
蘋果	84	0.87	0.45	67 = 80x0.84
香蕉	75	0.80	0.42	60 = 80x0.75
櫻桃	83	0.87	0.45	66
葡萄	82	0.86	0.44	64
檸檬	89	0.92	0.46	70
西瓜	92	0.97	0.48	73
蜜柑	87	0.90	0.46	65
桃	87	0.90	0.46	65
柿	78	0.84	0.43	62
草莓	90	0.92	—	72
甘藍菜	92	0.94	0.47	73
紅蘿蔔	88	0.90	0.46	70
甜玉米	74	0.79	0.42	59
胡瓜	96	0.97	0.49	76

4

表2(續)

茄子	93	0.94	0.48	73
洋葱	88	0.90	0.46	69
青豌豆	74	0.79	0.42	59
菠菜	93	0.94	0.48	73
甘薯	69	0.75	0.40	54
蕃茄	95	0.95	0.48	74
牛肉	62~77	0.70~0.84	0.38~0.43	49~62
豬肉	47~54	0.58~0.63	0.34~0.36	37~43
羊肉	60~70	0.68~0.76	0.38~0.51	48~56
食鳥	74	0.79	—	59
雞蛋	67	0.74	0.40	53
牛油	16	0.33	—	13
乾酪	37~38	0.50	0.31	30
魚	—	0.70	0.39	51
人造奶油	16	0.32	0.25	12
啤酒	90.2	0.92	—	—

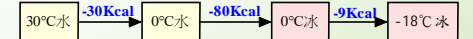
四、食品的熱容量

使食品溫度上升 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 時，所需加入的熱量稱熱容量。食品的熱容量越大，冷凍或解凍所需移除或增加的熱量越多。假設質量M克、比熱S的食品，溫度上升或下降 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 時吸收或放出熱量H卡，則 $H=MS\Delta T$

H(熱容量)：所吸收或放出的熱量，單位是cal。M：質量，單位是公克。  
S：比熱，單位是cal/g $^{\circ}\text{C}$ 。 $\Delta T=T_2-T_1$ 或 $T_1-T_2$ ：溫度差，單位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

補充

將1公斤30 $^{\circ}\text{C}$ 的水冷凍成零下18 $^{\circ}\text{C}$ 冰塊，須移除多少熱量?冰的比熱為0.5(cal/g $^{\circ}\text{C}$ )  
Ans:30 $^{\circ}\text{C}$ 水 $\rightarrow$ 0 $^{\circ}\text{C}$ 水=1x1x(30-0)=30Kcal，0 $^{\circ}\text{C}$ 水 $\rightarrow$ 0 $^{\circ}\text{C}$ 冰=1x80=80Kcal  
0 $^{\circ}\text{C}$ 冰 $\rightarrow$ -18 $^{\circ}\text{C}$ 冰=1x0.5x(0-(-18))=9Kcal，三者合計為119Kcal(30+80+9)熱量



將1公斤含水率80%固形份為20%的食品30 $^{\circ}\text{C}$ ，降溫至10 $^{\circ}\text{C}$ ，需移除多少熱量? (比熱由上頁得0.88)，若由零下5 $^{\circ}\text{C}$ 降至零下15 $^{\circ}\text{C}$ ，需移除多少熱量?(比熱0.48)  
Ans:  $H=1x0.88x(30-10)=17.6$  Kcal  
Ans;  $H=1x0.48x(-5-(-15))=4.8$ Kcal

三、食品的比熱

使1克物體溫度升降1 $^{\circ}\text{C}$ 所需加入或移除的熱量稱為比熱(specific heat)。水的比熱為1(cal/g $^{\circ}\text{C}$ )，冰為0.5。食品的比熱越大，則其發生溫度變化時，欲移除或增加的熱量越多。

凍結點以上的比熱 $C1=\frac{a+0.4b}{100}$ ，凍結點以下的比熱 $C2=\frac{0.5a+0.4b}{100}$

a=食品的含水率(%), b=食品的固形份比率(%)  
0.5=冰的比熱 0.4=食品固形份的平均比熱

食品的含水率為80%，固形份為20%，求其比熱?

凍結點以上的比熱 $C1=80+(0.4x20)/100=0.88$   
凍結點以下的比熱 $C2=(0.5x80)+(0.4x20)/100=0.48$

五、食品的熱傳導率

表3 不同溫度下食品的熱傳導率(Kcal/m.h. $^{\circ}\text{C}$ )

品溫( $^{\circ}\text{C}$ )	牛 肉		豬 肉
	多 脂 肉	寡 脂 肉	
30	0.42	0.42	0.42
0	0.41	0.41	0.41
-5	0.80	0.91	0.66
-10	1.03	1.16	0.85
-20	1.23	1.35	1.11
-30	1.32	1.42	1.25

水的熱傳導率為0.5 kcal/m.h. $^{\circ}\text{C}$ ，冰為2.0。故凍結狀態的食品較未凍結狀態者的熱傳導率大，熱傳導率越大，凍結時品溫下降較快。故，冷凍速度比解凍為快。

