

# ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG ĐỘ HAO HỤT KHỐI LƯỢNG ĐẾN TẢI NHIỆT CỦA THỰC PHẨM TRONG QUÁ TRÌNH CẤP ĐÔNG

THS VŨ HUY KHUÊ

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá sự ảnh hưởng của độ hao hụt khối lượng đến tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm. Các thí nghiệm tiến hành trong nghiên cứu này đã chỉ ra rằng, độ hao hụt khối lượng của cá thu khi cấp đông nằm trong khoảng từ 0,91 đến 1,76%. Với việc sử dụng khái niệm nhiệt dung riêng hiệu dụng, nghiên cứu đã xây dựng phương pháp xác định gần đúng một số thông số nhiệt vật lý của thực phẩm trong quá trình cấp đông. Trên cơ sở đó, bài báo đã chứng minh rằng, sự ảnh hưởng của việc hao hụt khối lượng tới tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm tương đối nhỏ (từ 2,65 đến 5,19%) và có thể bỏ qua khi nghiên cứu bài toán trao đổi nhiệt bên trong thực phẩm cấp đông.

## THE IMPACT OF WEIGHT LOSS ON THE HEAT LOAD OF FOOD DURING FREEZING PROCESS

Summary

This article presents the research results on the impact of the weight loss on the heat load of food during freezing process. The difference between inlet material and outlet product has been examined by experiments which have indicated that the drop level is from 0.91 to 1.76%. With Using the concept of effective heat capacity, the research has developed a theory method for determining the some physical properties of food during freezing process. Based on the results, the paper has demonstrated that the effect of weight loss on the heat load of frozen food is relatively small (from 2.65 to 5.19%) and can be ignored when studying the problem of heat transfer in frozen foods.

## Đặt vấn đề

Để giảm tổn thất sau thu hoạch đối với các sản phẩm nông, lâm, thủy hải sản, thế giới đã áp dụng rộng rãi nhiều công nghệ chế biến, bảo quản. Bên cạnh công nghệ sấy, hấp, bảo quản yếm khí..., công nghệ làm lạnh đông đã được nhiều nước áp dụng với trình độ ngày càng tiên tiến. Hiện nay, Việt Nam đang nghiên cứu và ứng dụng công nghệ bảo quản tươi sống Cells Alive System (CAS) là công nghệ làm lạnh nhanh kết hợp với trường từ đảm bảo giữ được cấu trúc tế bào trong thực phẩm không bị phá hủy sau cấp đông. Công nghệ này được Tập đoàn ABI của Nhật Bản hỗ trợ chuyển giao, giúp bảo quản sản phẩm rất lâu sau cấp đông mà vẫn giữ được độ tươi ngon. Để làm chủ và ứng dụng hiệu quả công nghệ lạnh đông, những nghiên cứu về quá trình trao đổi nhiệt và trao đổi chất trong quá trình lạnh đông thực phẩm cần phải được tiến hành nhằm cung cấp những hiểu biết về cơ chế làm lạnh cấp đông cho các đối tượng thực phẩm khác nhau. Đây là tiền đề cho việc nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm tiêu hao năng lượng và là dữ liệu đầu vào tin cậy cho việc tính toán, thiết kế hệ thống cấp đông sau này.

Một trong những yếu tố quan trọng cần xem xét khi tính toán, thiết kế hệ thống cấp đông là tải nhiệt cấp đông của thực phẩm. Lượng nhiệt này được tạo ra khi nhiệt độ thực phẩm giảm từ nhiệt độ ban đầu xuống nhiệt độ cuối của quá trình cấp đông. Bên cạnh quá trình giảm nhiệt độ này, quá trình cấp đông còn có thể gây ra hiện tượng hóa hơi/thăng hoa (*Dehydration*) trên bề mặt thực phẩm. Trong quá trình làm lạnh, nước ở pha lỏng sẽ bay hơi vào trong môi trường cấp đông, sau đó nước trên bề mặt thực phẩm sẽ thực hiện quá trình chuyển pha lỏng - rắn, tạo nên lớp băng trên bề mặt. Do chênh lệch áp suất hơi nước, quá trình thăng hoa trên bề mặt lớp băng diễn ra cũng gây ra hiện tượng hụt khối lượng của thực phẩm.

