

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT - CÔNG NGHỆ CẦN THƠ
KHOA CÔNG NGHỆ SINH HÓA – THỰC PHẨM

HỌC PHẦN
**KỸ THUẬT CHẾ BIẾN THỰC PHẨM
NHIỆT ĐỘ THẤP**

Chương 4

Quá trình lạnh đông thực phẩm



GVGD: Trần Thị Thùy Linh

Chương 4: Lạnh đông và trữ đông thực phẩm

1. Giới thiệu

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

4. Tính toán thời gian lạnh đông

5. Sự biến đổi chất lượng

6. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

7. Tan giá thực phẩm

1. Giới thiệu

Lạnh đông (freezing): là quá trình mà **nhệt độ** của **thực phẩm** được giảm đến **dưới điểm đóng băng (freezing point)**, và một phần nước ở dạng lỏng sẽ chuyển thành tinh thể đá.

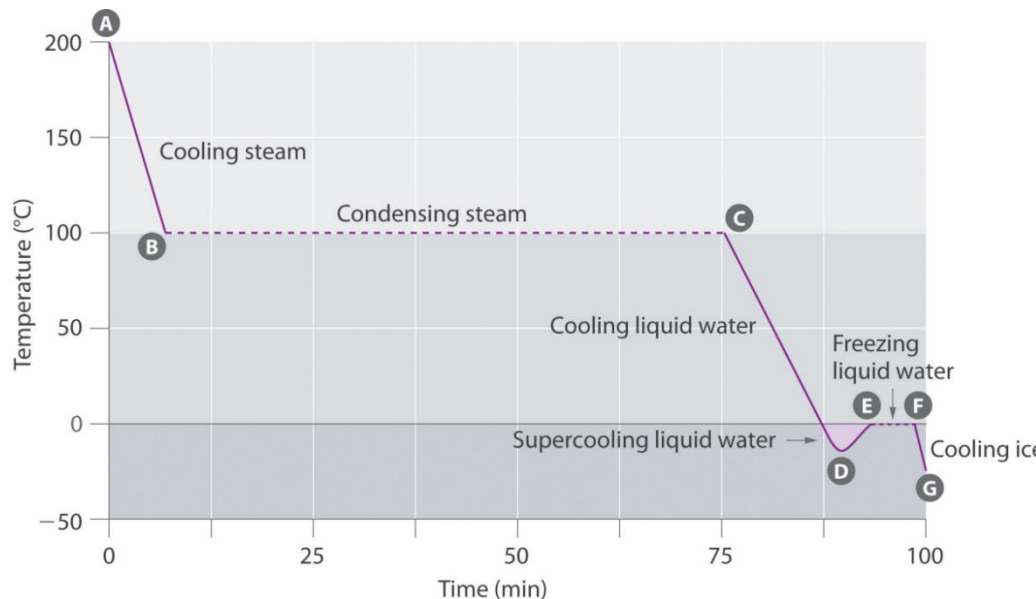
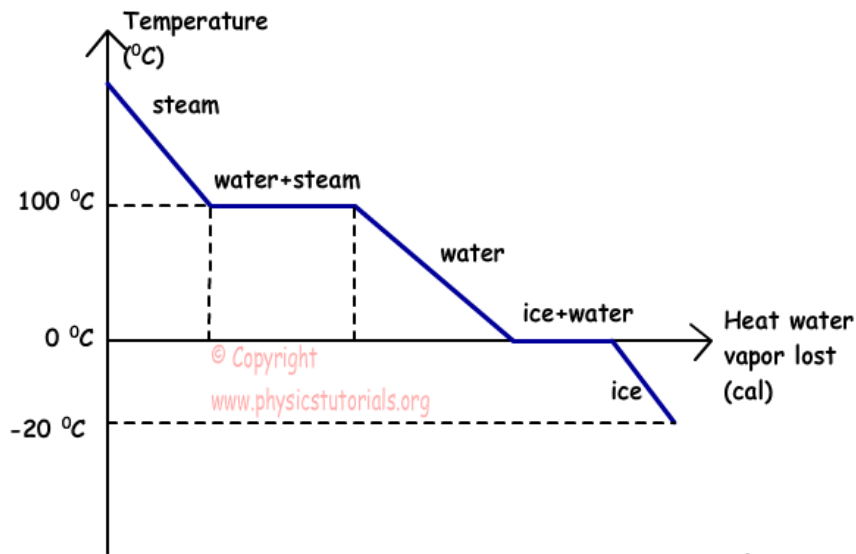
Bảo quản sản phẩm lạnh đông (Frozen storage): giữ sản phẩm lạnh đông ở nhiệt độ thích hợp.

1. Giới thiệu

Ứng dụng:

- Lạnh đông trái cây, các sản phẩm từ trái cây.
- Lạnh đông rau củ
- Lạnh đông fillet cá và thủy sản và một số sản phẩm đã qua sơ chế.
- Thịt dạng nguyên mảnh, nửa mảnh sau giết mổ hay pha lóc, một số sản phẩm thịt (xúc xích, thịt bò viên,...)
- Lạnh đông các sản phẩm từ sữa và trứng
- Lạnh đông các sản phẩm nướng
- Lạnh đông các sản phẩm đã chuẩn bị sẵn

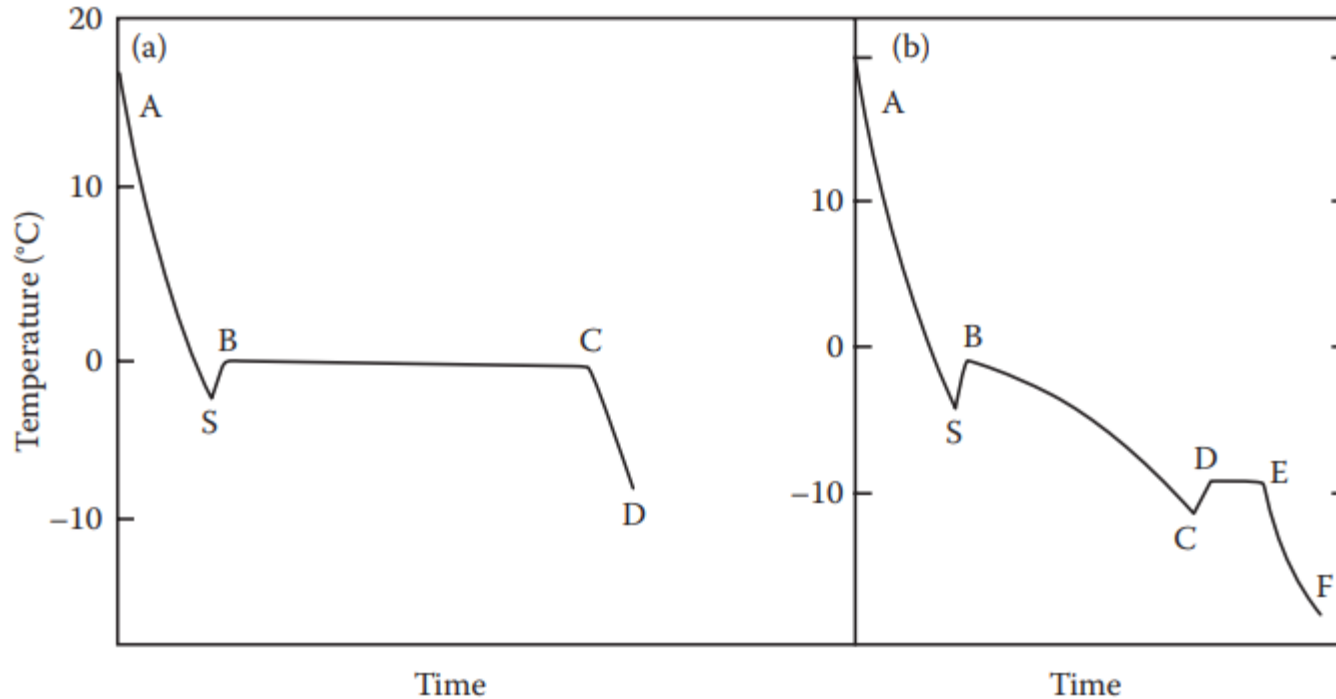
2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm



Hình 1 Sự thay đổi nhiệt độ theo nhiệt lượng và thời gian của nước tinh khiết

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Đường cong lạnh đông



a- nước tinh khiết

b- dung dịch

Hình 2 Sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian lạnh đông

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Đường cong lạnh đông

Đối với lạnh đông thực phẩm:

- Đường AS:

- + Thực phẩm làm lạnh đến **dưới điểm đóng băng** (*=sensible heat*). Do trong thực phẩm có chứa các **thành phần chất tan** nên điểm đóng băng của nước trong thực phẩm luôn **nhỏ hơn 0°C** .
- + Ở điểm S nước vẫn duy trì trạng **thái lỏng** mặc dù nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ đóng băng- **Hiện tượng quá lạnh**
- + **Nhiệt độ** ứng với **điểm S** gọi là **nhiệt độ quá lạnh**.
- + Điểm quá lạnh có thể thấp hơn 10°C so với điểm bắt đầu đóng băng.

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Đường cong lạnh đông

Đối với lạnh đông thực phẩm:

- **Đường SB:** + Tinh thể đá bắt đầu hình thành, **ẩn nhiệt đóng băng** được **phóng thích** lớn hơn nhiệt được di chuyển ra khỏi hệ thống.

+ **Nhiệt độ sản phẩm** **tăng nhanh** đến **điểm đóng băng**.

- **Đường BC:** + Tốc độ di chuyển nhiệt từ thực phẩm **không thay đổi**.

+ Nhiệt di chuyển ra khỏi thực phẩm là **ẩn nhiệt đóng băng** → **nhiệt độ duy trì** ở điểm đóng băng của nước.

+ Nhiệt độ điểm **C < B** do sự gia **tăng nồng độ chất tan** trong **pha lỏng** không đóng băng.

+ **Phần lớn tinh thể đá** được hình thành.

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Đường cong lạnh đông

Đối với lạnh đông thực phẩm:

- **Đường CD:** + Một số thành phần chất tan trở nên quá bão hòa và kết tinh.

+ **Ấn nhiệt kết tinh** được phóng thích làm nhiệt độ sản phẩm tăng đến **nhiệt độ eutectic** của chất tan đó.

- **Đường DE:** Sự hình thành tinh thể nước và chất tan vẫn tiếp tục.

- **Đường EF:** + Nhiệt độ của hỗn hợp đá- nước giảm đến nhiệt độ thiết bị.

+ Một phần nước trong thực phẩm vẫn giữ ở trạng thái lỏng.

+ Lượng nước không đóng băng phụ thuộc: thành phần, loại thực phẩm và nhiệt độ bảo quản

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Sự hình thành tinh thể đá

- **Điểm đóng băng** thực phẩm là “nhiệt độ tại thời điểm tinh thể đá tồn tại một cách cân bằng với môi trường xung quanh”.
- **Tâm** phân tử nước hình thành → hình thành **tinh thể đá**: hình thành ở **giai đoạn quá lạnh**.
- **Độ quá lạnh** là chênh lệch giữa nhiệt độ **đóng băng** và nhiệt độ **quá lạnh**.
- Độ quá lạnh phụ thuộc: **loại thực phẩm** và **tốc độ thoát nhiệt** ra khỏi thực phẩm.

**Bảng 1 Nhiệt độ
đóng băng của một
số loại rau quả**

Sản phẩm	Hàm lượng nước (%)	Nhiệt độ bắt đầu đóng băng, °C
Nước táo	87,2	-1,44
Nước táo cô đặc	49,8	-11,33
Măng tây (asparagus)	92,6	-0,67
Carrots	87,5	-1, 11
Nước anh đào (cherry)	86,7	-1,44
Anh đào ngọt	77,0	-2,61
Nước nho	84,7	-1,78
Hành	85,5	-1,44
Nước cam	89,0	-1,17
Đào	85,1	-1,56
Lê	83,8	-1,61
Mận	80,3	-2,28
Mâm xôi (raspberry)	82,7	-1,22
Nước quả mâm xôi	88,5	-1,22
Rau spinach	90,2	-0,56
Dâu tây	89,3	-0,89
Nước dâu	91,7	-0,89
Đậu Hà lan (dài)	75,8	-1,83
Thịt quả cà chua	92,9	-0,72

Nguồn : Heldman và Singh (1981)

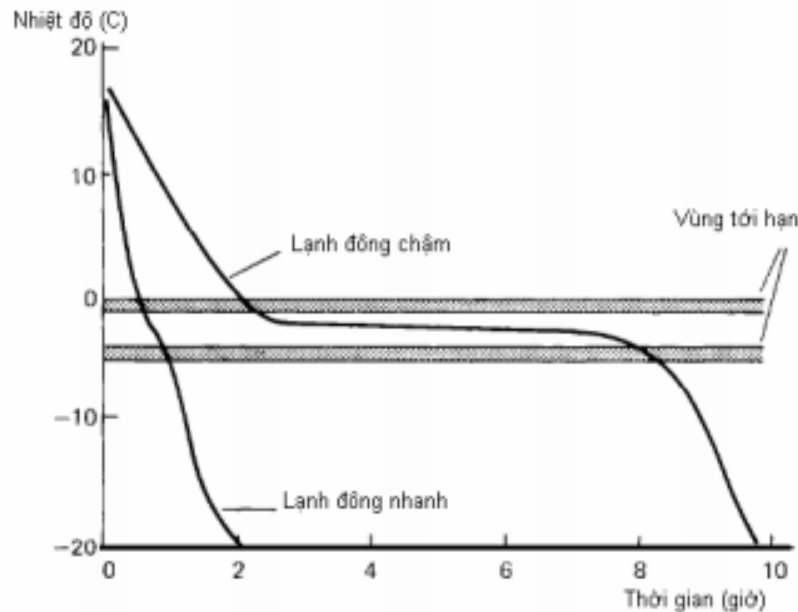
2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Bảng 2 Hàm lượng nước và điểm đóng băng của thực phẩm

Thực phẩm	Hàm lượng nước (%)	Điểm đóng băng (°C)
Rau	78-92	-0,8 đến -2,8
Quả	87-95	-0,9 đến -2,7
Thịt	55-70	-1,7 đến -2,2
Cá	65-81	-0,6 đến -2,0
Sữa	87	-0,5
Trứng	74	-0,5

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Lạnh đông nhanh: tạo ra một lượng lớn các tinh thể đá có kích thước nhỏ.