六、食品的熱含量 焓(Enthalpy)：1公斤食品在一定溫度下所持有的熱量。

表4 各品溫下食肉類的 Enthalpy 值(Kcal/kg)

溫度 (°C)	牛 肉 (中脂) 食 肉	羊 肉 (中脂)	豬 肉	溫度	牛 肉 (中脂) 食 肉	羊 肉 (中脂)	豬 肉
35	84.7	82.2	81.2	- 1	44.4	42.9	40.6
30	78.6	76.1	75.0	- 3	19.0	18.4	17.6
25	74.7	72.3	68.8	- 5	13.7	13.3	13.0
★20	70.9	68.5	65.1	- 8	9.4	9.2	8.9
17	68.6	66.3	62.9	- 10	7.2	7.1	6.9
15	67.0	64.8	61.4	- 12	5.3	5.2	5.1
12	64.7	62.5	59.3	- 15	3.1	3.0	2.9
10	63.2	61.0	57.8	- 18	1.1	1.1	1.1
7	60.9	58.8	55.7	- 20	0	0	0
5	59.3	57.3	54.2				
3	57.8	55.8	52.8				
★1	56.3	54.3	51.3				
0	55.5	53.5	50.6				

1公斤豬肉由20°C  
降溫至0°C需移除  
多少熱量?  
Ans: 65.1-50.6  
=14.5 KCal

溫度越高，熱含量越高。

## 二、熱對流(Heat convection)

這乃是由於物質的運動所產生的傳熱作用，像氣體或液體的流體才能產生此作用，固體則無此作用，熱對流又可分自然對流(Natural convection) 與強制對流 (Forced convection)。單位時間內熱對流量  $Q = \alpha F(Q_1 - Q_2)$ ，式中

$Q$  = 熱對流量

Kcal/h

$F$  = 熱傳表面積

$m^2$

$Q_1$  = 高溫物體的溫度

°C

$Q_2$  = 低溫物體的溫度

°C

$\alpha$  = 熱傳係數

Kcal/ $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$

沒有厚度，  
但有表面積  
的問題

## 第二節 傳熱

一、熱傳導(Heat conduction)：為固體的傳熱方式。

物體內如有溫度差存在，則熱將藉傳導的方式由高溫流向低溫，

單位時間內熱傳導量  $Q = \lambda F \frac{(Q_1 - Q_2)}{b}$ ，式中

$Q$  = 熱傳導量

Kcal/h

$F$  = 物體的斷面積

$m^2$

$b$  = 物體的厚度(最短的距離)m

$Q_1$  = 高溫部的溫度

°C

$Q_2$  = 低溫部的溫度

°C

$\lambda$  = 熱傳導率

Kcal/ $m \cdot h \cdot ^\circ C$

有厚度、距  
離的問題

## 三、熱輻射(Heat Radiation)

熱輻射與光相同是一種電磁波的放射線，即使沒有中間介在物存在亦能傳導熱能；電磁波因其波長之不同可分為

紫外線	波長0.02~0.4 $\mu$ ( $\mu = 10^{-3}mm$ )
可視線(紫)	波長0.4 $\mu$
(紅)	波長0.76 $\mu$
紅外線(熱線)	波長0.76~342 $\mu$
電波	波長342 $\mu$ 以上

冷凍食品的熱傳受熱傳導及熱對流的影響較大，  
熱輻射幾乎可以忽略。

表面積  $F_1$  與  $F_2$  的兩物體間和有放射作用存在，如果  $F_1$  物體的放射能較  $F_2$  大時，則放射物體  $F_1$  與受熱物體  $F_2$  間的傳熱量

$$Q = C \cdot F_1 \left\{ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right\}, \text{ 式中}$$

$Q$  = 放射傳熱量 Kcal/h

$C$  = 放射係數 Kcal/m<sup>2</sup>.h(100°K)

$F_1$  = 放射面積 m<sup>2</sup>

$T_1$  = 放射面的絕對溫度 °K

$T_2$  = 受熱面的絕對溫度 °K

13

表 5 食肉的热導率

食 品 別	熱傳導率 $\lambda$ (Kcal/m.h.°C)
寡 脂 肉	0.478
幼 雞	0.352
新鮮筋肉	0.43
牛 脂	0.15
豬 脂	0.153
油 脂	0.15
筋 肉	0.43

不同食物或組織的热傳導率( $\lambda$ )也不同。

15

#### 四、熱貫流(Heat transmsion)

熱由冷藏(凍)庫外側的高溫流體(空氣)，通過隔熱壁傳到庫內側的熱傳現象，稱為熱貫流。經包裝的冷凍食品，包裝材料可視為冷藏(凍)庫的隔熱壁，其熱貫流係由傳導、對流、輻射三種熱傳造成。

#### 五、熱傳導率(Heat conductivity)

熱傳導率 $\lambda$ (Kcal/m.h.°C)係物體傳熱快慢的常數， $\lambda$ 越大表示熱傳越好，固體 $\lambda$ 最大、液體次之、氣體最小。