Các nghiên cứu thực nghiệm [1, 2, 3] đã chỉ ra rằng, độ hao hụt khối lượng của thực phẩm trong quá trình cấp đông nằm trong khoảng từ 1 đến 4%. Quá trình dehydration này sẽ thu một phần nhiệt lượng từ thực phẩm và góp phần làm giảm nhiệt độ của thực phẩm. Hầu hết các mô hình tính toán quá trình trao đổi nhiệt giữa thực phẩm và môi trường cấp đông hiện nay đều bỏ qua sự ảnh hưởng của quá trình dehydration này [1, 2].

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về ảnh hưởng của quá trình dehydration đến tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm với đối tượng là cá thu.

**Cơ sở lý thuyết**

Quá trình dehydration gồm 2 dạng: quá trình hóa hơi lỏng - hơi khi nhiệt độ bề mặt chưa đạt đến điểm đông đặc, quá trình thăng hoa rắn - hơi sau khi bề mặt thực phẩm xuất hiện lớp băng. Các nghiên cứu [4, 5, 6] đã chỉ ra rằng tốc độ dehydration giảm rất nhanh theo thời gian.

Để đánh giá ảnh hưởng của độ hao hụt khối lượng đến tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm, tải nhiệt trong quá trình cấp đông của thực phẩm khi bỏ qua quá trình dehydration được tính theo công thức:

$$Q_0 = w_0(h_0 - h_{-18}) \tag{1}$$

Trong đó,  $Q_0$  là tải nhiệt khi cấp đông khi không xét đến quá trình dehydration;  $w_0$  là khối lượng thực phẩm trước khi cấp đông;  $h_0$  là entanpy của thực phẩm ở nhiệt độ trước khi cấp đông;  $h_{-18}$  là entanpy của thực phẩm tại thời điểm nhiệt độ tâm của thực phẩm đạt  $-18^\circ\text{C}$ .

Entanpy của thực phẩm được xác định trên cơ sở mô hình nhiệt dung riêng hiệu dụng [7]. Phương trình vi phân dẫn nhiệt của thực phẩm khi cấp đông được biểu diễn như sau:

$$C(T) \cdot \rho(T) \frac{\partial T(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} = \nabla \cdot (\lambda(T) \cdot \nabla T(\vec{r}, \tau)) + W_{wo} \cdot \rho(T) \cdot L(T) \frac{dx_{ice}}{dT} \cdot \frac{\partial T(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} \tag{2}$$

Trong đó,  $x_{ice}$  là hàm lượng nước đá trong thực phẩm được cấp đông. Khi nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ cấp đông thì  $x_{ice} = 0$ ; khi nhiệt độ thực phẩm thấp hơn nhiệt độ kết đông,  $x_{ice}$  được xác định theo công thức thực nghiệm của Tchigeov [8]:

$$x_{ice} = \frac{1,105x_{wo}}{1 + \frac{0,8765}{\ln(t_f - t + 1)}} \tag{3}$$

Trong đó,  $x_{wo}$  là hàm lượng nước ban đầu trong thực

phẩm;  $t_f$  là nhiệt độ bắt đầu kết đông của thực phẩm,  $t$  là nhiệt độ.

Đặt  $c_e(T) = C(T) - W_{wo} \cdot L(T) \frac{dx_{ice}}{dT}$ , thực hiện một số phép biến đổi giải tích, phương trình vi phân dẫn nhiệt trong thực phẩm cấp đông sẽ có dạng phương trình vi phân dẫn nhiệt phi tuyến không có nguồn trong:

$$C_e(T) \cdot \rho(T) \frac{\partial T(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} = \nabla \cdot (\lambda(T) \nabla T(\vec{r}, \tau)) \tag{4}$$

Trong phương trình vi phân dẫn nhiệt trên,  $C_e(T)$  đóng vai trò là nhiệt dung riêng hiệu dụng tính đến ảnh hưởng của cả thành phần nhiệt ẩn và nhiệt hiện trong quá trình làm lạnh cấp đông. Phần ảnh hưởng của nhiệt hiện được xác định dựa theo tỷ lệ khối lượng và nhiệt dung riêng của các thành phần có trong thực phẩm.

$$C(T) = \sum_i x_i C_i \tag{5}$$

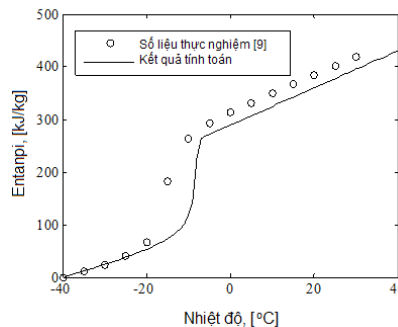
Entanpy của thực phẩm được xác định theo biểu thức:

$$h(T) = \int_{233,15}^T C_e(T) dT \tag{6}$$

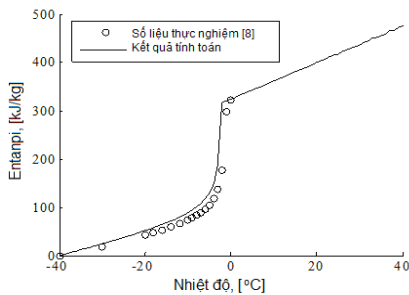
Trong biểu thức trên, mốc 0 của entanpy được lấy tại 233,15 K ( $-40^\circ\text{C}$ ).