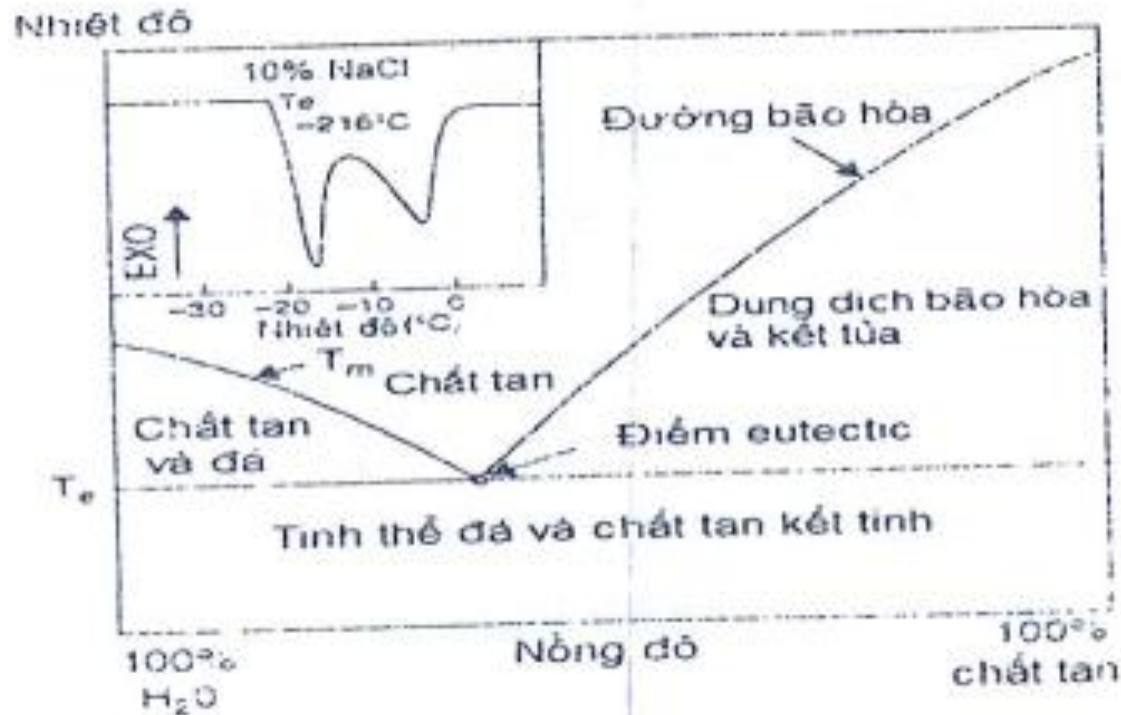
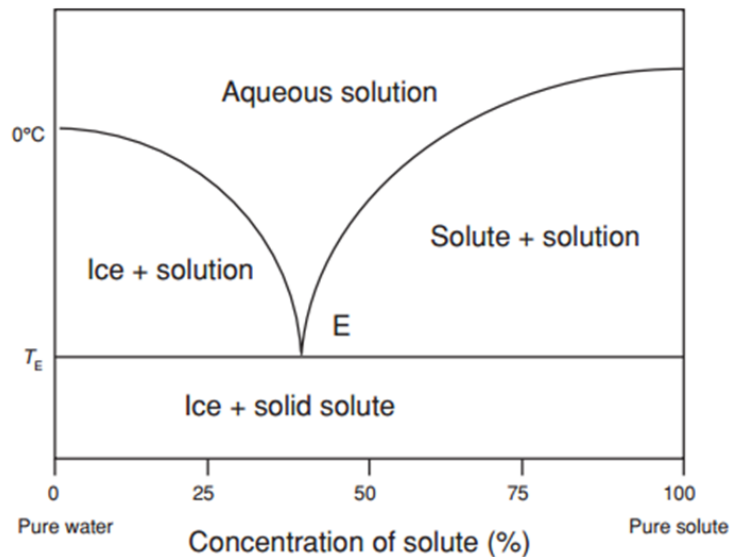
Hình 3 Sự thay đổi nhiệt độ của thực phẩm qua vùng tới hạn của lạnh đông

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Sự cô đặc của chất tan

- Nhiệt độ giảm, **nồng độ chất tan** tiến dần đến **điểm bão hòa** và sự **kết tinh** xảy ra.
- **Nhiệt độ eutectic**: nhiệt độ tại đó tinh thể của chất tan tồn tại cân bằng với không đóng băng và tinh thể đá.
- **Nhiệt độ eutectic cuối**: là nhiệt độ eutectic thấp nhất của chất tan trong thực phẩm. VD: kem (-55°C), thịt ($-50\div-60^{\circ}\text{C}$), bánh mì (-70°C).
- Sự hình thành tinh thể **tối đa** khi nhiệt độ giảm đến nhiệt độ eutectic cuối.

Nhiệt độ eutectic:



Hình 5.9 Giản đồ pha của dung dịch NaCl 10%
(Nguồn: Roos, 2007)

2. Lý thuyết lạnh đông thực phẩm

Sự cô đặc của chất tan

- Khi thực phẩm lạnh đông, phần không đóng băng trong nguyên liệu đặc hơn và hình thành “thủy tinh” bao quanh tinh thể đá – nhiệt độ chuyển pha thủy tinh (T_g).
- **Nhiệt độ tồn trữ thấp hơn T_g → sự hình thành các tinh thể đá dạng thủy tinh bảo vệ cấu trúc thực phẩm → khả năng tồn trữ thực phẩm tốt nhất.**

**Bảng 3 Nhiệt độ
chuyển pha thủy tinh
của một số thực phẩm**

Thực phẩm	Nhiệt độ chuyển pha thủy tinh (°C)
Trái cây và các sản phẩm trái cây	
Táo	-41 ÷ -42
Chuối	-35
Đào	-36
Dâu	-33 ÷ -41
Cà chua	-41
Nho	-42
Nước ép táo	-37
Các loại rau	
Bắp ngọt, tươi	-15
Khoai tây tươi	-12
Đậu Hà Lan đông lạnh	-25
Bông cải, đông lạnh	-12
Rau Bina đông lạnh	-17
Tráng miệng	
Kem	-31 ÷ - 33
Pho-mát	
Cheddar	-24
Creamcheese	-33
Cá và thịt	
Thịt cá tuyết	-11,7±0,6
Thịt cá thu	-12,4±0,2
Bắp thịt bò	-12±0,3

Nguồn: Fennema (1996)

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Khối lượng riêng (density)

$$\frac{1}{\rho} = m_u \frac{1}{\rho_u} + m_s \frac{1}{\rho_s} + m_i \frac{1}{\rho_i}$$

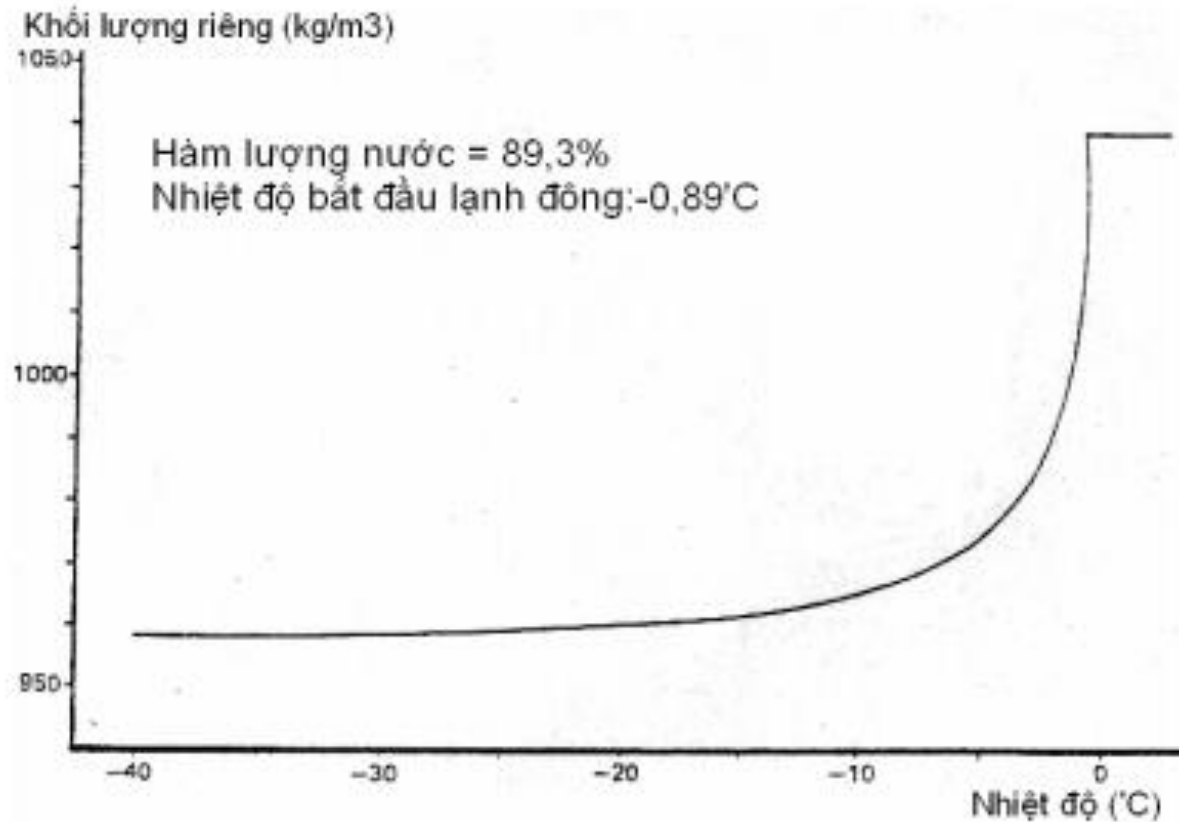
Trong đó: m_u : khối lượng của nước **không** đóng băng

m_s : khối lượng chất khô

m_i : khối lượng nước **đã** đóng băng

Bảng 4 Khối lượng riêng của một số thành phần tinh khiết được tính cho thực phẩm lỏng

T (°C)	Khối lượng riêng (kg/m ³)				
	Nước	Protein	Lipid	Carbohydrat	Tro
20	997,6	1289,4	916,4	1424,6	1743,4
30	995,2	1272,2	913,5	1413,3	1731,2
40	991,2	1258,8	906,7	1399,2	1719,8
50	986,8	1246,2	902,7	1386,4	1704,7
60	983,3	1231,4	894,3	1369,5	1691,5
70	978,2	1222,6	884,9	1358,2	1679,1
80	971,5	1212,9	880,0	1346,4	1668,8
90	965,0	1204,3	876,0	1337,2	1658,4
100	958,0	1198,4	874,2	1331,7	1649,3



Hình 3 Ảnh hưởng của lạnh đông đến sự thay đổi khối lượng riêng dầu tây

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Thay đổi thể tích

Thể tích của nước đá **lớn hơn** thể tích của nước tinh khiết 9%.

Mức độ giãn nở thể tích của thực phẩm phụ thuộc vào:

- + Hàm lượng ẩm
- + Sự sắp xếp tế bào (thực vật chứa khoảng không trong gian bào)
- + Nồng độ các chất tan
- + Nhiệt độ của thiết bị cấp đông (xác định lượng nước không đóng băng → mức độ giãn nở thể tích khác nhau)
- + Các thành phần kết tinh gồm nước đá, chất béo, chất tan khi làm lạnh thể tích giảm lại

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

- Độ hạ băng điểm là chênh lệch nhiệt độ **bắt đầu đóng băng** giữa **thực phẩm** và **nước tinh khiết**.

$$\frac{\lambda}{R_g} \left(\frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_A} \right) = \ln X_a$$

Trong đó: λ : nhiệt nóng chảy của nước (J/mol), $\lambda=6003$ J/mol

R_g : hằng số khí lý tưởng (J/kg.K), $R_g=8,314$ J/mol.K

T_{AO} : nhiệt độ đóng băng của nước tinh khiết ở áp suất thường (K), $T_{AO}= 273$ K

T_A : nhiệt độ đóng băng của nước trong thực phẩm (K)

X_a : phần mol của nước trong thực phẩm

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

Phần mol của nước trong thực phẩm:

$$X_a = \frac{m_A/M_A}{m_A/M_A + m_S/M_S}$$

Trong đó: m_A : khối lượng của nước trong thực phẩm

M_A : khối lượng phân tử của nước

m_S : khối lượng của chất tan trong thực phẩm

M_S : khối lượng phân tử của chất tan

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

Ví dụ 1: Một thực phẩm chứa 15% chất tan, chủ yếu là đường có khối lượng phân tử thấp bằng 180. Xác định nhiệt độ bắt đầu đóng băng của sản phẩm. Giả sử sản phẩm có chứa 85% nước.

Giải

$$X_a = \frac{0,85/18}{0,85/18 + 0,15/180} = 0,98266$$

Nhiệt độ bắt đầu đóng băng:

$$\frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T_A} \right) = \ln 0,98266$$

$$\Rightarrow T_A = 271,2 \text{ K} = -1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

Ví dụ 2: Một thực phẩm chứa 40% chất tan, chủ yếu là đường có khối lượng phân tử thấp bằng 180. Xác định nhiệt độ bắt đầu đóng băng của sản phẩm.

Giải

$$X_a = \frac{0,6/18}{0,6/18 + 0,4/180} = 0,9375$$

Nhiệt độ bắt đầu đóng băng:

$$\frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T_A} \right) = \ln 0,9375$$

$$\Rightarrow T_A = 266,413\text{K} = -6,6\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

Ví dụ 3: Xác định tỉ lệ nước không đóng băng trong quá trình lạnh đông quả mâm xôi ở -10°C . Biết hàm lượng nước 82,7% và nhiệt độ bắt đầu đóng băng là $-1,22^{\circ}\text{C}$.

Giải

Lượng nước không đóng băng ở -10°C là:

$$X_{a(-10)} = \frac{m_{A(-10)}/M_A}{m_{A(-10)}/M_A + m_S/M_S}$$

+ Tìm M_S :

$$\text{Ta có: } X_{a(-1,22)} = \frac{m_{A(-1,22)}/M_A}{m_{A(-1,22)}/M_A + m_S/M_S}$$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

Ví dụ 3:

Giải

$$\text{Mà: } \ln X_{a(-1,22)} = \frac{\lambda}{R_g} \left(\frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_{A(-1,22)}} \right) = \frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{271,78} \right) = -0,01187$$

$$\Rightarrow X_{a(-1,22)} = 0,9882$$

$$\Rightarrow M_S = \frac{m_S \cdot M_A \cdot X_{a(-1,22)}}{m_{A(-1,22)} (1 - X_{a(-1,22)})} = \frac{0,173.18.0,9882}{0,827(1 - 0,9882)} = 315,337$$

+ Tìm $X_{a(-10)}$:

$$\ln X_{a(-10)} = \frac{\lambda}{R_g} \left(\frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_{A(-10)}} \right) = \frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{263} \right) = -0,10056$$

$$\Rightarrow X_{a(-10)} = 0,9043$$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Độ hạ băng điểm (Freezing temperature depression)

Ví dụ 3:

Giải

$$\Rightarrow m_A = \frac{X_{a(-10)} \cdot M_A \cdot m_S}{M_S(1 - X_{a(-10)})} = \frac{0,904 \cdot 18 \cdot 0,173}{315,337(1 - 0,904)} = 0,0931 = 9,31\%$$

Vậy khi lạnh đông quả mâm xôi ở nhiệt độ -10°C , tỷ lệ nước không đóng băng trong toàn khối thực phẩm là 9,31%.

Tỷ lệ nước không đóng băng so với lượng nước ban đầu là:
 $0,0931/0,827 = 0,113 = 11,3\%$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Bài tập 1: Một thực phẩm chứa 15% chất tan là muối ăn. Xác định nhiệt độ bắt đầu đóng băng của sản phẩm. Giả sử sản phẩm có chứa 85% nước.

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Bài tập 2: Dự đoán nhiệt độ bắt đầu đóng băng của nước cam ở 12 °Brix và nước cam cô đặc 48°Brix. Nồng độ tính theo phần trăm khối lượng (w/w) Biết dung dịch chủ yếu là đường có khối lượng phân tử là 180.

Bài tập 3: Xác định tỉ lệ nước không đóng băng trong quá trình lạnh đông nạc bò ở -10°C. Biết thành phần của nạc bò gồm 77% nước, 22% protein, 1% tro và nhiệt độ bắt đầu đóng băng là -1,75°C.

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Bài tập 1: Dự đoán nhiệt độ bắt đầu đóng băng của nước cam ở 12 °Brix và nước cam cô đặc 48°Brix. Nồng độ tính theo phần trăm khối lượng (w/w) Biết dung dịch chủ yếu là đường có khối lượng phân tử là 180.