14

表 6 凍結終溫與熱傳導率的變化

溫 度 (°C)	多 脂 牛 肉 (Kcal/m.h.°C)	低 脂 牛 肉 (Kcal/m.h.°C)	豬 肉 (Kcal/m.h.°C)
30	0.42	0.42	0.42
0	0.41	0.41	0.41
- 5	0.80	0.93	0.66
-10	1.03	1.16	0.85
-15	1.15	1.28	0.99
-20	1.23	1.35	1.11
-25	1.29	1.40	1.20
-30	1.32	1.42	1.25

溫度越低，熱傳導率( $\lambda$ )越大，溫度越易下降。因冰的熱傳較水為大。

16

六、熱傳達率(Coefficient of surface heat transfer)

表7 與不同防熱材料接觸的靜止空氣的熱傳達率

防 熱 材 料	熱傳達率 (Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C)
瓦 壁	6.9
水 泥 壁	6.4
玻 璃 板	9.9
水 面	6.9
磁 磚 面	5.4
軟 木 板	6.2
板	6.9

熱傳達率 $\alpha$ 係固體與流體之間的傳熱係數，為固體與流體溫差1°C接觸面積1m<sup>2</sup>時，1小時的傳熱量。

17

表9 空氣流速與傳達率及凍結速度之關係

空 氣 流 速 W (m/sec)	熱 傳 達 率 $\alpha$ (Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C)	凍 結 速 度 比 (W=0時當作1)
0	5	1
1	8.6	1.7
1.5	10.4	2.0
2	12.2	2.3
3	15.8	2.85
4	19.4	3.45
5	23.6	3.95

風速越快，熱傳達率越大。

19

表8 液體與空氣熱傳達率的比較

流 體 別	熱傳達率 (Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C)
蒸發狀態的氨(不含油)	2,000
蒸發狀態的 Freon (不含油)	800
攪拌狀態的水	500
靜止狀態的水	100
靜止狀態的空氣	5

水的熱傳達率大於空氣。故在蒸氣室中，較無蒸氣的加熱室中為熱。

18

表10 空氣流速與蒸發器直角交叉時蒸發器表面的熱傳達率

風 速(m/sec)	熱傳達率 (Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C)
1	16
1.5	22
2	27
2.5	32
3	37
3.5	42
4	47
5	55

空氣流向與蒸發器直角交叉者較平行者之熱傳達率大。(與P.21頁表11比較)

20

表11 空氣流速與蒸發器平行時蒸發器表面的熱傳達率

風速(m/sec)	熱傳達率 (Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C)
0	9
0.5	11
1	13
1.5	15
2	17
3	21
5	30

空氣流向與蒸發器直角交叉者較平行者之熱傳達率大。  
(與P.20頁表10比較)

多層壁熱貫流率可依下列公式求得

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3}}$$

，式中

$\alpha_1$  = 高溫流體與外壁表面的熱傳達率 Kcal/m<sup>2</sup>.h.°C

$\alpha_2$  = 低溫流體與內壁表面的熱傳達率 Kcal/m<sup>2</sup>.h.°C

$\lambda_1$  = A層壁的熱傳導率 Kcal/m.h.°C

$\lambda_2$  = B層壁的熱傳率 Kcal/m.h.°C

$\lambda_3$  = C層壁的熱傳導率 Kcal/m.h.°C

$S_1$  = A層壁的厚度 m

$S_2$  = B層壁的厚度 m

$S_3$  = C層壁的厚度 m

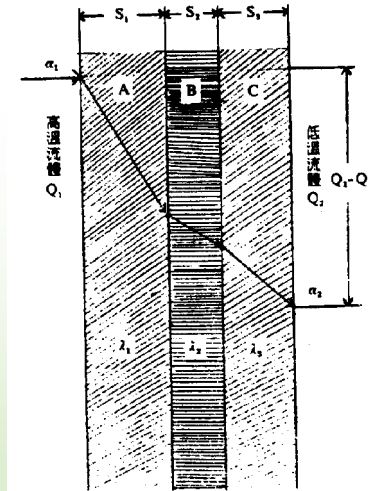


圖2 多層壁的熱貫流率

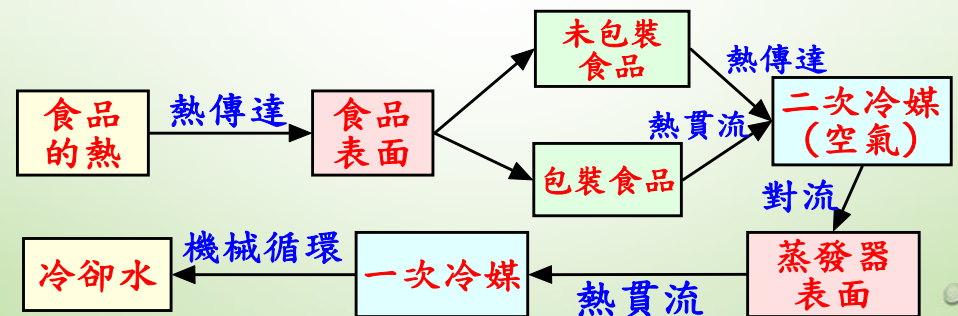
七、熱貫流率(Coefficient of Overall heat transmission)