Việc xác định entanpy của thực phẩm theo công thức (6) bằng phương pháp giải tích là rất phức tạp. Vì vậy, entanpy của thực phẩm được tính gần đúng theo phương pháp xấp xỉ hình thang. Để kiểm chứng độ chính xác của phương pháp xác định entanpy, tác giả đã so sánh các kết quả tính toán và kết quả đo thực nghiệm với các đối tượng thủy hải sản.

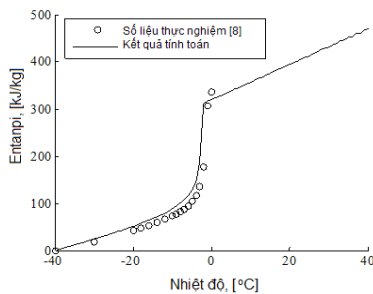
Quan sát các đồ thị 1, 2, 3, 4, phương pháp tính entanpy theo công thức (6) đã phản ánh tương đối chính xác xu hướng biến đổi của entanpy theo nhiệt độ đối với các đối tượng thủy hải sản. Kết quả tính toán cho thấy sự trùng khớp với các kết quả thực nghiệm hiện có.



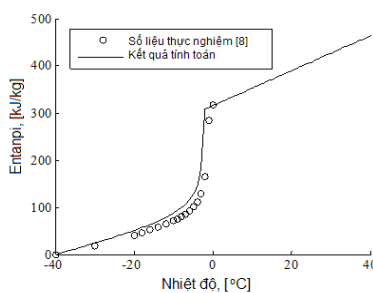
Đồ thị 1: sự phụ thuộc của entanpy vào nhiệt độ đối với cá thu



Đồ thị 2: sự phụ thuộc của entanpy vào nhiệt độ đối với cá tuyết



Đồ thị 3: sự phụ thuộc của entanpy vào nhiệt độ đối với cá efin



Đồ thị 4: sự phụ thuộc của entanpy vào nhiệt độ đối với cá wược

Phần nhiệt ẩn do quá trình dehydration tạo ra được tính theo công thức:

$$Q_{lost} = (w_0 - w_1) \cdot r \quad (7)$$

Trong đó,  $Q_{lost}$  là nhiệt ẩn của quá trình dehydration, kJ;  $w_0$  và  $w_1$  là khối lượng thực phẩm trước và sau khi cấp đông,  $r$  là ẩn nhiệt trung bình của quá trình dehydration. Ẩn nhiệt trung bình này phụ thuộc vào tốc độ dehydration và thời gian làm lạnh sơ bộ, thời gian chuyển pha và quá lạnh của thực phẩm. L.A. Campanone và cộng sự [1] đã tiến hành các thí nghiệm và mô phỏng để xác định ẩn nhiệt trung bình của quá trình dehydration. Đối tượng thực phẩm được sử dụng là thịt, cá và rau quả; dải nhiệt độ thí nghiệm từ -23 đến -30°C; tốc độ gió từ 0,5 đến 2,5 m/s; chiều dày sản phẩm từ 0,0125 đến 0,01475 m. Dựa trên các số liệu thu được, L.A. Campanone đã chỉ ra rằng, nhiệt ẩn quá trình dehydration của thịt và cá trong quá trình cấp đông có thể được lấy gần đúng là: 796 kJ/kg.

Sự ảnh hưởng của dehydration được đánh giá dựa trên tỷ lệ giữa  $Q_{lost}/Q_0$ :

## Kết quả và thảo luận

Để đánh giá độ hao hụt của thực phẩm khi cấp đông, nhóm nghiên cứu đã xây dựng hệ thống cấp đông thí nghiệm. Thiết bị chính trong hệ thống này là buồng cấp đông KTE-5000LT. Đây là buồng cấp đông gió thí nghiệm do hãng Kteung (Hàn Quốc) sản xuất. Buồng cấp đông này sử dụng chu trình lạnh ghép tầng, tầng trên sử dụng môi chất R22, tầng dưới sử dụng môi chất R404. Các thiết bị đo bao gồm hệ thống Datalogger NI 9211A của hãng NI, hệ thống cân kỹ thuật UEC-7500, các thiết bị đo tốc độ và nhiệt độ gió TSI 8347... Quy trình thí nghiệm được giới thiệu chi tiết trong [3].