Giải

+ Nước cam ở 12 °Brix là:
$$X_a = \frac{0,88/18}{0,88/18 + 0,12/180} = 0,9865$$

Nhiệt độ bắt đầu đóng băng:
$$\frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T_A} \right) = \ln 0,9865$$

$$\Rightarrow T_A = 271,6 \text{ K} = -1,4 \text{ °C}$$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Bài tập 1: Dự đoán nhiệt độ bắt đầu đóng băng của nước cam ở 12 °Brix và nước cam cô đặc 48°Brix. Nồng độ tính theo phần trăm khối lượng (w/w) Biết dung dịch chủ yếu là đường có khối lượng phân tử là 180.

Giải

+ Nước cam ở 48°Brix là:
$$X_a = \frac{0,52/18}{0,52/18 + 0,48/180} = 0,9155$$

Nhiệt độ bắt đầu đóng băng:
$$\frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T_A} \right) = \ln 0,9155$$

$$\Rightarrow T_A = 264,18 \text{ K} = -8,82 \text{ °C}$$

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Nhiệt dung riêng: Nhiệt dung riêng của sản phẩm dựa vào thành phần nguyên liệu:

$$C_p = C_{pp}m_p + C_{pf}m_f + C_{pc}m_c + C_{pa}m_a + C_{pu}m_u$$

Trong đó:

C_{pp}, m_p : NDR, khối lượng của protein có trong sản phẩm

C_{pf}, m_f : NDR, khối lượng của lipid có trong sản phẩm

C_{pc}, m_c : NDR, khối lượng của carbohydrate có trong sản phẩm

C_{pa}, m_a : NDR, khối lượng của khoáng có trong sản phẩm

C_{pu}, m_u : NDR, khối lượng của **nước chưa đóng băng** có trong sản phẩm

Bảng 5 Nhiệt dung riêng của một số thành phần tinh khiết được tính cho thực phẩm lỏng

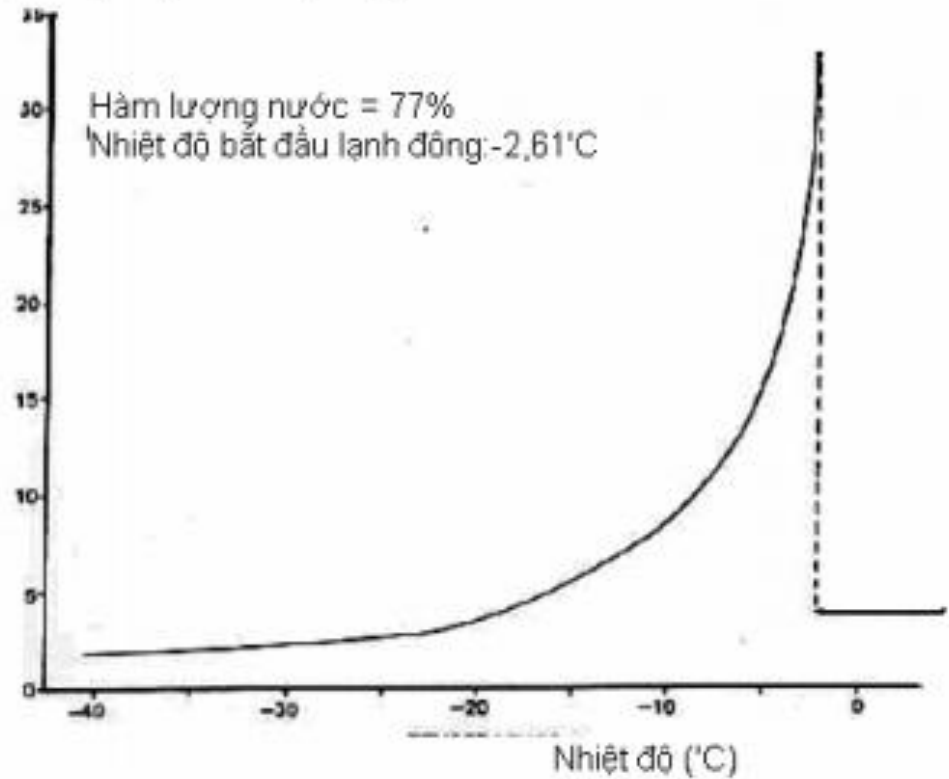
T (°C)	Nhiệt dung riêng (kJ/kg.°C)				
	Nước	Protein	Lipid	Carbohydrat	Tro
20	4,180	1,711	1,928	1,547	0,908
30	4,172	1,765	1,953	1,586	0,937
40	4,174	1,775	1,981	1,626	0,947
50	4,176	1,842	2,004	1,639	0,976
60	4,179	1,891	2,036	1,691	1,01
70	4,185	1,914	2,062	1,734	1,025
80	4,193	1,942	2,098	1,968	1,045
90	4,199	1,967	2,124	1,787	1,057
100	4,21	1,993	2,141	1,824	1,059

Nguồn : Choi và Okos (1986)

NDR biểu kiến trong quá trình lạnh đông:

$$C_{pA}(T) = \frac{dH}{dT}$$

Nhiệt dung riêng biểu kiến, kJ/kgC



Hình 4 Tác động của nhiệt độ đến sự thay đổi nhiệt dung riêng biểu kiến của quả anh đào ngọt lạnh đông

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Hệ số dẫn nhiệt của sản phẩm:

Bảng 7 Hệ số dẫn nhiệt của một số thành phần cơ bản trong thực phẩm lỏng

Hệ số dẫn nhiệt của sản phẩm rắn có thể xem như đồng nhất giữa các thành phần.

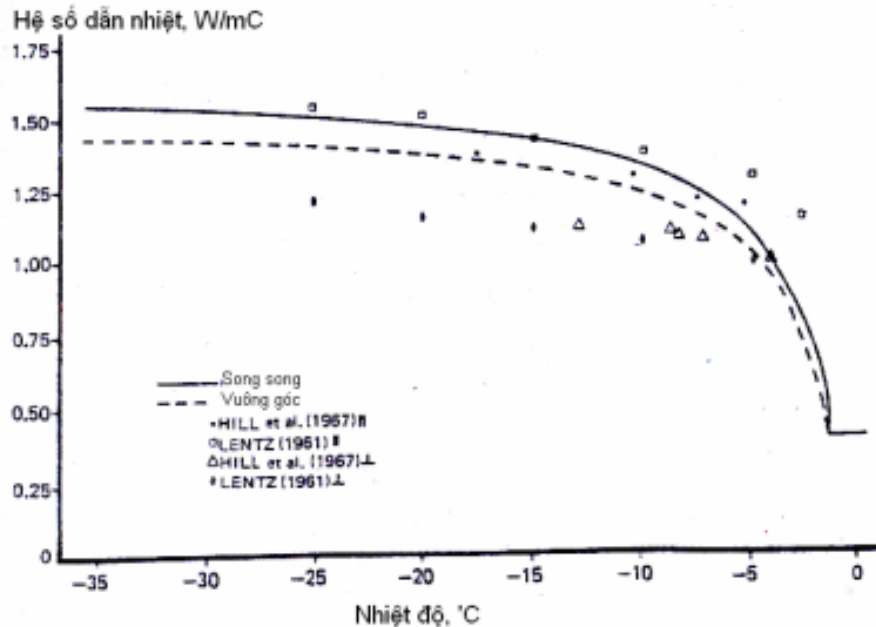
$$k = \sum k_i \cdot m_i$$

Nhiệt độ (⁰ C)	Độ dẫn nhiệt (W/m ⁰ C)				
	Nước	Protein	Lipid	Carbohydrat	Tro
20	0,6012	0,1993	0,1765	0,2039	0,1356
30	0,6191	0,2109	0,1759	0,2178	0,1402
40	0,6332	0,2182	0,1737	0,2285	0,1430
50	0,6464	0,2291	0,1724	0,2386	0,1480
60	0,6542	0,2349	0,1708	0,2463	0,1543
70	0,6643	0,2475	0,1686	0,2594	0,1577
80	0,6712	0,2528	0,1669	0,2632	0,1619
90	0,6768	0,2553	0,1656	0,2665	0,1642
100	0,6827	0,2622	0,1645	0,2723	0,1645

Nguồn: Choi và Okos (1986)

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Hệ số dẫn nhiệt của sản phẩm:



Hình 5 Ảnh hưởng của nhiệt độ lạnh đông đến sự thay đổi hệ số dẫn nhiệt của thịt nạc bò

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

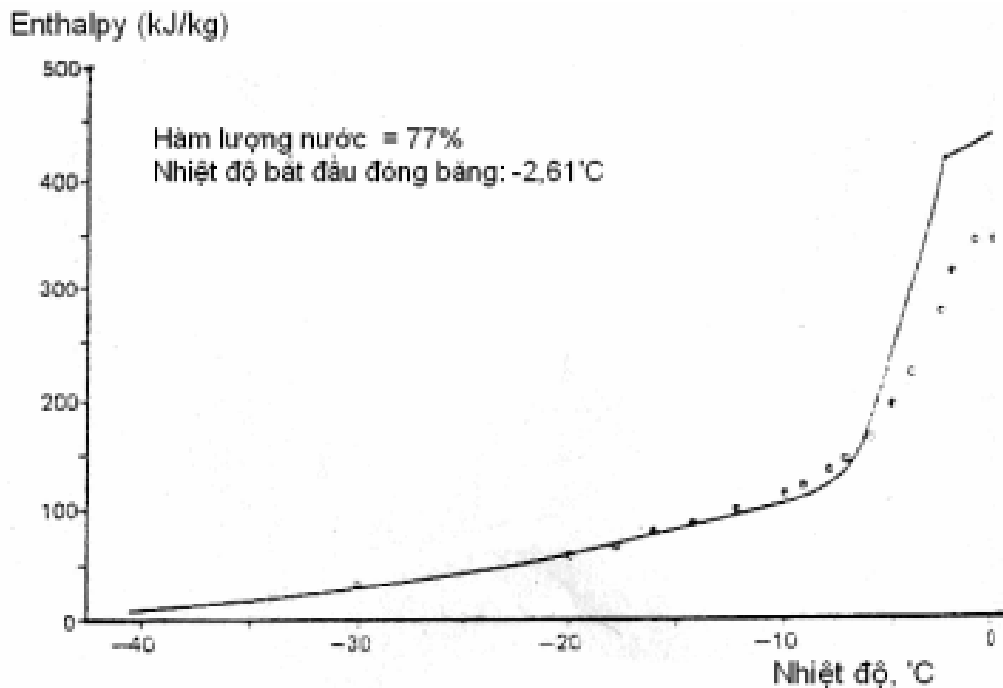
Enthalpy: Dựa trên giá trị ở nhiệt độ tham chiếu -40°C $H =$

$$m_s C_{ps} \int_{-40}^{T_i} dT + m_u C_{pu} \int_{T_F}^{T_i} dT + \int_{-40}^{T_F} m_u(T) \cdot C_{pu}(T) dT + m_u(T) \cdot L + \int_{-40}^{T_F} m_F(T) \cdot C_{ps}(T) dT$$

- *Nhiệt cảm của phần rắn trong thực phẩm ở bất kỳ nhiệt độ nào (T_i)*
- *Nhiệt cảm của phần **nước không đóng băng** (m_u) khi T_i lớn hơn nhiệt độ bắt đầu lạnh đông của sản phẩm (T_F)*
- *Nhiệt cảm của nước không đóng băng trong thực phẩm lạnh đông.*
- *Ẩn nhiệt cho quá trình chuyển pha.*
- *Ảnh hưởng của **lượng nước đã đóng băng** (m_F)*

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Enthalpy:



Hình 6 Tác động của nhiệt độ đến sự thay đổi enthalpy trong quá trình lạnh đông anh đào ngọt

Enthalpy:

Sản phẩm	Nước (%)		Nhiệt độ (°C)								
			-40	-30	-20	-18	-12	-4	-2	-1	0
Nhóm rau quả											
Carrot	82,8	Enthalpy (kJ/kg)	0	21	46	51	72	139	218	357	361
		% UFW ^b	-	-	-	7	11	29	53	100	0
Dưa leo	95,4	Enthalpy (kJ/kg)	0	18	39	43	57	93	125	184	390
		% UFW ^b	-	-	-	-	-	11	20	37	100
Hành	85,5	Enthalpy (kJ/kg)	0	23	50	55	81	163	263	349	353
		% UFW ^b	-	5	8	10	16	38	71	100	-
Spinach	90,2	Enthalpy (kJ/kg)	0	19	40	44	60	103	145	224	371
		% UFW ^b	-	-	-	-	6	16	28	53	100
Dầu tây	89,3	Enthalpy (kJ/kg)	0	20	44	49	67	127	191	318	367
		% UFW ^b	-	-	5	-	9	24	43	86	100
Mâm xôi	82,7	Enthalpy (kJ/kg)	0	20	47	53	75	148	231	340	344
		% UFW ^b	-	-	7	8	13	33	61	100	-
Anh đào ngọt	77,0		0	26	58	66	100	225	317	320	324
			-	9	15	17	26	67	100	-	-
Cà chua (thịt quả)	92,9	Enthalpy (kJ/kg)	0	20	42	47	63	114	166	266	382
		% UFW ^b	-	-	-	-	6	18	33	65	100
Nhóm trứng											
Lòng trắng	86,5	Enthalpy (kJ/kg)	0	18	39	43	58	96	134	210	352
		% UFW ^b	-	-	10	-	-	23	40	82	100
Lòng đỏ	40,0	Enthalpy (kJ/kg)	0	19	40	45	62	99	128	182	191
		% UFW ^b	20	-	-	22	-	38	58	94	100
Nguyên trứng (cả vỏ ^c)	66,4	Enthalpy (kJ/kg)	0	17	36	40	55	88	117	175	281

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Hệ số khuếch tán nhiệt biểu kiến:

$$\alpha_A (T) = \frac{k(T)}{\rho(T)C_{pA}(T)}$$

Trong đó:

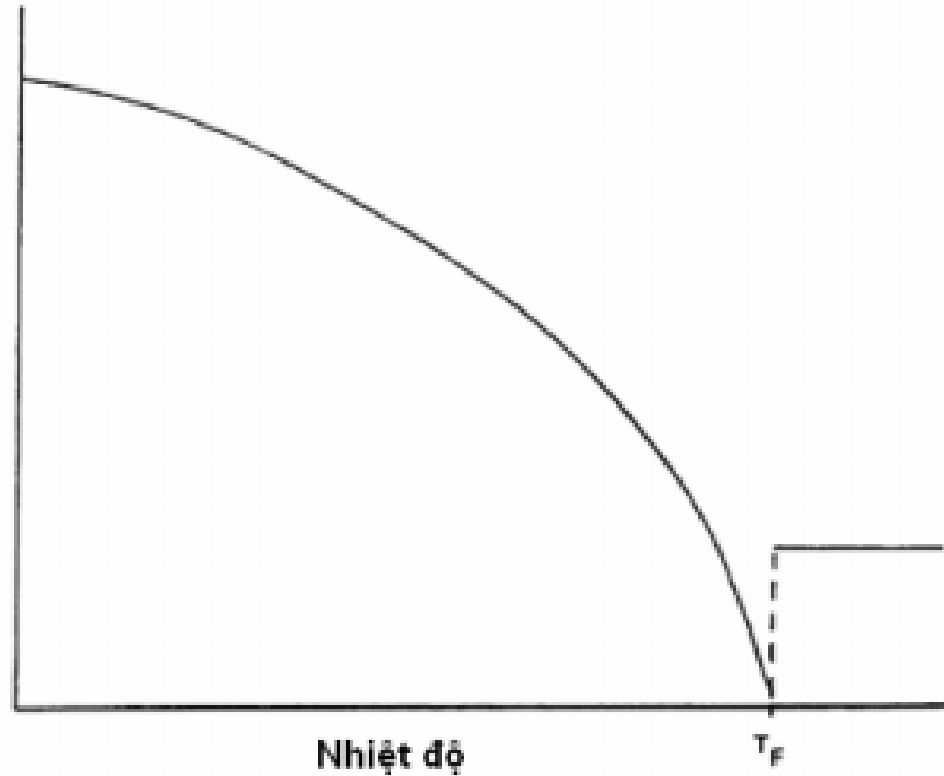
$\alpha_A (T)$: hệ số khuếch tán nhiệt (m^2/s)