冷藏庫外的高溫流體通過多層的防熱壁而傳到冷藏庫內的熱貫流量  $Q = KF(Q_1 - Q_2)$ ，式中

- $Q$  = 熱貫流量 Kcal/m<sup>2</sup>.h
  - $F$  = 熱貫流面積 m<sup>2</sup>
  - $Q_1$  = 高溫流體的溫度 °C
  - $Q_2$  = 低溫流體的溫度 °C
  - $K$  = 熱貫流率 Kcal/m<sup>2</sup>.h.°C
- 係由傳導、對流、輻射三種熱傳造成。

熱貫流率(K)指流體溫差1°C，貫流面積1m<sup>2</sup>時，1小時的傳熱量。

八、食品冷凍的熱傳方式



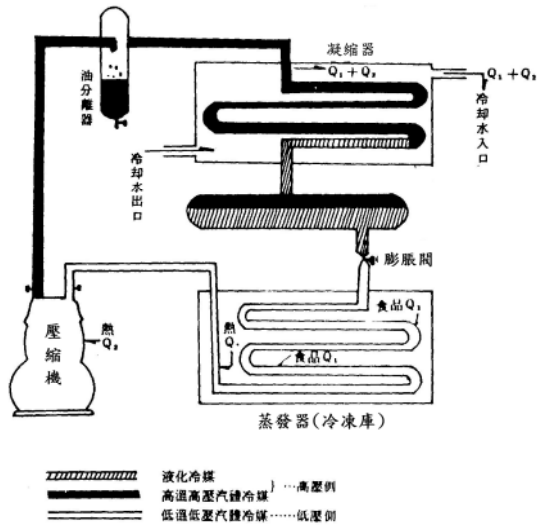


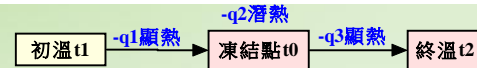
圖3 食品冷凍的熱傳方式

1. 沒有呼吸熱伴生時食品的冷凍負荷：沒有呼吸熱發生時食品的冷凍負荷可用下式表示。

$$Q = G [C(t_1 - t_0) + (W \times 80) + C'(t_0 - t_2)] - G(q_1 + q_2 + q_3) \dots \dots \dots (8.7)$$

- 式中 Q - 食品的冷凍負荷 Kcal.
- G - 食品的重量 kg.
- C - 凍結點以上時食品的比熱 Kcal/kg. °C
- C' - 凍結點以下時食品的比熱 Kcal/kg. °C
- W - 食品的含水率 kg/kg
- t<sub>1</sub> - 食品的平均初溫 °C

若蔬菜在凍結前經過殺菁處理，則不須考慮呼吸熱。



### 第三節 食品原料的冷凍負荷

#### 一、原料冷凍負荷的計算

欲使平均初溫為 t<sub>1</sub>°C 的食品使其冷卻到平均終溫 t<sub>2</sub>°C，或凍結到平均終溫為 t<sub>2</sub>°C 時所必須除去的熱量叫做食品的冷凍負荷 (Product load)。此食品的冷凍負荷如係為魚，食肉類時受原料的感熱，蒸發或凍結時潛熱的大小及比熱等的不同所左右。蔬果類在冷卻時因有呼吸熱的發生，因此在計算冷凍負荷時應將此項熱量加入，

植物食品須考量呼吸熱、動物食品須考量僵直熱

- t<sub>0</sub> = 食品的凍結點 °C
- t<sub>2</sub> = 食品的平均終溫 °C
- 80 = 水份的凍結潛熱 Kcal/kg
- q<sub>1</sub> = 使食品由初溫冷卻到凍結點時的感熱量 Kcal. 顯熱
- q<sub>2</sub> = 凍結時的潛熱量 Kcal.
- q<sub>3</sub> = 由凍結點冷卻到平均終溫時的感熱量 Kcal. 顯熱

茲舉一例 欲使凍結點 -1°C，含水率74%的 1000 公斤食肉使其由 35°C 凍結至 -20°C 時的原料冷凍負荷可求得如下。 固形物26%

若希望在12小時內完成凍結至零下20°C，則須多少噸的冷凍機？

解：先求得凍結點以上及凍結點以下時食肉的比熱。

$$\text{凍結點以上時食品的比熱 } C = \frac{a+0.4b}{100} = \frac{74+0.4 \times 26}{100} = 0.844$$

$$\text{凍結點以下時食品的比熱 } C' = \frac{0.5a+0.4b}{100} = \frac{0.5 \times 74+0.4 \times 26}{100} = 0.474$$