Hình 1: hệ thống tủ cấp đông gió được sử dụng trong nghiên cứu thực nghiệm

### Độ hao hụt khối lượng khi cấp đông gió

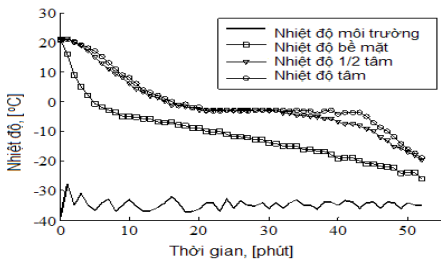
Trong nghiên cứu thực nghiệm trước đây [3], nhóm tác giả đã thực hiện đối với cá thu cắt lát với tiết diện mặt cắt tương đối lớn (cá có kích cỡ lớn). Để phản ánh chính xác hơn độ hao hụt khối lượng ở các chế độ có thể có trong sản xuất công nghiệp, nghiên cứu này được lặp lại với các mẫu cá có kích thước nhỏ hơn và tốc độ gió thấp hơn. Các kết quả thí nghiệm đánh giá độ hao hụt khối lượng được thể hiện trong bảng 1. Thời gian cấp đông  $T(s)$  ở đây được hiểu là thời gian cần thiết để nhiệt độ tại tâm của khối thực phẩm giảm từ nhiệt độ ban đầu xuống -18°C.

Bảng 1: kết quả đo thời gian cấp đông và độ hao hụt khối lượng khi cấp đông cá thu

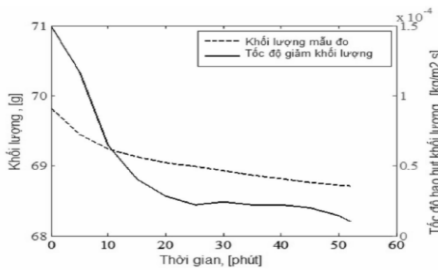
	Kích thước xác định, mm	$w_0$ , g	$t_p$ , °C	$t_a$ , °C	$\omega$ , m/s	T, phút	$w_p$ , g	$w_{lost}$ , %
Chế độ 1	35,0	115,4	17	-40	2,5	57	113,6	1,56
Chế độ 2	30,0	88,0	20	-40	2,5	51	87,0	1,14
Chế độ 3	30,0	61,2	24	-25	2,5	67	60,3	1,47
Chế độ 4	25,0	48,1	24	-30	2,5	52	47,4	1,46
Chế độ 5	30,0	69,8	21	-35	2,5	52	68,7	1,58
Chế độ 6	35,0	185,8	23	-45	1,5	60	183,2	1,40
Chế độ 7	40,0	264,1	23	-40	1,5	93	259,9	1,59
Chế độ 8	40,0	221,0	23	-35	1,5	95	217,1	1,76
Chế độ 9	30,0	209,2	21	-40	5,0	29	207,3	0,91
Chế độ 10	35,0	212,3	19	-40	5,0	35	208,9	1,60

Trong đó:  $t_0$ : nhiệt độ ban đầu của thực phẩm, °C;  $t_a$ : nhiệt độ môi trường cấp đông, °C;  $\omega$ : tốc độ gió, m/s;  $w_0$ : khối lượng thực phẩm trước khi cấp đông, g;  $w_1$ : khối lượng thực phẩm sau khi cấp đông, g;  $w_{lost}$ : độ hao hụt khối lượng ( $w_{lost} = (1 - w_1/w_0) \cdot 100\%$ ).

Độ hao hụt khối lượng  $w_{lost}$  trong các trường hợp thí nghiệm dao động từ 0,91 đến 1,76%. Độ hao hụt khối lượng có xu hướng tăng lên khi thời gian cấp đông kéo dài. Các kết quả thực nghiệm thu được cho thấy sự phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đó [2, 3].