$k(T)$: hệ số dẫn nhiệt của thực phẩm ($\text{W}/\text{m.K}$)

$\rho(T)$: khối lượng riêng của thực phẩm (kg/m^3)

$C_{pA}(T)$: nhiệt dung riêng của thực phẩm ($\text{J}/\text{kg.K}$)

Hệ số khuếch tán nhiệt



Hình 5 Mỗi quan hệ giữa hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt độ trong suốt quá trình lạnh đông thực phẩm

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Bảng 8 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất của nước đá

Nhiệt độ (°C)	Hệ số dẫn nhiệt (W/mK)	Nhiệt dung riêng (kJ/kg.K)	Khối lượng riêng (kg/m ³)
-101	3,50	1,382	925,8
-73	3,08	1,587	924,2
-45,5	2,72	1,783	922,6
-23	2,41	1,922	919,4
-18	2,37	1,955	919,4
-12	2,32	1,989	919,4
- 7	2,27	2,022	917,8
	2,22	2,050	916,2

Nguồn: Dickerson, 1969

3. Tính chất của thực phẩm lạnh đông

Bảng 9 Hệ số truyền nhiệt của môi trường lạnh đông

Điều kiện	Hệ số truyền nhiệt (W/mK)
Tuần hoàn tự nhiên	5
Không khí (air blast)	22
Lạnh đông tiếp xúc	56
Lạnh đông bằng nước muối tuần hoàn chậm	56
Lạnh đông bằng nước muối tuần hoàn nhanh	85
Lạnh đông bằng Nitơ lỏng	
- Lưu chất di chuyển dưới tấm phẳng nằm ngang	170
- Lưu chất di chuyển ở trên tấm phẳng nằm ngang	425
Nước sôi	568

Nguồn: Heldman và Singh, 1981

Ví dụ 3: Nạc thịt bò có thành phần 77% nước, 22% protein và 1% tro. Nhiệt độ ban đầu của sản phẩm 10°C và nhiệt độ cuối là -10°C. Nhiệt độ ban đầu bắt đầu đóng băng -1,75°C. Tính khối lượng riêng, nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt của thực phẩm ở 10°C và -10°C.

Giải

*** Ở 10°C:**

+ Khối lượng riêng: $\frac{1}{\rho} = 0,77 \frac{1}{997,6} + 0,22 \frac{1}{1289,4} + 0,01 \frac{1}{1743,4} = 9,48$
 $\Rightarrow \rho = 1054,6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

+ Hệ số dẫn nhiệt:

$$k = 0,77 \cdot 0,6012 + 0,22 \cdot 0,1993 + 0,01 \cdot 0,1356 = 0,508 \text{ (W/m.K)}$$

+ Nhiệt dung riêng:

$$C_p = 0,77 \cdot 4,18 + 0,22 \cdot 1,711 + 0,01 \cdot 0,908 = 3,604 \text{ (kJ/kg.K)}$$

Giải

*** Ở -10°C:**

- Lượng nước không đóng băng ở -10°C là:

$$X_{a(-10)} = \frac{m_{A(-10)}/M_A}{m_{A(-10)}/M_A + m_S/M_S}$$

+ Tìm M_S :

$$\text{Ta có: } X_{a(-1,75)} = \frac{m_{A(-1,75)}/M_A}{m_{A(-1,75)}/M_A + m_S/M_S}$$

$$\text{Mà: } \ln X_{a(-1,75)} = \frac{\lambda}{R_g} \left(\frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_{A(-1,75)}} \right) = \frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{271,25} \right) = -0,0171$$

$$\Rightarrow X_{a(-1,75)} = 0,9831$$

$$\Rightarrow M_S = \frac{m_S \cdot M_A \cdot X_{a(-1,75)}}{m_{A(-1,75)}(1 - X_{a(-1,75)})} = \frac{0,23 \cdot 18 \cdot 0,9831}{0,77(1 - 0,9831)} = 312,8$$

Giải

*** Ở -10°C:**

- Lượng nước không đóng băng ở -10°C là: $X_{a(-10)} = \frac{m_{A(-10)}/M_A}{m_{A(-10)}/M_A + m_S/M_S}$

+ Tìm $X_{a(-10)}$:

$$\ln X_{a(-10)} = \frac{\lambda}{R_g} \left(\frac{1}{T_{Ao}} - \frac{1}{T_{A(-10)}} \right) = \frac{6003}{8,314} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{263} \right) = -0,10056$$

$$\Rightarrow X_{a(-10)} = 0,9043$$

$$\Rightarrow m_A = \frac{X_{a(-10)} \cdot M_A \cdot m_S}{M_S(1 - X_{a(-10)})} = \frac{0,9043 \cdot 18 \cdot 0,23}{312,8(1 - 0,9043)} = 0,125 = 12,5\%$$

100 g thịt bò thì làm lạnh đến -10°C sẽ có 12,5 g nước không đóng băng

Nhưng nước trong thực phẩm ban đầu chỉ có 77 g nên nước đóng băng trong thực phẩm so với nước ban đầu là: $12,5/77 = 0,162 = 16,2\%$

Lượng nước đóng băng trong thực phẩm: $77 - 16,2 = 60,8\% = 0,68$

Giải

* $\ddot{O} -10^{\circ}\text{C}$:

$$+ \frac{1}{\rho} = m_u \frac{1}{\rho_u} + m_s \frac{1}{\rho_s} + m_i \frac{1}{\rho_i}$$
$$= 0,125 \frac{1}{997,6} + 0,22 \frac{1}{1289,4} + 0,01 \frac{1}{1743,4} + 0,645 \frac{1}{918,8} = 1,004.10^{-3}$$

$$\Rightarrow \rho = 996,35 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$+ k = 0,125.0,6012 + 0,645.2,3 + 0,22.0,1993 + 0,1356.0,01 = 1,6 \text{ (W/m.K)}$$

$$+ C_p = 0,125.4,18 + 0,645.2,0 + 0,22.1,711 + 0,01.0,908 = 2,198 \text{ (kJ/kg.K)}$$

Bảng Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tỷ lệ nước đóng băng trong một số sản phẩm thịt

Nhiệt độ (°C)	Tỷ lệ nước đóng băng (%)		
	Thịt nạc gà	Thịt nạc bò	Fillet cá tuyết
-5	74	74	77
-10	83	82	84
-15		85	87
-20	88	87	89
-30	89	88	91

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Thời gian lạnh đông, theo công thức Planck:

$$t_F = \frac{\rho \cdot L}{T_F - T_\infty} \left(\frac{P \cdot a}{h_c} + \frac{R \cdot a^2}{k} \right)$$

ρ : khối lượng riêng của sản phẩm (kg/m³)

L : nhiệt thoát ra do quá trình kết tinh nước đá (kJ/kg)

$L = \text{độ ẩm} \times 333,22$ (333,22 là nhiệt kết tinh của nước đá (kJ/kg))

T_F : nhiệt độ bắt đầu đóng băng của sản phẩm (°C)

T_∞ : nhiệt độ môi trường lạnh đông (°C)

a : kích thước sản phẩm (m)- **Bề dày hoặc đường kính** của thực phẩm

h_c : hệ số cấp nhiệt của sản phẩm (W/m².K)

k : hệ số dẫn nhiệt của sản phẩm đông lạnh (W/m.K)

P và R: hằng số thay đổi theo dạng hình học của sản phẩm

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Bảng 10 Hằng số hình học P và R để tính toán thời gian lạnh đông

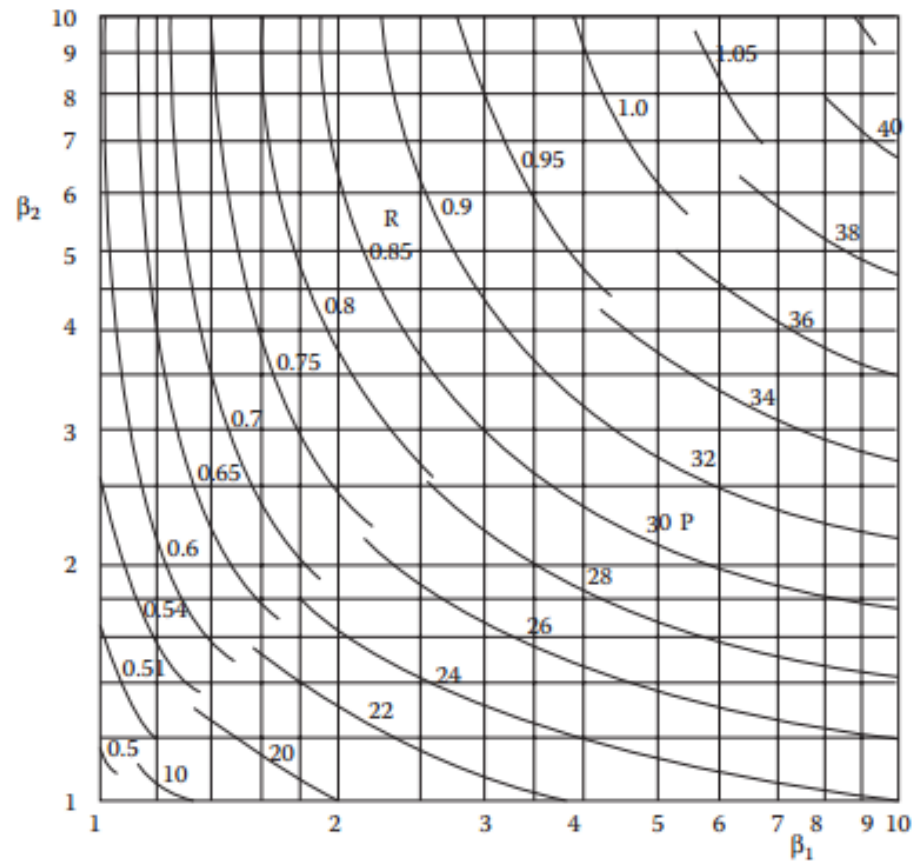
Dạng hình học của thực phẩm	Hằng số P	Hằng số R
Tấm phẳng dài vô hạn	$1/2$	$1/8$
Hình trụ dài vô hạn	$1/4$	$1/16$
Hình cầu	$1/6$	$1/24$

Nếu kích thước của sản phẩm không dài vô hạn hoặc không có dạng hình cầu, sử dụng đồ thị (Hình 6) để ước lượng hằng số P và R

Giá trị β_1 và β_2 được tính như sau:

$$\beta_1 = \frac{\text{chiều rộng}}{\text{kích thước nhỏ nhất}}$$

$$\beta_2 = \frac{\text{chiều dài}}{\text{kích thước nhỏ nhất}}$$



Hình 6 Đồ thị xác định hằng số P và R sử dụng công thức Planck cho nguyên liệu dạng **hình khối**

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Ví dụ 3: Block thịt bò có kích thước $1 \times 0,25 \times 0,6$ m, hệ số cấp nhiệt $30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, nhiệt độ ban đầu là 5°C được làm lạnh đến -10°C , nhiệt độ môi trường -30°C . Khối lượng riêng của thịt bò 1050 kg/m^3 , nhiệt thoát ra trong quá trình kết tinh nước là $333,22 \text{ kJ/kg}$, độ ẩm của thịt là $74,5\%$, hệ số dẫn nhiệt $1,108 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, nhiệt độ bắt đầu đóng băng là $-1,75^\circ\text{C}$. Tìm thời gian lạnh đông theo công thức Planck.

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Ví dụ 3:

Giải

Ta có:

$$\beta_1 = \frac{\text{chiều rộng}}{\text{kích thước nhỏ nhất}} = \frac{0,6}{0,25} = 2,4;$$

$$\beta_2 = \frac{\text{chiều dài}}{\text{kích thước nhỏ nhất}} = \frac{1}{0,25} = 4$$

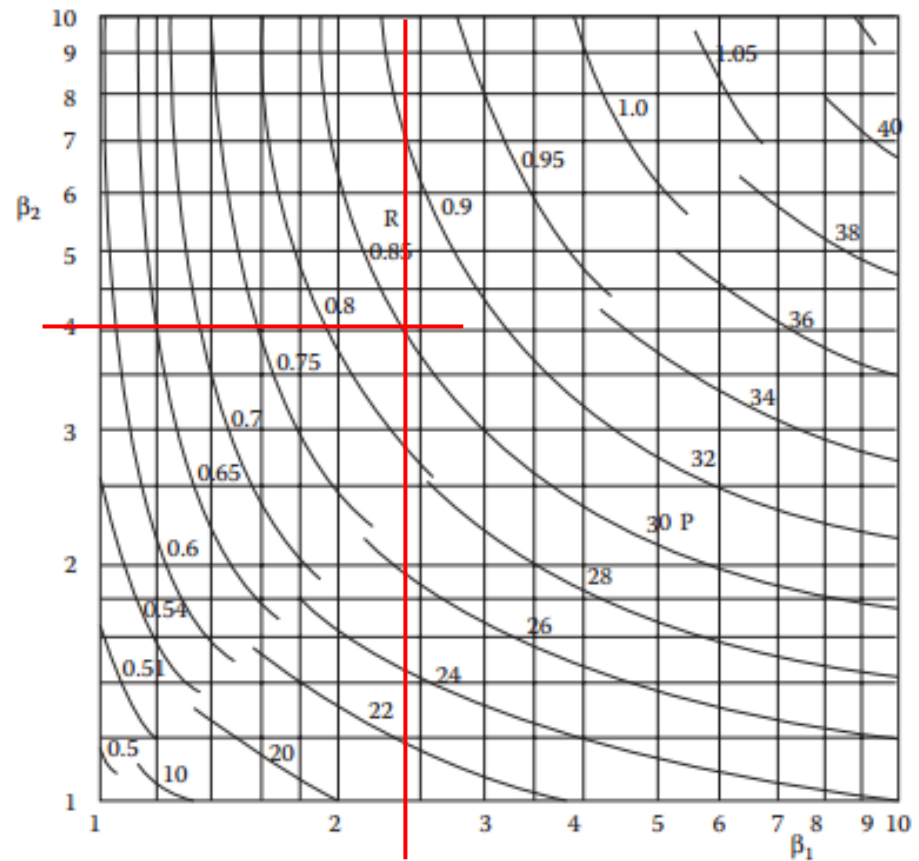
Từ hình 6 tra được $P=0,3$ và $R=0,085$

$$t_F = \frac{\rho.L}{T_F - T_\infty} \left(\frac{P.a}{h_c} + \frac{R.a^2}{k} \right) = \frac{1050.(0,745.333,22.10^3)}{[-1,75 - (-30)]} \left(\frac{0,3.0,25}{30} + \frac{0,085.0,25^2}{1,108} \right) = 67307,6 \text{ s} = 18,7 \text{ giờ}$$