將已知數字代入 (8.7) 式

2. 有呼吸熱伴生時食品的冷凍負荷：生鮮蔬菜或果實在冷卻時，因有呼吸作用的關係將有呼吸熱伴生，因此冷卻青果時原料的冷凍負荷應按下式計算。

$$Q = G[C(t_1 - t_2) + q'] \quad \text{呼吸熱} \quad (8.8)$$

式中 Q = 有呼吸熱伴生時食品的冷凍負荷 Kcal

G = 凍結點以上時食品的比熱 Kcal/kg. °C

t<sub>1</sub> = 食品的平均初溫 °C

t<sub>2</sub> = 食品冷卻至凍結點以上時的平均終溫 °C

q' = 食品 1 公斤在冷卻時間中所發生的呼吸熱 Kcal/kg

食品在冷卻時間內所發生的呼吸熱，因冷卻所需時間的長短及溫度之不同而異，通常可用下式求得

$$q' = \frac{h_1 + h_2}{2} \text{ hr} \quad (8.9)$$

未經殺菁處理蔬菜，須考慮呼吸熱。

$$Q = 1000 \left\{ \overset{q_1}{0.844} [35 - (-1)] + \overset{q_2}{(0.74 \times 80)} + \overset{q_3}{0.474} [-1 - (-20)] \right\} \\ = 1000(30.384 + 59.2 + 9.006) \\ = 98590 \text{ Kcal.}$$

從以上的計算結果可知此冷凍負荷中凍結潛熱約佔

$$\frac{59.2}{30.384 + 59.2 + 9.006} = \frac{59.2}{98.59} = 60.05\%$$

故含水率高的魚肉或蔬果類等食品凍結時，食品的冷凍負荷以凍結潛熱佔大部份。由此可知當此等食物被凍結時在凍結點時冷凍機的負荷最大。

1 冷凍噸(公制)的能力  
可將 1000 公斤 0 °C 水於 24 小時內結成 0 °C 的冰  
冰的潛熱為 79.68 Kcal  
1000X79.68=79680 Kcal  
79680/24=3320 Kcal/hr

1 冷凍噸(美制)的能力  
= 3024 Kcal/hr

1 冷凍噸(英制)的能力  
= 3386 Kcal/hr

若希望在 12 小時內完成凍結至零下 20 °C，則須多少噸(公制)的冷凍機？

Ans: 98590/12=8215.8 Kcal/hr 每小時須移除熱量

1 冷凍噸=3320 Kcal/hr(公制)，8215.8/3320=2.475 噸

式中 h<sub>1</sub> = 在初溫時，1 Kg 原料一小時內的呼吸熱，h<sub>2</sub> = 1 Kg 原料在終溫時，一小時內的呼吸熱，hr = 冷卻所需要的時間 (小時)，例如欲使初溫 21 °C，比熱 0.92 的檸檬 1000 Kg 在 10 小時內冷卻到 6.5 °C 時的原料冷凍負荷可求得如下。

解：先查表 13 得知 h<sub>1</sub>(21 °C) = 46.5 cal. h<sub>2</sub>(6.5 °C) = 26.25 cal 而 hr

$$= 10 \text{ 小時代入公式 8.9} \\ q' = \frac{h_1 + h_2}{2} \times \text{hr} = \frac{46.5 + 26.25}{2} \times 10 = 363.75 \\ \approx 0.364 \text{ Kcal/kg 再代入公式 8.8}$$

$$Q = G[C(t_1 - t_2) + q'] = 1000[0.92(21 - 6.5) + 0.364] \\ = 13,704 \text{ Kcal} \quad 13,704 / 10 = 1370.4 \text{ Kcal/hr}$$

(10 小時)

1370.4/3320=0.41 冷凍噸(公制)



表13 檸檬的呼吸率與呼吸熱

品溫 (°C)	呼吸速率	呼吸熱 cal	
	CO <sub>2</sub> mg/kg. hr	1 小時	24 小時
0	2.65	6.62	158.88
4.5	3.7	9.25	222.00
6.5	10.5	26.25	630.00
15.5	13.5	33.75	810.00
21.0	18.6	46.50	1160.00
26.5	28.2	70.50	1672.00

33

冷凍負荷考量因素：

1. 降溫需移除熱量  
室溫 → 凍結點 → 潛熱 → 凍藏溫度
2. 呼吸熱(未殺菁植物)或僵直熱(動物)
3. 發酵熱：酒精發酵、醋酸發酵等
4. 蒸發熱、昇華熱