Đồ thị 5: biến thiên nhiệt độ bên trong thực phẩm theo thời gian (thí nghiệm 5)



Đồ thị 6: sự thay đổi khối lượng và tốc độ hao hụt khối lượng theo thời gian (thí nghiệm 5)

**Sự ảnh hưởng của độ hao hụt khối lượng tới tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm**

Sử dụng các giá trị entanpy từ tính toán lý thuyết, tải nhiệt của thực phẩm được tính toán theo công thức (1), trong đó nhiệt độ của thực phẩm khi kết thúc cấp đông được dùng trong khi tính  $h_{-18}$  tính gần đúng là trung bình cộng nhiệt độ tâm và nhiệt độ bề mặt của khối thực phẩm. Các kết quả tính toán được cho trong bảng 2.

Bảng 2: ảnh hưởng của độ hao hụt khối lượng tới tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm

	$Q_0$ , kJ	$Q_{lost}$ , kJ	$Q_{lost}/Q_0$ , %
Chế độ 1	36,15	1,76	4,86
Chế độ 2	27,50	0,98	3,55
Chế độ 3	20,06	0,88	4,38
Chế độ 4	15,52	0,68	4,40
Chế độ 5	22,49	1,07	4,77
Chế độ 6	63,30	2,54	4,01
Chế độ 7	86,66	4,10	4,73
Chế độ 8	73,31	3,81	5,19
Chế độ 9	70,07	1,85	2,65
Chế độ 10	68,87	3,32	4,82

Tỷ lệ  $Q_{lost}/Q$  trong nghiên cứu này dao động trong khoảng từ 2,65 đến 5,19%, theo đó sự ảnh hưởng của độ hao hụt khối lượng tới tải nhiệt khi cấp đông của thực phẩm là không lớn.

Từ kết quả nghiên cứu được trình bày ở trên, chúng tôi đưa ra một số kết luận sau:

- Hiện tượng dehydration trên bề mặt thực phẩm gây ra sự ảnh hưởng đến quá trình trao đổi nhiệt giữa môi trường cấp đông và thực phẩm. Tỷ lệ giữa lượng nhiệt trao đổi do hao hụt khối lượng và lượng nhiệt làm giảm nhiệt độ của thực phẩm dao động trong dải từ 2,65 đến 5,19%.

- Sự ảnh hưởng này có thể bỏ qua khi nghiên cứu bài toán trao đổi nhiệt giữa thực phẩm vào môi trường cấp đông do thực phẩm là đối tượng có các tính chất nhiệt vật lý dao động rất mạnh (có thể lên tới 10% đối với cùng một loại sản phẩm nhưng lấy từ các cá thể khác nhau). Đây chính là cơ sở khoa học đáng tin cậy để bỏ qua quá trình dehydration khi nghiên cứu bài toán trao đổi nhiệt quá trình cấp đông thực phẩm đối với nhóm thực phẩm thủy hải sản.

**Tài liệu tham khảo**

[1] Laura A. Campanone, Viviana O. Salvadori, Rodolfo H. Mascheroni: Weight loss during freezing and storage of unpackaged foods, Journal of Food Engineering, Volume 47, 2001, page 69-79.  
 [2] Laura A. Campanone, Viviana O. Salvadori, Rodolfo H. Mascheroni: Food freezing with simultaneous surface dehydration: approximate prediction of weight loss during freezing and storage, International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 48, 2005, page 1195-1204.  
 [3] Vũ Huy Khuê, Nghiên cứu thực nghiệm khảo sát độ hao hụt khối lượng trong quá trình cấp đông cá thu, Tạp chí Năng lượng nhiệt, số 114, 2014.  
 [4] Nasser Hamdami, Jean-Yves Monteaub, Alain Le Bail: Simulation of coupled heat and mass transfer during freezing of a porous humid matrix, International Journal of Refrigeration Volume 27, 2004, page 595-603.  
 [5] A.E. Delgado, Da-Wen Sun: Heat and mass transfer models for predicting freezing processes - a review, Journal of Food Engineering, Volume 47, 2001, page 157-174.  
 [6] A.E. Delgado, Da-Wen Sun: Influence of surface water activity on freezing/thawing times and weight loss prediction, Journal of Food Engineering Volume 83, 2007, page 23-30.  
 [7] Duy Khanh Hoang, Khue Huy Vu, Dzung Viet Nguyen: Effective specific heat for the freezing food, Journal of science and technology, Volume 94, 2013.  
 [8] ASHRAE (2010). ASHRAE Handbook-Refrigeration, Chapter19SI.  
 [9] Sudhaharini Radhakrishnan: Measurement of thermal properties, Masters of Science In Biological Systems Engineering, page 73-74.