Giá trị β_1 và β_2 được tính như sau:

$$\beta_1 = \frac{\text{chiều rộng}}{\text{kích thước nhỏ nhất}}$$

$$\beta_2 = \frac{\text{chiều dài}}{\text{kích thước nhỏ nhất}}$$



Hình 6 Đồ thị xác định hằng số P và R sử dụng công thức Planck cho nguyên liệu dạng hình khối

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Cleland và Earle đã phát triển công thức Planck:

$$N_{Fo} = P \frac{1}{N_{Bi} \cdot N_{Ste}} + R \frac{1}{N_{Ste}}$$

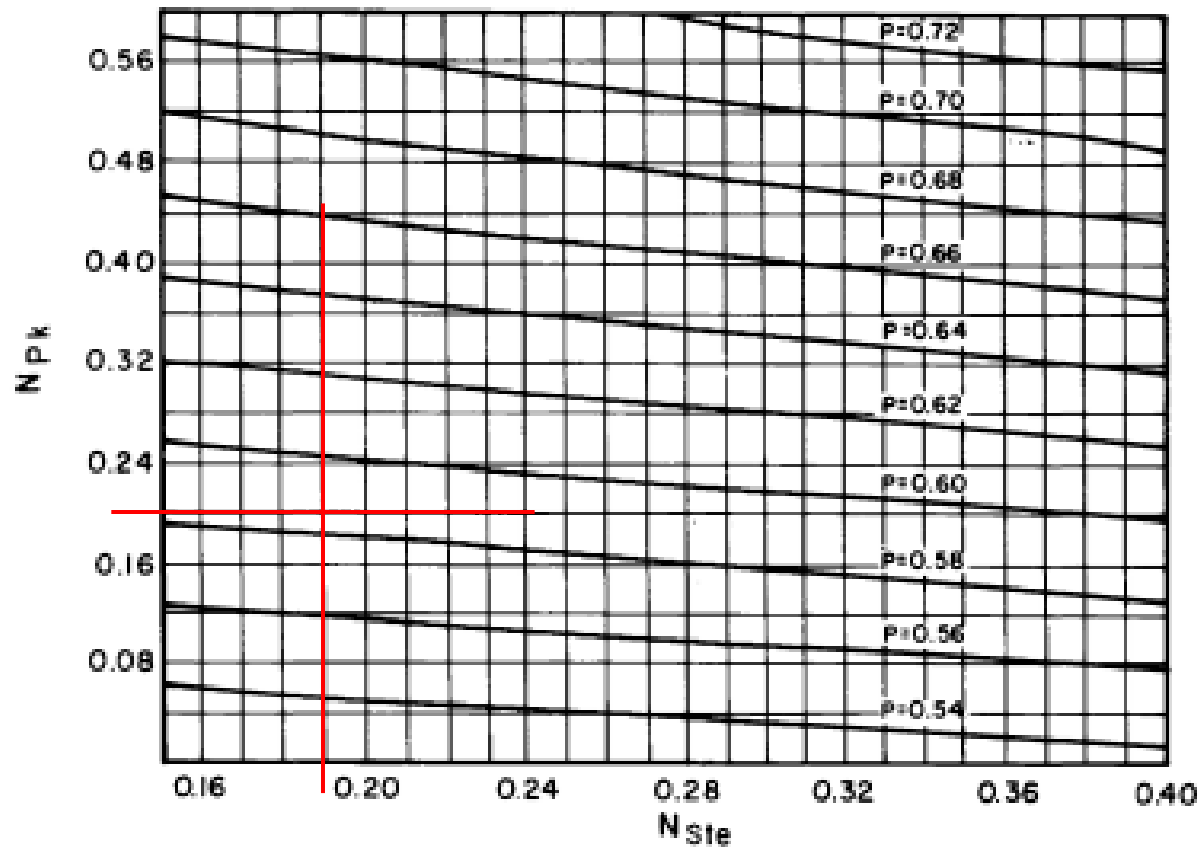
$$N_{Fo} = \frac{\alpha \cdot \tau}{a^2} = \frac{k \cdot \tau}{\rho \cdot C_p \cdot a^2}: \text{chuẩn số Fourier}$$

$$N_{Bi} = \frac{h_c \cdot a}{k}: \text{Chuẩn số Biot}$$

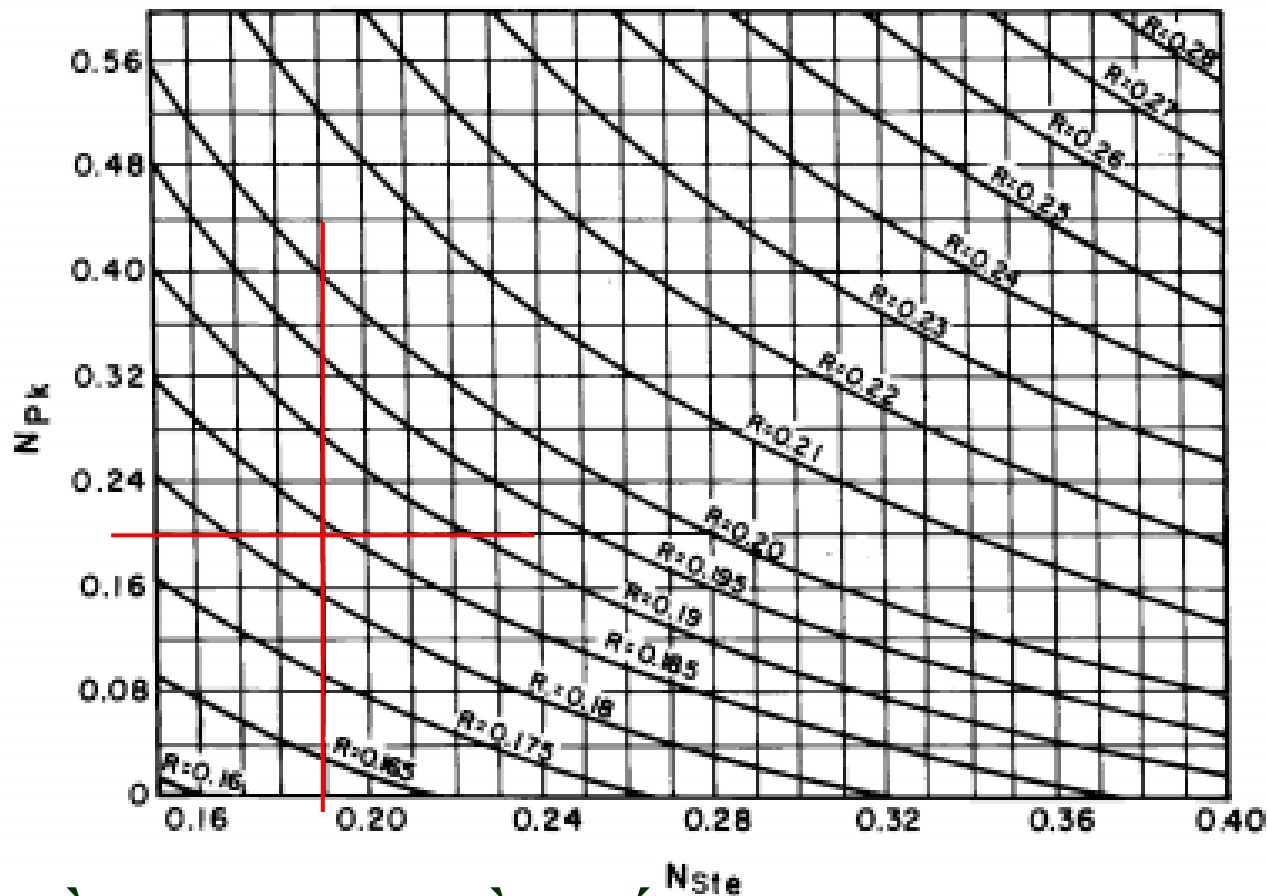
$$N_{Ste} = \frac{C_{pT} \cdot (T_F - T_\infty)}{\Delta H}: \text{chuẩn số Stefan (Hình 7, 8)}$$

$$N_{PK} = \frac{C_{pu} \cdot (T_i - T_F)}{\Delta H}: \text{hằng số Planck (Hình 7, 8)}$$

Truyền nhiệt tương đương: $EHTD = 1 + w_1 + w_2$
(w_1, w_2 được xác định theo **Hình 9**)

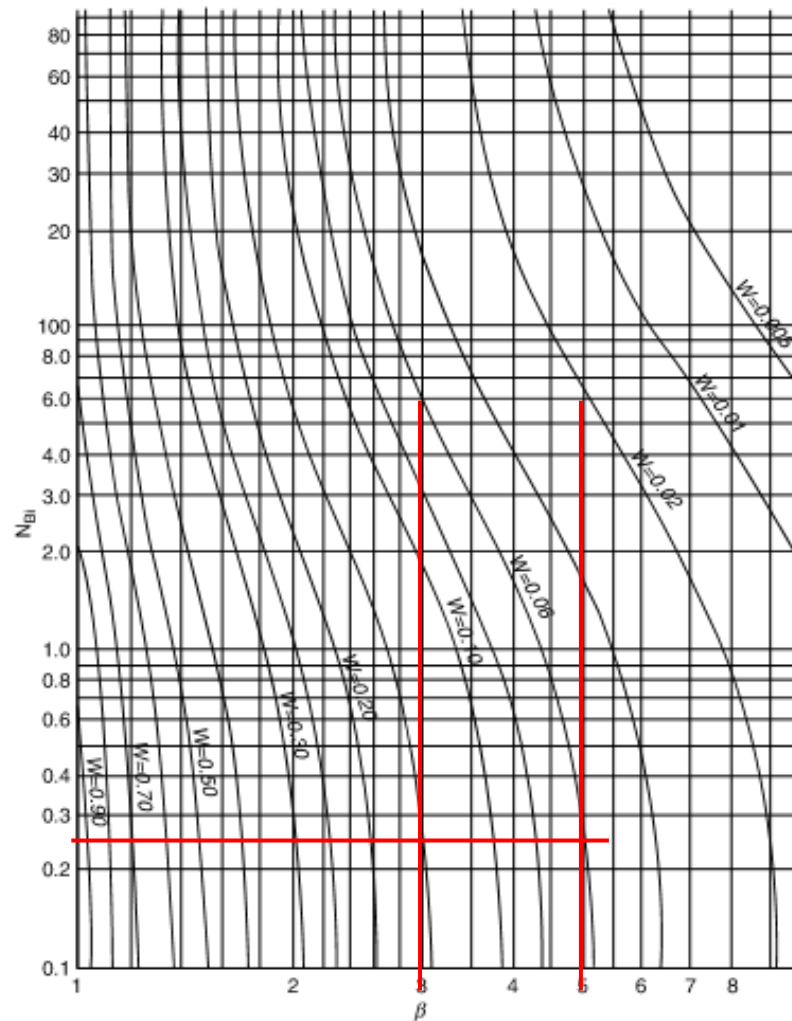


Hình 7 Đồ thị xác định hằng số P theo phương pháp thực nghiệm sử dụng trong công thức Planck theo chỉ số Planck và Stefan



Hình 8 Đồ thị xác định hằng số R theo phương pháp thực nghiệm sử dụng trong công thức Planck theo chỉ số Planck và Stefan ⁵⁸

Hình 9 Đồ thị xác định giá trị w theo tương quan giữa chỉ số Biot và yếu tố hình học β



4. Tính toán thời gian lạnh đông

Ví dụ 4: Block thịt bò có kích thước $0,1 \times 0,06 \times 0,02$ m để lạnh đông trong hệ thống sử dụng không khí với hệ số cấp nhiệt $22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, nhiệt độ ban đầu là 10°C được làm lạnh đến -10°C , nhiệt độ môi trường -20°C . Nhiệt thoát ra trong quá trình kết tinh nước là $333,22 \text{ kJ/kg}$, nhiệt độ bắt đầu đóng băng là $-1,75^\circ\text{C}$. Cho biết thành phần của nạc bò gồm 77% nước, 22% protein và 1% tro. Tìm thời gian cần thiết để lạnh đông sản phẩm

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Ví dụ 4:

Giải

Ta có:

$$N_{Fo} = P \frac{1}{N_{Bi} \cdot N_{Ste}} + R \frac{1}{N_{Ste}}$$

$$N_{Fo} = \frac{\alpha \cdot \tau}{a^2} = \frac{k \cdot \tau}{\rho \cdot C_p \cdot a^2} \Rightarrow \tau = \frac{N_{Fo} \cdot \rho \cdot C_p \cdot a^2}{EHTD \cdot k}$$

Tính:

$$+ N_{Bi} = \frac{h_c \cdot a}{k} = \frac{22 \cdot 0,02}{1,6} = 0,275$$

$$+ N_{Ste} = \frac{C_{pT} \cdot (T_F - T_\infty)}{\Delta H} = \frac{2,198 \cdot (-1,75 - (-20))}{333,22 \cdot 0,6315} = 0,1906$$

Với ΔH = lượng nước đóng băng. 333,22

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Ví dụ 4:

Giải

Tính:

$$+ N_{PK} = \frac{C_{pu} \cdot (T_i - T_F)}{\Delta H} = \frac{3,604 \cdot (10 - (-1,75))}{333,2 \cdot 0,6315} = 0,201$$

+ Xác định P, R: tra hình P=0,58 và R=0,184

+ Tính EHTD: Ta có:

$$\beta_1 = \frac{0,06}{0,02} = 3 \quad \text{và} \quad \beta_2 = \frac{0,1}{0,02} = 5 \Rightarrow \text{Tra hình theo } N_{bi} \text{ và } \beta_1 \text{ và } \beta_2$$

$$\checkmark w_1 = 0,15$$

$$\checkmark w_2 = 0,06$$

$$\Rightarrow \text{EHTD} = 1 + 0,15 + 0,06 = 1,21$$

4. Tính toán thời gian lạnh đông

Ví dụ 4:

Giải

Suy ra: $N_{Fo} = P \frac{1}{N_{Bi} \cdot N_{Ste}} + R \frac{1}{N_{Ste}} = \frac{0,58}{0,275 \cdot 0,1866} + \frac{0,184}{0,1866} = 12,3$

Thời gian lạnh đông:

$$t_F = \frac{N_{Fo} \cdot a^2 \cdot \rho \cdot C_p}{EHTD \cdot k} = \frac{12,3 \cdot 0,02^2 \cdot 997,67 \cdot 2,198 \cdot 1000}{1,209 \cdot 1,198} = 7449 \text{ giây} = 2,1 \text{ giờ}$$

Bài tập làm thêm

Sản phẩm thịt dạng slice có bề dày 8 mm được lạnh đông tiếp xúc bằng thiết bị lạnh đông tấm. Tấm có nhiệt độ -30°C và sản phẩm có độ ẩm 72%, hệ số dẫn nhiệt $1 \text{ W}/(\text{m.K})$, khối lượng riêng $950 \text{ kg}/\text{m}^3$ nhiệt độ ban đầu của sản phẩm là 15°C , nhiệt độ bắt đầu lạnh đông của thịt là -3°C . Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa tấm và thịt là $100 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$. Tính thời gian lạnh đông của slice thịt theo công thức Plank.

h_c hệ số cấp nhiệt của sản phẩm (W/m².K)

$$\frac{1}{h_c} = \frac{1}{\alpha_{dl}} + \frac{x}{k_{bb}} + \frac{1}{\alpha_{bx}}$$

Với α_{dl} : hệ số trao đổi nhiệt đối lưu (W/m².K)

x: bề dày của bao bì (m)

k: hệ số dẫn nhiệt của bao bì (W/m.K)

Bài tập thêm:

- a.** Một miếng thịt được lạnh đông tiếp xúc bằng thiết bị lạnh đông tấm, tấm có nhiệt độ -34°C . Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu $600 \text{ J}/(\text{m}^2.\text{s}^{\circ}\text{C})$. Miếng thịt có bề dày 10 mm , độ ẩm 77% , hệ số dẫn nhiệt của miếng $1,6 \text{ J}/\text{m.s}^{\circ}\text{C}$. Khối lượng riêng $1090 \text{ kg}/\text{m}^3$. Nhiệt độ bắt đầu lạnh đông miếng thịt -2°C . Tính thời gian lạnh đông miếng thịt?
- b.** Nếu miếng thịt được bao gói bên ngoài có bề dày 1mm , hệ số dẫn nhiệt của bao gói là $0,06 \text{ J}/\text{m.s}^{\circ}\text{C}$. Tính thời gian lạnh đông miếng thịt trong trường hợp bao gói?