35

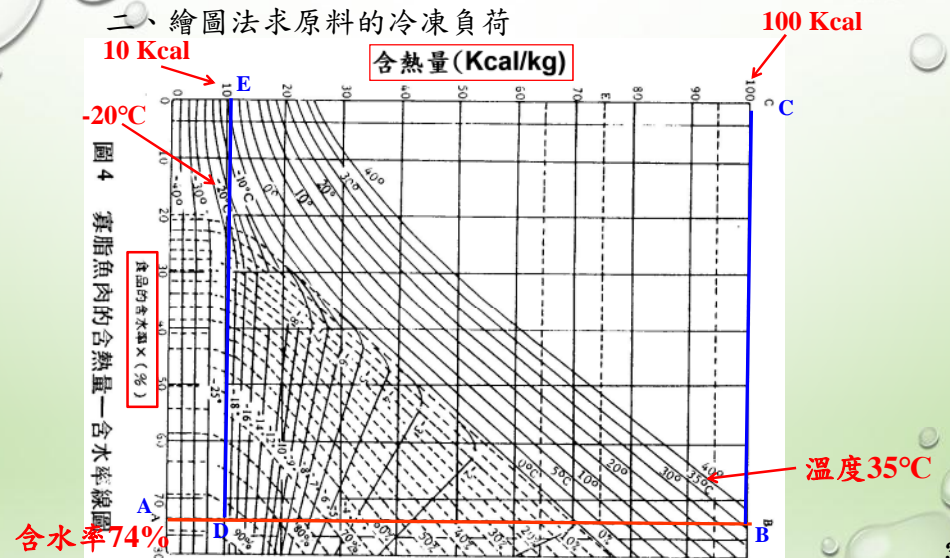
表14 檸檬一小時在不同冷卻時間時呼吸熱與可感熱的比較

平均初溫 (°C)	平均終溫 (°C)	冷卻時間 hr(小時)	$q' = \frac{46.5 + 26.25}{2}$ hr(Cal/kg)	$C(t_1 - t_2)$ (Kcal/kg)	$(q'/c(t_1 - t_2)) \times 100$
21	6.5	5	181.875	13.34	1.3
21	6.5	10	363.75	13.34	2.7
21	6.5	15	545.625	13.34	4.1
21	6.5	20	727.500	13.34	5.4
21	6.5	30	1,019.25	13.34	8.2
21	6.5	40	1,455.00	13.34	10.9
21	6.5	80	2,910.00	13.34	21.8
21	6.5	160	2,820.00	13.34	43.6

冷卻時間越長，呼吸熱q'越大。

34

二、繪圖法求原料的冷凍負荷



36

以繪圖法計算1公噸含水率74%寡脂肉由35°C凍結到零下20°C的冷凍負荷?假設於10小時內完成,須多少冷凍噸之冷凍機?

<解>

含水率74%繪垂直線與35°C等溫線交於B點,再畫平行線交於C點得100 Kcal/Kg,此為35°C下的熱含量。

AB線與零下20°C的等溫線交於D點,再畫平行線交於E點,得零下20°C的熱含量為10 Kcal/Kg。

100-10=90 Kcal/Kg (35°C凍結到零下20°C需移除熱量)

1000 Kg x 90 Kcal/Kg=90000 Kcal

90000 / 10=9000 Kcal/hr 9000/3320=2.7冷凍噸

37

#### 4.熱傳達率及熱傳導率的影響

食品熱傳達率或熱傳導率越大,凍結速度越快,凍結所需時間越短。冰的熱傳導率較水為大,故凍結狀態食品的冷卻速度較新鮮狀態為快。

#### 5.食品比熱的影響

比熱越大凍結速度越慢,凍結所需時間越長。

#### 6.凍結方法的影響

流動空氣較靜止空氣凍結速度快,凍結所需時間短。急速凍結較緩慢凍結需要的時間短。食品厚度越薄,凍結所需時間越短。

39

### 第四節 凍結時間的求法

#### 一、影響凍結時間的因素

##### 1.表面溫度差的影響

凍結所需時間係指食品中心溫度由凍結點到達完全凍結所需的時間,凍結速度越快,凍結所需時間越短。凍結速度與表面溫度差(Ts-Tr)成正比,Ts為食品表面溫度,Tr為二次冷媒(空氣)的溫度。

##### 2.食品大小的影響

食品顆粒越小,熱傳快,凍結所需時間越短。

##### 3.表面及內部熱傳遞的相互影響

食品表面及內部熱傳遞越快,凍結所需時間越短。

38

#### 二、凍結所需時間的計算

凍結所需時間與冷凍負荷及食品厚度成正比,與溫差δ成反比

##### 1.未包裝凍結食品凍結所需時間的計算法

$$Z = \frac{QD}{\delta} \left( \frac{0.32}{\alpha} + \frac{0.1D}{\lambda} \right) \dots \dots \dots (8.1)$$

Z = 凍結所需時間 (溫度中心點到達-5°C所需時間 (h))

Q = 凍結時原料的冷凍負荷 (kcal/h)

D = 食品的厚度。(m)。

δ = 食品的凍結點與空氣或二次冷媒間的溫度差 (0°C)

α = 食品與空氣或二次冷媒的傳達率 (kcal/m<sup>2</sup>.h.°C)

λ = 食品的熱傳導率 (kcal/m<sup>2</sup>.h.°C)

40

## 2. 包裝凍結食品

利用紙箱等包裝的凍結食品，其凍結所需時間可用下式求得。

$$Z = \frac{\Delta i}{\Delta T} \gamma D \left( \frac{1}{A\alpha} + \frac{1}{B\lambda} \right) \dots\dots\dots(8.12)$$