Bài tập:

Khối cá phi lê dày 5 cm được đông lạnh trong tủ đông dạng tấm (bằng cách tiếp xúc với bề mặt thiết bị lạnh ở cả hai bên). Biết nhiệt độ tấm kim loại -28°C . Cá có nhiệt độ bắt đầu đóng băng là -5°C , khối lượng riêng là 1100 kg/m^3 , độ ẩm 70%, hệ số dẫn nhiệt $1,7 \text{ J/(m.s.K)}$.

a. Tính thời gian lạnh đông khối cá?

b. Thời gian lạnh đông của khối cá phi lê bao lâu nếu được bao gói bằng hộp carton. Độ dày carton là 1,2 mm và hệ số dẫn nhiệt là $0,08 \text{ J/(m.s.K)}$?

Bài tập làm thêm

Một sản phẩm thực phẩm hình cầu được đông lạnh trong thiết bị air-blast. Nhiệt độ sản phẩm ban đầu là 10°C và không khí lạnh là -15°C . Sản phẩm có đường kính 7 cm với khối lượng riêng 1000 kg/m^3 , và hệ số truyền nhiệt đối lưu không khí (hệ số cấp nhiệt) là $50 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Hệ số dẫn nhiệt của sản phẩm là $1,2 \text{ W/m.K}$, nhiệt độ bắt đầu đóng băng là $-1,25^{\circ}\text{C}$, và nhiệt thoát ra cho quá trình kết tinh nước đá của sản phẩm là 250 kJ/kg . Tính toán thời gian lạnh đông bằng công thức Plank.

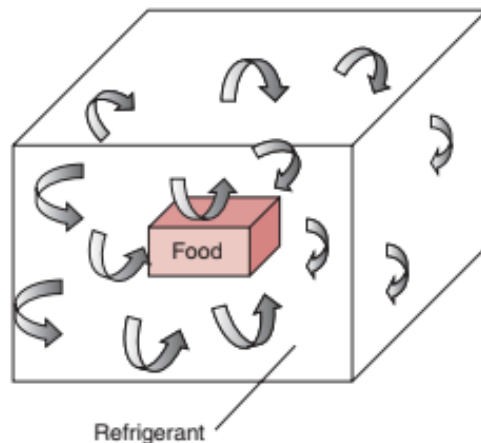
Bài tập 1:

- a) Thịt viên có đường kính 4 cm được làm lạnh bằng hệ thống không khí với hệ số truyền nhiệt là $10 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Tính thời gian làm lạnh đông thịt viên theo công thức Plank. Biết: nhiệt độ phòng lạnh là -40°C , thịt viên có độ ẩm 70%, nhiệt độ bắt đầu đóng băng là -5°C . Khối lượng riêng thịt là 1100 kg/m^3 , hệ số dẫn nhiệt là $1,7 \text{ W/m.K}$. Ẩn nhiệt đóng băng của nước là $333,22 \text{ kJ/kg}$.
- b) Với các thông số như câu a, tính thời gian làm lạnh đông nếu hệ số truyền nhiệt ở $1 \text{ W/m}^2\text{.K}$ và $100 \text{ W/m}^2\text{.K}$?
- c) Với các thông số như câu a, tính thời gian làm lạnh đông nếu đường kính thịt viên là 1 cm?

5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc trực tiếp

- Tác nhân lạnh **tiếp xúc trực tiếp** với bề mặt sản phẩm

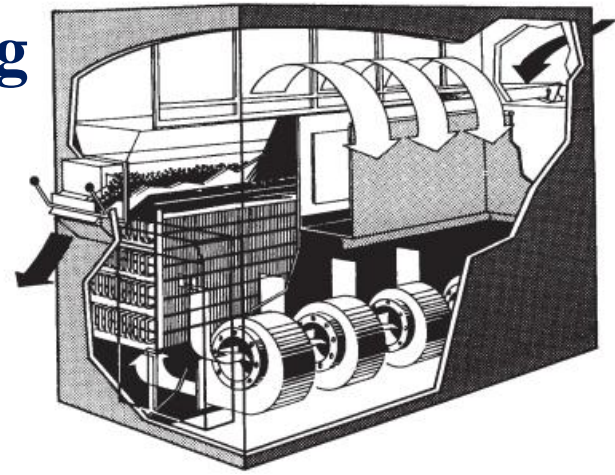


- Tác nhân lạnh:
 - + Không khí lạnh di chuyển ở trên bề mặt sản phẩm với tốc độ cao
 - + Tác nhân lạnh dạng lỏng có thể thay đổi pha trong suốt quá trình lạnh đông

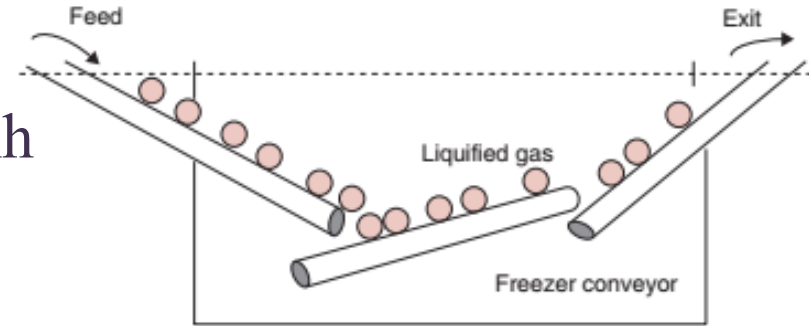
5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc trực tiếp

- Hệ thống lạnh bằng **thổi gió** (Air blast)
 - + Sử dụng không khí nhiệt độ thấp với tốc độ cao tiếp xúc trực tiếp với sản phẩm nhỏ (IQF) → thời gian lạnh đông ngắn (lạnh đông nhanh)
 - + Lạnh đông kiểu nhúng (immersion): sản phẩm nhúng chìm trong tác nhân lạnh (N_2 , CO_2 , Freon) ở dạng lỏng và sự chuyển đổi pha xảy ra



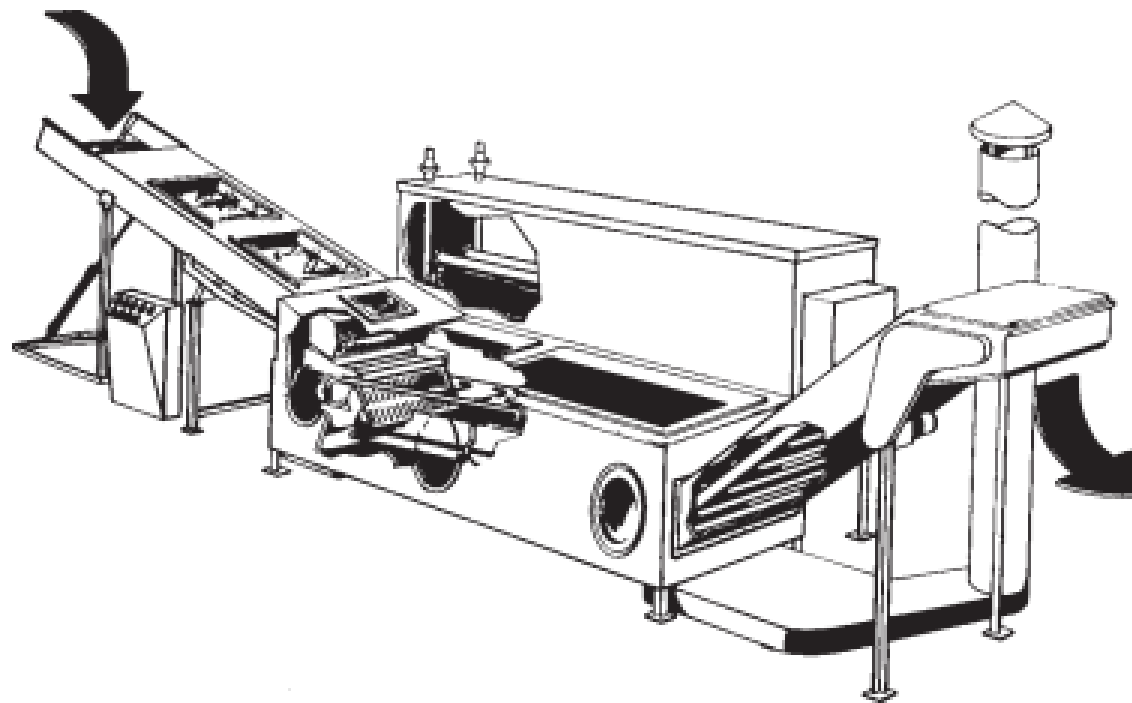
Hệ thống lạnh đông tầng sôi



Hệ thống lạnh đông kiểu nhúng⁷¹

5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc trực tiếp

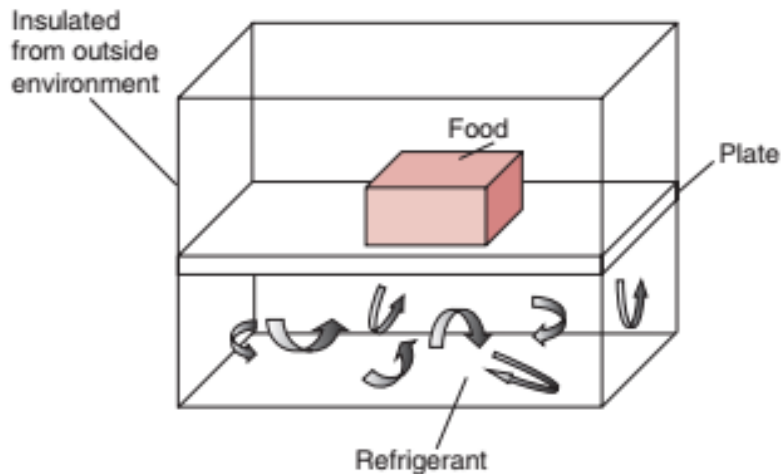


Hệ thống lạnh đông nhanh (IQF) sử dụng tác nhân lạnh dạng lỏng

5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc **gián** tiếp

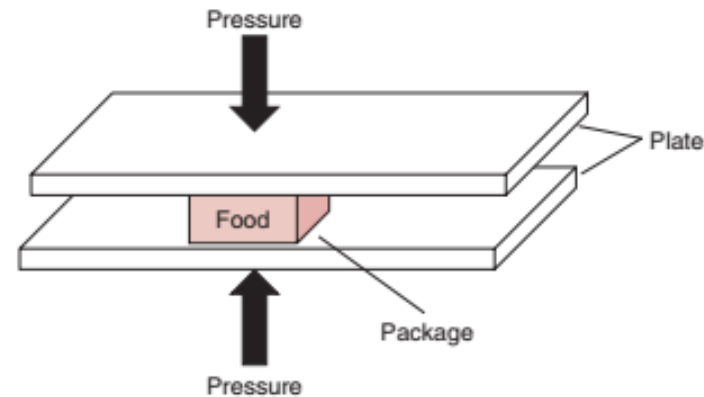
- Thực phẩm được tiếp xúc gián tiếp với chất làm lạnh thông qua rào cản
- Rào cản: bề mặt bao gói sản phẩm, thành phần cấu trúc của hệ thống lạnh



5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc **gián** tiếp

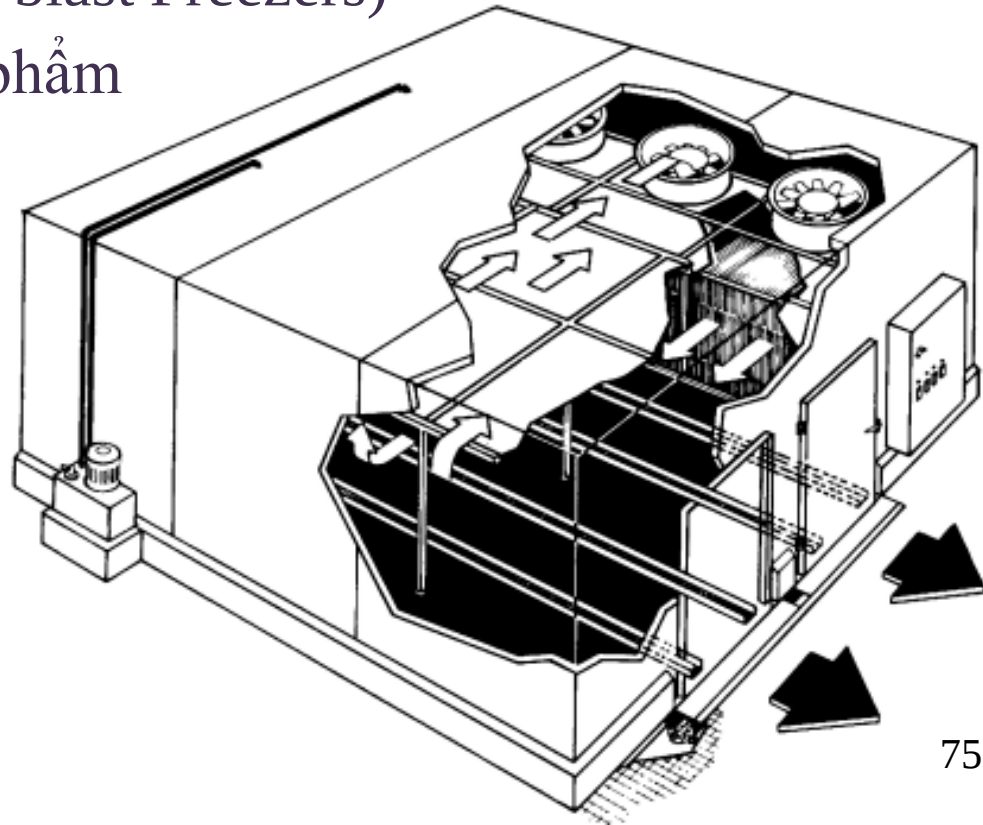
- Lạnh đông **bản mỏng** (Plate Freezers)
- + Rào cản: bản mỏng (plate), bao bì
- + Hoạt động gián đoạn, liên tục
- + Hiệu quả cao nhưng hạn chế hình dạng sản phẩm



5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc **gián** tiếp

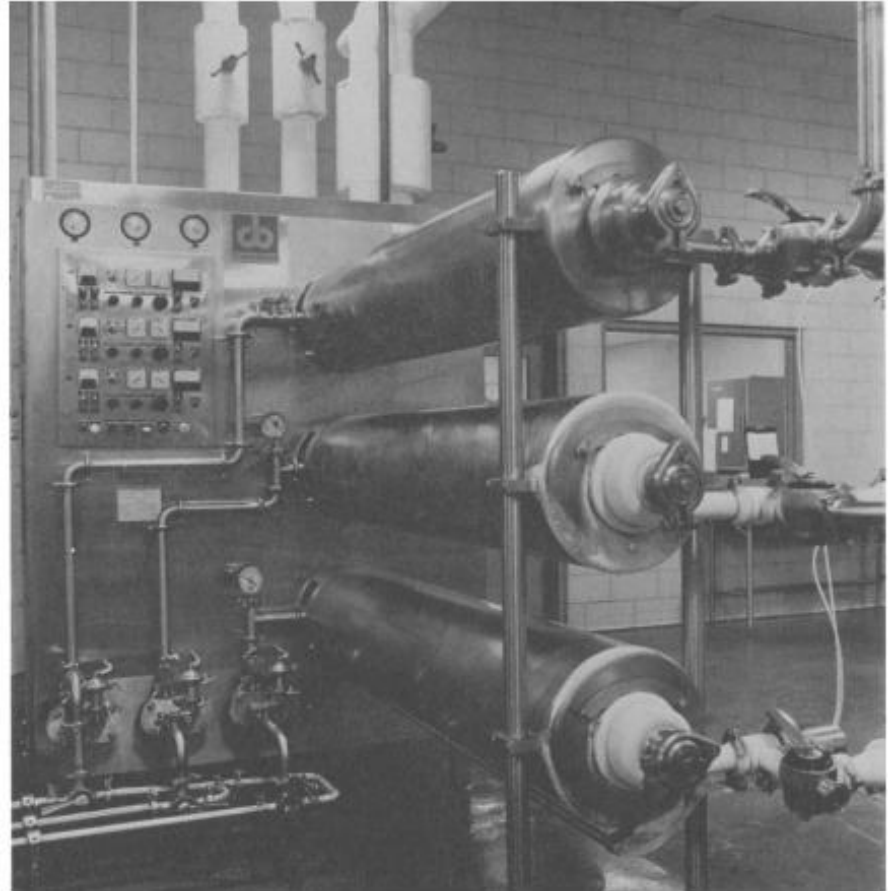
- Lạnh đông **kiểu thổi gió** (Air-blast Freezers)
- + Rào cản: bao bì đóng gói sản phẩm
- + Hoạt động gián đoạn, liên tục



5. Giới thiệu thiết bị và hệ thống lạnh đông

Hệ thống tiếp xúc **gián** tiếp

- Lạnh đông từng phần thực phẩm lỏng (Freezers for liquid Foods)



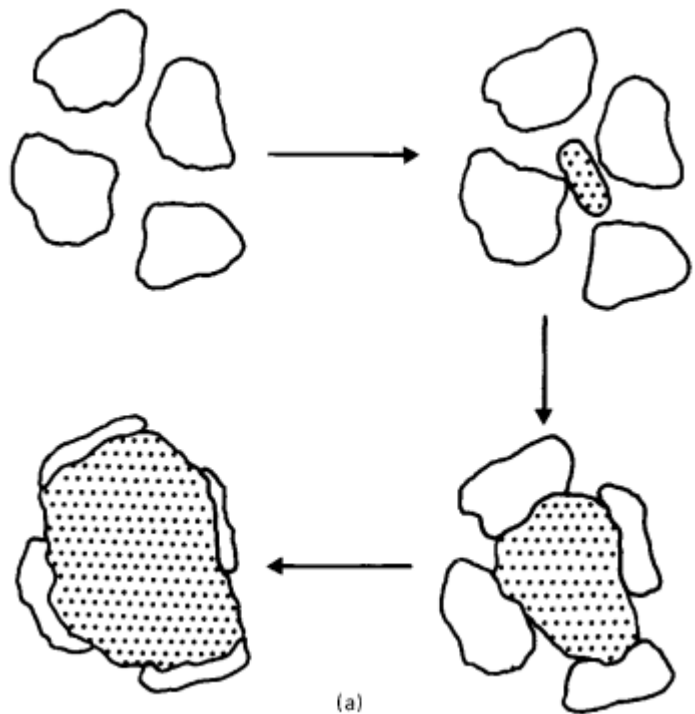
6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Ảnh hưởng của tốc độ lạnh đông đến cấu trúc tế bào thực phẩm

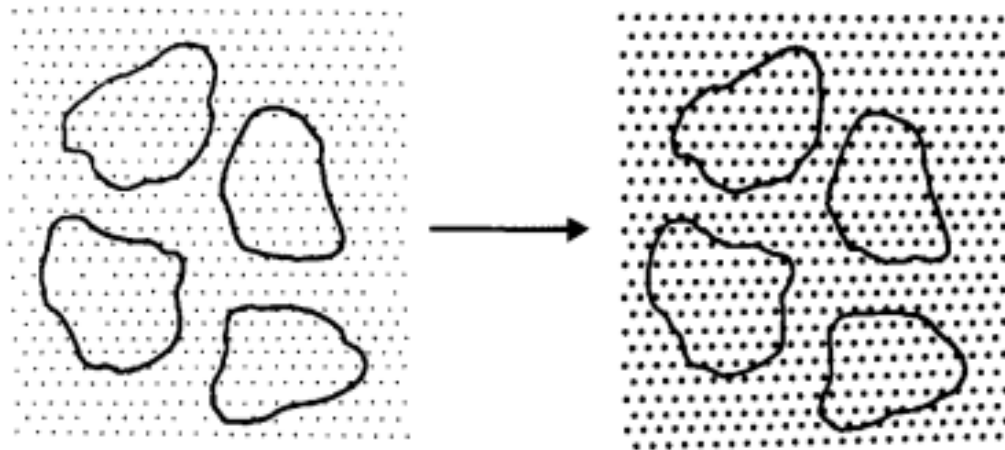
- Sự thay đổi cấu trúc tế bào do sự **phát triển** của **tinh thể đá**.
- Sự khác biệt giữa khả năng kháng chịu đối với sự phá hủy của quá trình lạnh đông giữa **mô tế bào động vật** và **thực vật**.
 - + **Thịt**: cấu trúc sợi **mềm mại** hơn → chỉ bị tách rời trong quá trình lạnh đông mà **không bị đứt, không bị phá hủy cấu trúc quá mức xảy ra**.
 - + **Rau củ, trái cây**: cấu trúc tế bào khá **cứng chắc** hơn → **dễ bị phá hủy do sự hình thành tinh thể đá**.
- Mức độ phá hủy phụ thuộc vào kích thước tinh thể đá → tốc độ truyền nhiệt.

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Ảnh hưởng của tốc độ lạnh đông đến cấu trúc tế bào thực phẩm



(a)



(b)

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Ảnh hưởng của tốc độ lạnh đông đến cấu trúc tế bào thực phẩm

- **Lạnh đông chậm:** tinh thể đá phát triển chủ yếu ở khoảng không gian trong gian bào → biến dạng, phá vỡ các **thành tế bào**.

+ Tinh thể đá có p_h thấp hơn các vùng bên trong tế → nước di chuyển từ tế bào để phát triển tinh thể.

+ Tế bào mất nước, mức độ phá hủy tăng khi nồng độ chất tan tăng và cấu trúc bị biến dạng, bóp méo.

+ **Tan giá:** tế bào không phục hồi lại được hình dạng và khả năng trương phồng ban đầu → **cấu trúc bị mềm, các thành phần trong tế bào sẽ bị rò rỉ ra ngoài từ chỗ vỡ của tế bào (sự mất dịch- drip loss).**

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông



6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Ảnh hưởng của tốc độ lạnh đông đến cấu trúc tế bào thực phẩm

- **Lạnh đông nhanh:** sự hình thành tinh thể đá có kích thước nhỏ hơn ở cả **tế bào** và **không gian trong gian bào** → phá hủy đối với tế bào xảy ra không đáng kể.

- Tốc độ lạnh đông **rất cao**: tạo ra ứng suất (stress) cho một số loại thực phẩm → mô tế bào bị phân cắt dẫn đến phá hủy tất cả **các thành phần tế bào** → enzyme và cơ chất được kết hợp → phản ứng enzyme

+ **Thịt**: hoạt động enzyme protease → **làm thay đổi đặc tính cấu trúc, tăng sự rỉ dịch, khả năng giữ nước của thực phẩm.**

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Lạnh đông ảnh hưởng đến màu sắc, mùi vị và các thành phần dinh dưỡng

- Đặc tính nhũ hóa có thể mất ổn định
- Sự kết tủa protein từ dung dịch chất tan lạnh đông (sữa)
- Sự lão hóa tinh bột

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Ảnh hưởng tốc độ lạnh đông đến giá trị cảm quan đậu xanh

Thời gian yêu cầu để nhiệt độ tâm SP -20°C	Tính chất cảm quan sản phẩm sau khi nấu	Phương thức lạnh đông
<30 phút	Cấu trúc ổn định Màu sắc và vị bình thường	Sử dụng N ₂ lỏng
30 phút – 2 giờ	Mất cấu trúc Màu sắc và vị bình thường	Tủ đông có thổi gió
>12 giờ	Mất cấu trúc Màu sắc và vị bị phá hủy	Tủ đông không có thổi gió

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Lạnh đông tác động sự phát triển Vi sinh vật

- Một số VSV ưa lạnh có thể phát triển ở nhiệt độ rất thấp.
- + Vi khuẩn gram âm: -4°C
- + Vi khuẩn gram dương: -7°C
- + Nấm men và nấm mốc có thể phát triển ở nhiệt độ: -10°C
- Trong quá trình lạnh đông, một lượng VSV sẽ bị tiêu diệt do hình thành tinh thể đá (tùy vào từng loại VSV).
- Nếu lạnh đông chậm, VSV có khả năng phát triển và bị hư hỏng trước khi lạnh đông hoàn tất.
- Làm lạnh cực nhanh, VSV chuyển sang trạng thái ngủ đông

6. Sự biến đổi chất lượng sản phẩm trong quá trình lạnh đông

Lạnh đông tác động sự phát triển Vi sinh vật

Ảnh hưởng vận tốc làm lạnh đến tỷ lệ *E. coli* sống sót

Vận tốc làm lạnh (°C/ phút)	Tỷ lệ <i>E. coli</i> sống sót (% mật số ban đầu)
1	30
10	65
100	18
1000	75

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Biến đổi hóa học

- Có 2 ảnh hưởng:
 - + Nhiệt độ giảm → tốc độ phản ứng hóa học chậm lại
 - + Hoạt động chất nền tăng lên trong nước không đóng băng → biến đổi nhanh hơn
- Sự biến tính protein xảy ra →
 - + Thay đổi cấu trúc
 - + Khả năng giữ nước.
 - + Thịt cá có cấu trúc trở nên dai hơn
 - + Thịt đỏ và thịt gia cầm trở nên cứng hơn
- Phản ứng oxy hóa chất béo xảy ra → ôi hóa của các hợp chất lipid.

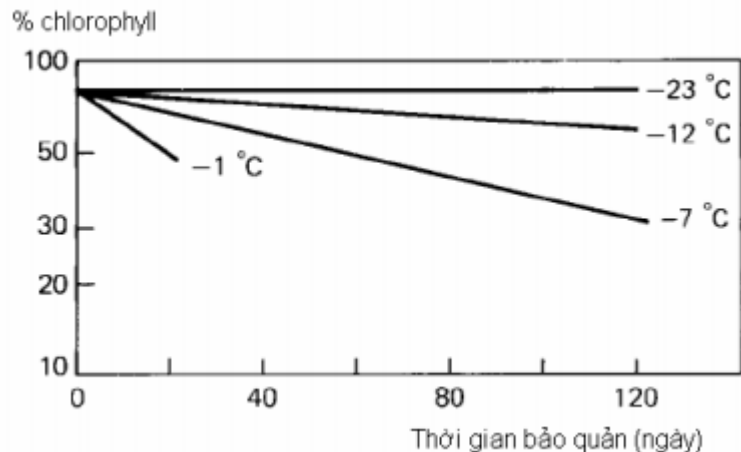
7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Biến đổi hóa học

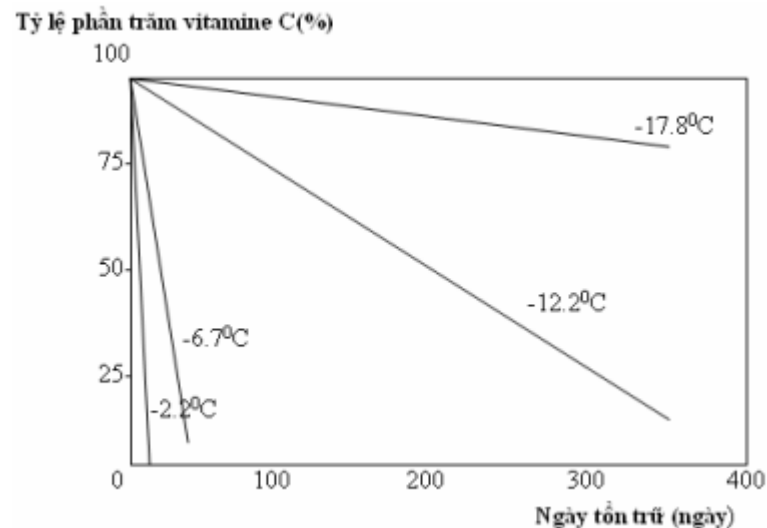
Thay đổi màu sắc:

- **Thịt**: màu đỏ chuyển thành màu nâu (oxymyoglobin $\rightarrow$ metmyoglobin)
- **Rau quả**: biến đổi của các hợp chất phenol và chlorophyll
 - ✓ Sắc lạp và lục lạp bị phá hủy.
 - ✓ Chlorophyll $\rightarrow$ pheophytine (màu nâu).
 - ✓ Sự thay đổi pH $\rightarrow$ thay đổi màu anthocyanine.
- Mùi vị của thực phẩm giảm.
- Giảm hàm lượng các vitamin: vitamin tan trong nước (vitamin C, acid pantothenic) tại tiền lạnh đông.

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông



Hình 10 Ảnh hưởng của thời gian bảo quản đến sự duy trì chlorophyll trong rau



Hình 11 Sự tổn thất vitamin C theo thời gian tồn trữ ở nhiệt độ khác nhau

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Bảng 9 Sự giảm vitamin trong quá trình bảo quản lạnh đông

Product	Loss (%) at -18°C during storage for 12 months						
	Vitamin C	Vitamin B ₁	Vitamin B ₂	Niacin	Vitamin B ₆	Pantothenic acid	Carotene
Beans (green)	52	0-32	0	0	0-21	53	0-23
Peas	11	0-16	0-8	0-8	7	29	0-4
Beef steaks ^a		8	9	0	24	22	-
Pork chops ^a		+ -18	0-37	+ -5	0-8	18	-
Fruit ^b							
Mean	18	29	17	16	-	-	37
Range	0-50	0-66	0-67	0-33	-	-	0-78

+, apparent increase.

^a Storage for 6 months.

^b Mean results from apples, apricots, blueberries, cherries, orange juice concentrate (rediluted), peaches, raspberries and strawberries; storage time not given.

Adapted from Burger (1982) and Fennema (1975b).

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Biến đổi sinh hóa

Khi nhiệt độ giảm, hoạt tính của enzyme sẽ tăng hoặc giảm tùy thuộc vào nồng độ của chúng trong môi trường.