$\Delta i$  = 食品初溫與凍結終溫間的全熱量差(kcal/kg)

$\Delta T$  = 食品與二次冷媒（空氣、溶液、金屬板）間的平均溫度差（°C）

$\gamma$  = 凍結物體的密度（kg/m<sup>3</sup>）

$D$  = 凍結食品的厚度（m）

## 三、繪圖法求凍結所需時間

1. 利用線圖求接觸

凍結所需時間，  
食品初溫20~0°C，  
厚度20~100 mm，  
凍結終溫在零下  
4~10°C，凍結板  
溫度在零下  
10~40°C。

- $b$  = 食品的厚度 mm
  - $t_i$  = 食品的初溫 °C
  - $t_m$  = 食品的凍結終溫 °C
  - $t_p$  = 凍結板的表面溫度 °C
  - $Z$  = 凍結所需時間 分
  - $1/\alpha$  = 食品包裝材料及樣式的熱抵抗  $\alpha = \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$
- $W$  = 塗臘紙  
 $C$  = 賽路芬紙  
 $Ca$  = 硬紙箱  
 $Li$  = 紙箱蓋  
 $O$  = 未經包裝
- 這些條件會影響  $1/\alpha$  值。  
圖5代號意義

$\alpha$  = 物體與二次冷媒間的熱傳達率 (kcal/m<sup>2</sup>.h.°C)

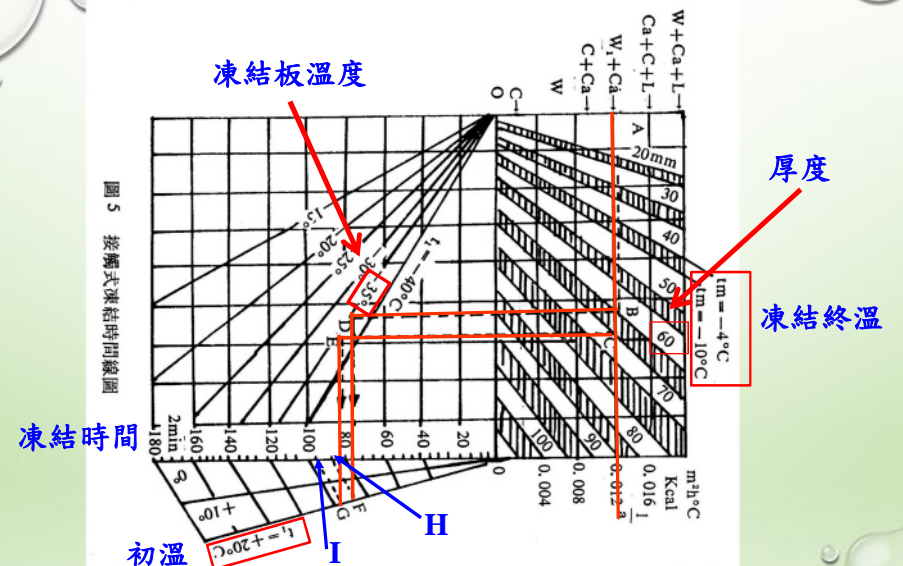
$\lambda$  = 凍結物體的熱傳導率 (kcal/m.h.°C)

$A$  = 凍結物體的形狀變換係數

$B$  = 凍結物體的形狀變換係數。

$A$  及  $B$  值如下：

均質的球形物體	$A = 6$	$B = 24$
均質的圓筒的物體	$A = 4$	$B = 16$
均質的板狀物體	$A = 2$	$B = 8$



[例] 食品的初溫( $t_i$ )為 $20^{\circ}\text{C}$ ，厚度為 $60\text{ mm}$ ，將其裝入塗蠟紙，熱封後裝入未加蓋的紙箱中(W+Ca)，利用零下 $35^{\circ}\text{C}$ ( $t_p$ )的凍結板凍結到零下 $4^{\circ}\text{C}$ 或 $10^{\circ}\text{C}$ ( $t_m$ )時，所需凍結時間各為何？

[解]

由圖5W+Ca位置畫垂直線與 $b=60\text{ mm}$ 的斜線交於B( $t_m$ =零下 $4^{\circ}\text{C}$ )、C點( $t_m$ =零下 $10^{\circ}\text{C}$ )。將B、C點畫水平線與零下 $35^{\circ}\text{C}$ 溫度線交於D、E，將D、E畫垂直線與 $t_i=+20^{\circ}\text{C}$ 溫度線交於F、G，再將F、G畫底部平行線與凍結時間交於H(87分)、I(96分鐘)點。故，凍結至零下 $4^{\circ}\text{C}$ 須87分鐘，凍至零下 $10^{\circ}\text{C}$ 需96分鐘。

45

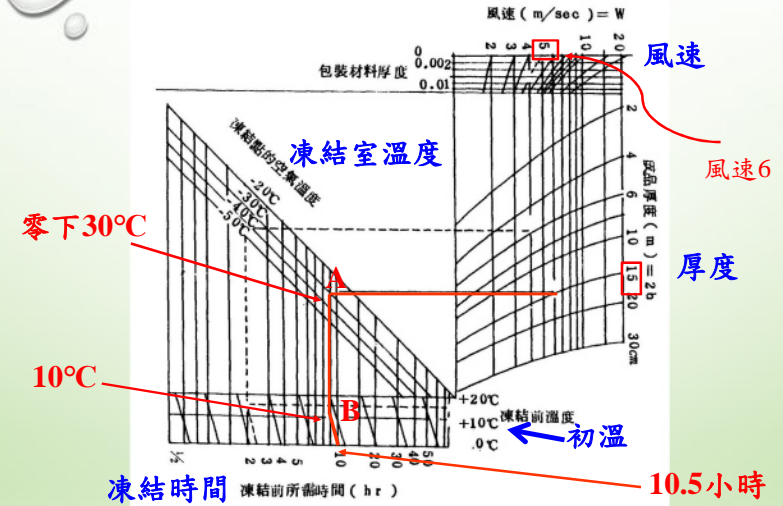


圖 6 魚類凍結時間之求法

47

[例] 初溫 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $15\text{ 公分}$ 厚的魚片，未經包裝送入溫度零下 $30^{\circ}\text{C}$ 、風速 $6\text{ cm/sec}$ 之凍結室凍結，求凍結時間？

[解]

找出食品厚度 $15$ 、風速 $6$ ，依圖6畫平行線交於零下 $30^{\circ}\text{C}$ 線得A點，由A點化垂直線交初溫 $10^{\circ}\text{C}$ 線於B點。由B點畫平行線交於凍結時間得 $10.5\text{ 小時}$ 。

46

#### 四、品溫半減法求冷卻所需時間(法國Thevenot提出)

假設初溫 $34^{\circ}\text{C}$ 的食肉放置在 $2^{\circ}\text{C}$ 的冷空氣冷卻時，測得第一次溫度半減所需時間 $Z_1=3\text{ 小時}$ ，欲將此食肉溫度降至 $3^{\circ}\text{C}$ 時，所需的冷卻時間為何？

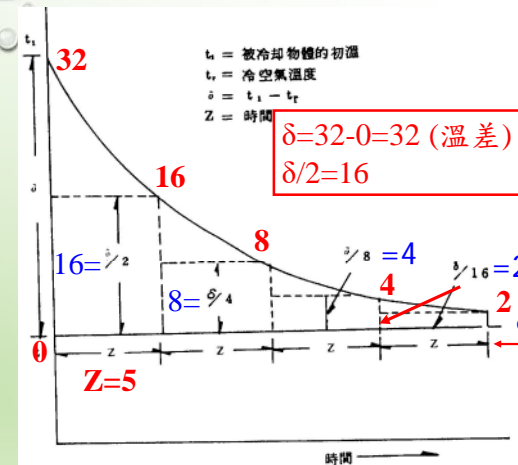
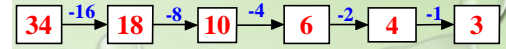


圖 7 品溫半減法的冷卻時間

$\delta=34-2=32$  (溫差)  
 $34-2/2=16$  ( $\delta/2$ )  $34-16=18$   
 $18-2/2=8$  ( $\delta/4$ )  $18-8=10$   
 $10-2/2=4$  ( $\delta/8$ )  $10-4=6$   
 $6-2/2=2$  ( $\delta/16$ )  $6-2=4$   
 $4-2/2=1$  ( $\delta/32$ )  $4-1=3$   
 $5 \times 3=15\text{ 小時}$



48

[例]初溫 $32^{\circ}\text{C}$ 的食肉放置在 $0^{\circ}\text{C}$ 的冷空氣冷卻時，測得第一次溫度半減所需時間 $Z_1=5$ 小時，欲將此食肉溫度降至 $1^{\circ}\text{C}$ 時，所需的冷卻時間為何？

[解]  $32 \xrightarrow{5h} 16 \xrightarrow{5h} 8 \xrightarrow{5h} 4 \xrightarrow{5h} 2 \xrightarrow{5h} 1$

$$32-0/2=16 \quad 32-16=16 \quad 16-0/2=8 \quad 16-8=8 \quad 8-0/2=4 \quad 8-4=4 \\ 4-0/2=2 \quad 4-2=2 \quad 2-0/2=1 \quad 2-1=1$$

初溫 $32^{\circ}\text{C}$  食肉經過 $5 \times 5=25$ 小時溫度變成 $1^{\circ}\text{C}$

半衰期 $Z_1=5$ 小時，經過1次半衰期溫度變成 $32/2^1=16$ ，兩次半衰期溫度變成 $32/2^2=8$ ， $n$ 次半衰期溫度變成 $32/2^n=1$ ，故  $2^n=32$   
 $n=5$  [ $n=\log(32)/\log(2)$ ]  
 $5 \times 5=25$ 小時。