- Rau quả:

- + polyphenoloxydase → gây phản ứng hóa nâu

- + enzyme oxy hóa lipid → làm mất màu, mất mùi và phân hủy carotene

- Sản phẩm **thịt cá**: enzyme thủy phân protein và lipid hoạt động → thay đổi cấu trúc, mùi vị của sản phẩm nấu bảo quản trong thời gian dài

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Tác động của lạnh đông đến sự phát triển vi sinh vật

- Lượng VSV sẽ bị tiêu diệt ở những khu vực có sự hình thành tinh thể đá.
- Sau tan giá các VSV này có thể hồi phục lại.
- Sinh vật kí sinh gây bệnh có thể bị tiêu diệt trong điều kiện lạnh.
- Nấm men, nấm mốc có thể phát triển ở nhiệt độ thấp -10°C .
- Bảo quản ở nhiệt độ gần -10°C hay cao hơn sự hư hỏng do vi sinh vật vẫn có thể xảy ra.
- Khả năng sinh bào tử gây hư hỏng thường phát triển khi nhiệt độ tăng trên $-5^{\circ}\text{C} \rightarrow$ bảo quản, tan giá thịt.
- Việc lạnh đông và trữ đông thực phẩm ở nhiệt độ thấp hơn -10°C .

Câu hỏi:

- 1) Theo em, lạnh đông cá fillet, các điều kiện lạnh đông như nhau, nhiệt độ môi trường lạnh đông -18°C . Nếu nhiệt độ môi trường lạnh đông giảm xuống -34°C thì thời gian lạnh đông tăng hay giảm? Vì sao?
- 2) Thiết bị lạnh đông bản mỏng là dạng lạnh đông trực tiếp hay gián tiếp? Vì sao?
- 3) Cùng loại dung dịch, nếu tăng nồng độ dung dịch thì nhiệt độ bắt đầu đóng băng của dung dịch thay đổi như thế nào?
- 4) Quá trình lạnh đông chậm và lạnh đông nhanh ảnh hưởng đến cấu trúc tế bào động vật và thực vật như thế nào?

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Sự biến đổi vật lý

Sự tái kết tinh

- Khi nhiệt độ tăng nước đá tan chảy. Sự kết tinh lại khó xảy ra với tinh thể đá có kích thước nhỏ. Khi nhiệt độ giảm xuống, nước sẽ kết tinh trở lại → sự **mất ẩm, phá hủy cấu trúc** sản phẩm.
- Các thành phần hòa tan khác trong thực phẩm ở nồng độ thấp → biến thành tinh thể.
- + Lactose ở trong kem → dạng cát (tinh thể) sau một vài tháng bảo quản.

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Sự biến đổi vật lý

Sự cháy lạnh (freezer burn): Sự mất nước diễn ra và hình thành mờ đục trên bề mặt sản phẩm.

- Là nguyên nhân gây ra sự thăng hoa của các tinh thể đá trên bề mặt sản phẩm.



7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Sự biến đổi vật lý

Sự cháy lạnh (freezer burn):

- Khi áp suất hơi nước của đá cao hơn áp suất hơi của không khí môi trường → bề mặt sản phẩm bị **mất nước**.
- Nguyên nhân: nguyên liệu không bao gói, nhiệt độ trong kho lạnh thường thay đổi

7. Bảo quản thực phẩm lạnh đông

Vấn đề khác

- Gia súc vừa mới giết mổ, nếu đem lạnh đông ở giai đoạn tiền tê cứng thì lượng ẩm lớn sẽ bị mất đi, sự co cơ quá mức và sự mất khả năng liên kết nước diễn ra.
- Thịt nghiền ở giai đoạn tiền tê cứng → ướp muối + lạnh đông để giữ liên kết nước và thay đổi điểm đẳng điện của thịt xuống mức pH thấp hơn.

8. Ổn định sản phẩm lạnh đông

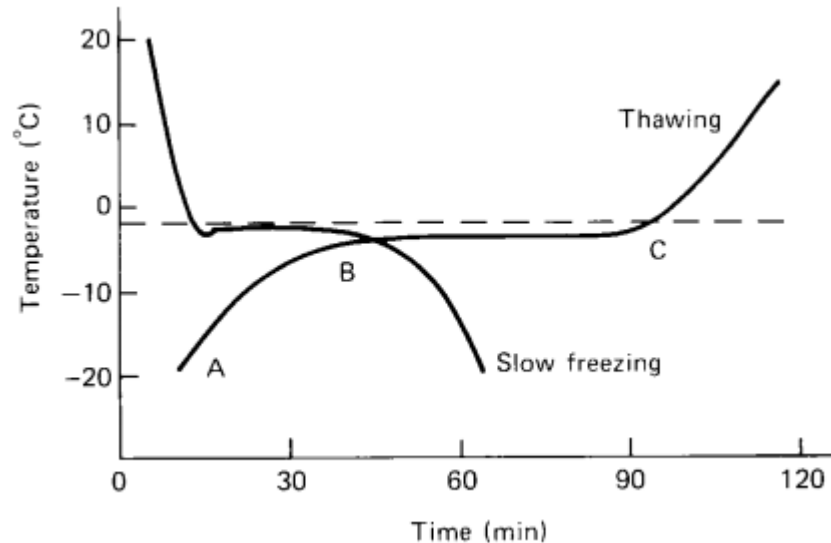
Lạnh đông và tồn trữ đông thực phẩm ở nhiệt độ dưới điểm T_g (nhiệt độ chuyển pha thủy tinh) → Các thành phần trong thực phẩm sẽ được kết tinh ở trạng thái thủy tinh, vô định hình → sản phẩm được bảo quản ở điều kiện “siêu ổn định”

- Nhiệt độ bảo quản **-18°C** : vi sinh vật gây hại bị kiềm hãm hoạt động, vẫn có sự hư hỏng **chất lượng**
- Nhiệt độ **-18°C** đến **-40°C** thường mang lại sự cải thiện tốt hơn về mặt chất lượng

9. Tan giá thực phẩm

Tan giá hay rã đông (thawing):

Quá trình chuyển nước đang ở **trạng thái rắn** trong sản phẩm đông lạnh sang **trạng thái lỏng** mà vẫn giữ nguyên thuộc tính ban đầu .



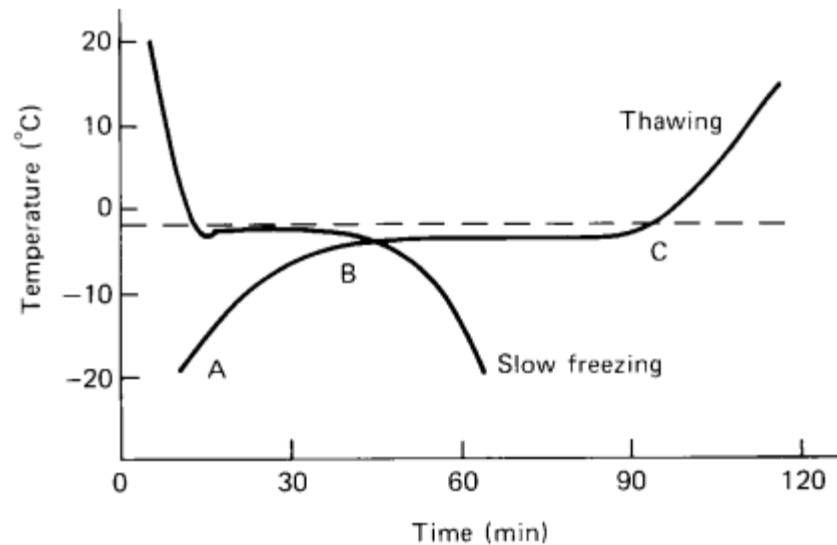
9. Tan giá thực phẩm

Tan giá hay rã đông (thawing):

A-B: tăng nhiệt độ sản phẩm đông lạnh đến điểm đóng băng

B-C: chuyển dạng rắn dịch bào sang dạng lỏng

C-D: sắp xếp lại hàm ẩm trong tế bào để không làm tổn thất dịch bào.



9. Tan giá thực phẩm

Ảnh hưởng của quá trình tan giá đến sự thay đổi chất lượng

- Kỹ thuật tan giá và sự ổn định nhiệt độ trong quá trình trữ đông.
- Dịch rỉ sẽ hình thành các hợp chất dinh dưỡng cho hoạt động của enzyme và VSV.
- Thời gian tan giá dài và gia tăng nguy cơ nhiễm VSV gây hư hỏng và gây bệnh.

9. Tan giá thực phẩm

Ảnh hưởng của quá trình tan giá đến sự thay đổi chất lượng

Sự phát triển vi sinh vật:

- Điều kiện **VSV phát triển** trong suốt quá trình tan giá tốt hơn rất nhiều so với trong quá trình lạnh đông vì:
 - + Dịch rỉ ra (nước + chất dinh dưỡng)
 - + Nhiệt độ môi trường bên ngoài tăng nhanh hơn, nhiệt độ tan giá chậm hơn → nên có nhiều thời gian VSV phát triển.
- Có thể sử dụng không khí 5-7°C, không khí lưu thông nhẹ

9. Tan giá thực phẩm

Ảnh hưởng của quá trình tan giá đến sự thay đổi chất lượng

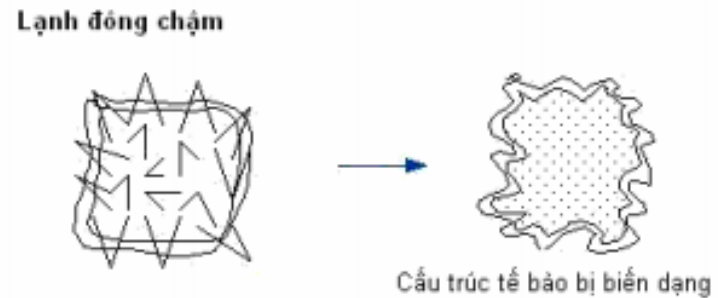
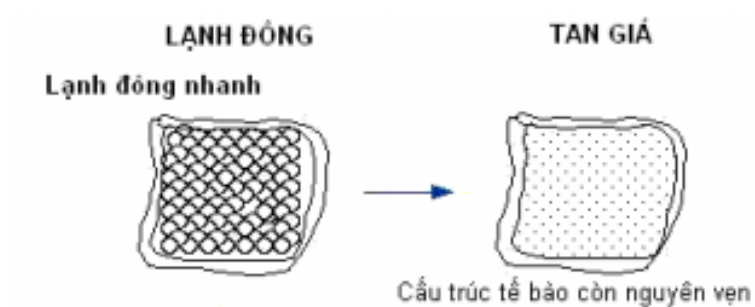
Rĩ dịch (Drip loss):

- Phụ thuộc vào **tốc độ lạnh đông** và **ổn định nhiệt độ** trong quá trình bảo quản lạnh đông

9. Tan giá thực phẩm

Ảnh hưởng của quá trình tan giá đến sự thay đổi chất lượng

- **Lạnh đông chậm:** sau tan giá, tế bào không thể khôi phục trạng thái ban đầu, nước chảy ra ngoài và mang theo chất hòa tan.
- **Lạnh đông nhanh:** không tổn thất dịch bào nhiều khi tan giá.



9. Tan giá thực phẩm

Yêu cầu của kỹ thuật tan giá

- **Tổn thất dịch bào:** thấp nhất. **Rau:** tan giá càng nhanh → dịch bào mất càng nhiều → tan giá chậm, thời gian dài
- **Tổn thất khối lượng:** ít nhất.
 - + Tổn thất dịch bào → sản phẩm hao hụt khối lượng
 - + Bốc hơi nước và giảm khối lượng.
- **Đảm bảo vệ sinh:** cao nhất → tạo môi trường vệ sinh + tan giá nhiệt độ thấp rồi nâng dần lên để giảm bớt ảnh hưởng VSV, enzyme.
- **Thời gian:** ngắn nhất.

9. Tan giá thực phẩm

Thiết bị tan giá

Quá trình tan giá thường được thực hiện theo hai phương pháp:

Nhóm 1: Nhiệt được phát ra từ bên trong thực phẩm (từ trường, vi sóng, điện trở)

Nhóm 2: Nhiệt được truyền dẫn từ bề mặt vào tâm sản phẩm (không khí ẩm đứng yên hoặc chuyển động, nhúng hoặc phun nước hoặc ngưng tụ hơi nước lên sản phẩm).

Yêu cầu:

- Tránh sự quá nhiệt
- Thời gian tan giá ngắn nhất
- Tránh mất nước quá mức của thực phẩm

9. Tan giá thực phẩm

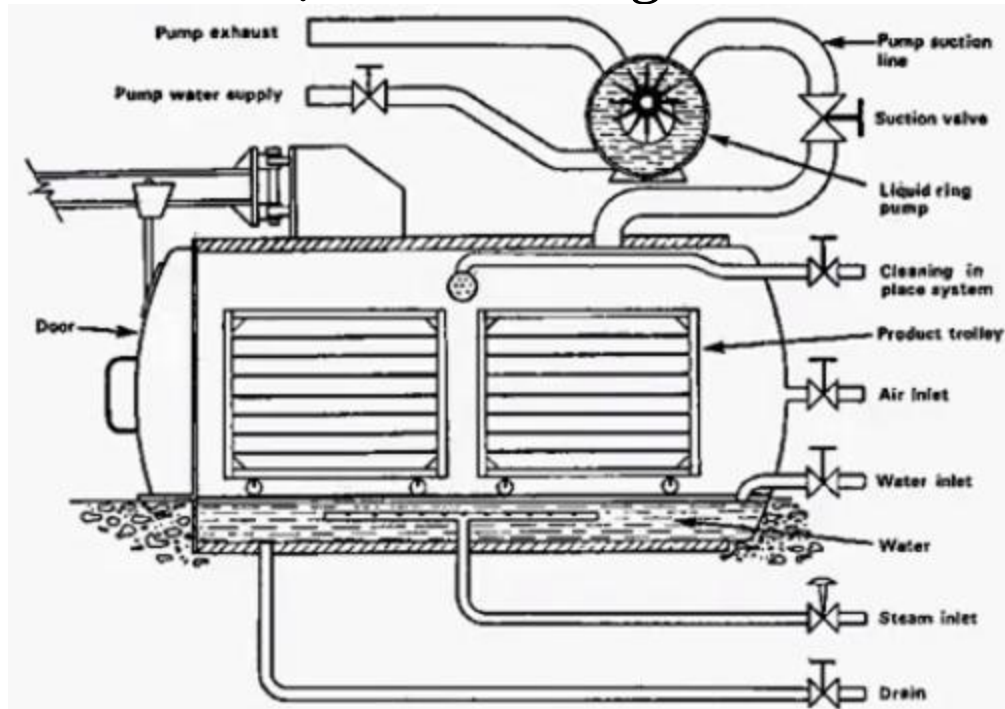
Thiết bị tan giá

- Sử dụng **không khí**: nhiệt độ không khí 2-18°C (8-60h), độ ẩm tương đối không khí cao để giảm mất khối lượng.
- Sử dụng **nước**: thời gian ngắn (1-3h), ngâm vào nước ở nhiệt độ trên điểm nóng chảy (melting point) của thực phẩm. Nước thay đổi thường xuyên và duy trì ở nhiệt độ cao để hạn chế VSV phát triển.

9. Tan giá thực phẩm

Thiết bị tan giá

- Sử dụng **ngưng tụ hơi nước** dưới điều kiện chân không:



9. Tan giá thực phẩm

Thiết bị tan giá

- Sử dụng **vì sóng**:

+ Phát ra sóng điện từ được hấp thụ bên trong thực phẩm → phương pháp rã đông nhanh.

+ Giảm thời gian chế biến nhưng không ảnh hưởng đến chất lượng thực phẩm

+ Phụ thuộc vào yếu tố: tính chất nhiệt, không đồng nhất hình dạng, thành phần thực phẩm (liquid, ice).

9. Tan giá thực phẩm

Thiết bị tan giá

- Sử dụng vi sóng:

