

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**



**KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP
NGÀNH CÔNG NGHỆ THỰC PHẨM**

**NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SẤY
THĂNG HOA SÒ LÔNG**

**GVHD: NGUYỄN TIẾN LỰC
SVTH: ĐINH THỊ VÂN NHI
MSSV: 13116093**



Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08/2017

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CÔNG NGHỆ HÓA HỌC VÀ THỰC PHẨM
BỘ MÔN CÔNG NGHỆ THỰC PHẨM



KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP

MÃ SỐ: 2017-13116093

NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SẤY
THĂNG HOA SÒ LÔNG

GVHD: TS. NGUYỄN TIẾN LỰC

SVTH: ĐINH THỊ VÂN NHI

MSSV: 13116093

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH – 08/2017

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CÔNG NGHỆ HÓA HỌC VÀ THỰC PHẨM
BỘ MÔN CÔNG NGHỆ THỰC PHẨM

NHIỆM VỤ KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên: Đinh Thị Vân Nhi **MSSV:** 13116093

Ngành: Công nghệ thực phẩm

- 1. Tên đề án:** Nghiên cứu chế độ công nghệ sấy thăng hoa sò lông
- 2. Mã số đề án:** 2017- 13116093
- 3. Nhiệm vụ của đề án:**
 - Tìm hiểu hình thành phần và tính chất của sò lông.
 - Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng trong quá trình sấy thăng hoa.
 - Xây dựng quy trình công nghệ sấy thăng hoa sò lông.
 - Đánh giá kết quả sản phẩm sò lông sấy thăng hoa .
- 4. Ngày giao nhiệm vụ đề án:** 20/01/2017
- 5. Ngày hoàn thành đề án:** 20/07/2017
- 6. Họ tên người hướng dẫn:** TS.Nguyễn Tiến Lực

**Nội dung và yêu cầu đề án tốt nghiệp đã được thông qua bởi
Trưởng Bộ môn Công nghệ Thực phẩm**

Tp.HCM, ngày tháng năm 2017

Trưởng Bộ môn

Người hướng dẫn

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn tất cả Quý Thầy/Cô trong khoa Công Nghệ Hóa Học Và Thực Phẩm cũng như các thầy cô giảng dạy tại trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM đã dạy cho chúng tôi các kiến thức bổ ích để làm hành trang sau này và hoàn thành đồ án này. Đặc biệt chúng tôi xin cảm ơn thầy TS.Nguyễn Tiến Lực đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ và truyền đạt những kiến thức, kinh nghiệm quý báu, tạo điều kiện tốt cho chúng tôi thực hiện đồ án. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng xin cảm ơn các thầy cô tại xưởng thực tập và các bạn trong lớp, gia đình và bạn bè đã giúp đỡ trong suốt thời gian thực hiện đồ án cũng như trong suốt quá trình học tập tại trường.

Mặc dù đã cố gắng rất nhiều để hoàn thành đồ án này, tuy nhiên vẫn còn nhiều chỗ sai sót, chưa thật sự hoàn chỉnh, chúng tôi rất mong được sự đóng góp của Quý Thầy/Cô và các bạn để khóa luận hoàn thiện hơn.

Xin chân thành cảm ơn!

Tp.HCM, ngày...tháng...năm...

Sinh viên thực hiện

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nghiên cứu nào khác.

Ngày...tháng...năm...

Ký tên

MỤC LỤC

NHIỆM VỤ KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP	ii
LỜI CẢM ƠN	iii
LỜI CAM ĐOAN	iv
DANH MỤC HÌNH.....	viii
DANH MỤC BẢNG	ix
TÓM TẮT ĐỒ ÁN	xi
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN	1
1.1. Giới thiệu về hệ thống sấy thăng hoa.....	1
1.1.1. Lịch sử phát triển công nghệ sấy thăng hoa	1
1.1.2. Mục đích của việc sấy thăng hoa thực phẩm.....	3
1.1.3. Cơ sở khoa học sấy thăng hoa	4
1.1.3.1. Các quá trình chuyển pha của nước	4
1.1.3.2. Quan hệ giữa thông số áp suất và nhiệt độ trong quá trình thăng hoa.....	6
1.1.4. Bản chất của quá trình sấy.....	7
1.1.5. Quá trình tách ẩm bằng phương pháp sấy thăng hoa.....	7
1.1.6. Các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến quá trình sấy thăng hoa	10
1.1.7. Ưu- nhược điểm của máy sấy thăng hoa	12
1.2. Cơ sở khoa học của quá trình lạnh đông	13
1.3. Cơ sở khoa học của phương pháp xác định tỷ lệ nước đóng băng.....	14
1.4. Giới thiệu về sò lông	16
1.4.1. Cấu tạo của sò lông.....	16
1.4.2. Đặc điểm sinh trưởng của sò lông	18
1.4.3. Phân bố, kỹ thuật nuôi và sản lượng thu hoạch sò lông	18
1.4.4. Giá trị của thịt sò lông	19
CHƯƠNG 2: VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	20

2.1. Nguyên liệu nghiên cứu	20
2.2. Thiết bị sử dụng trong nghiên cứu	21
2.3. Phương pháp nghiên cứu.....	25
2.3.1. Phương pháp xử lý sò lông trước khi sấy	25
2.3.2. Phương pháp xác định tỉ lệ nước đóng băng	26
2.3.3. Phương pháp xác định chi phí năng lượng	26
2.3.4. Phương pháp xác định protein (AOAC 920.39).....	27
2.3.5. Phương pháp xác định độ ẩm (TCVN 4328-1 : 2007)	27
2.3.6. Phương pháp xác định lipid (TCVN 4327:2007)	27
2.3.7. Phương pháp xác định khả năng hút nước và giữ nước trở lại của sản phẩm sò lông sấy thăng hoa	27
2.3.8. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm và tối ưu (bố trí thí nghiệm).....	28
2.3.8.1. Thiết lập bài toán tối ưu các hàm mục tiêu thành phần	28
2.3.8.2. Thiết lập bài toán tối ưu đa mục tiêu	30
CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ VÀ BIỆN LUẬN	33
3.1. Xác định thành phần khối lượng và thành phần dinh dưỡng của sò lông.....	33
3.1.1. Xác định thành phần khối lượng của sò lông	33
3.1.2. Xác định thành phần dinh dưỡng của thịt sò lông.....	34
3.2. Xác định tỉ lệ nước đóng băng bên trong sò lông theo nhiệt độ lạnh đông.....	34
3.3. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sấy thăng hoa sò lông	36
3.4. Tối ưu hóa	37
3.4.1. Thiết lập bài toán tối ưu.....	37
3.4.2. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu	40
3.4.2.1. Giải bài toán tối ưu là chi phí năng lượng	40
3.4.2.2. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu là độ ẩm	44
3.4.2.3. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu là lượng protein tổn thất.....	48
3.4.2.4. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu là khả năng không hoàn nguyên	52
3.4.3. Giải bài toán tối ưu đa mục tiêu	55

3.5. Quy trình công nghệ sấy thăng hoa sò lông	57
3.5.1. Sơ đồ quy trình công nghệ:.....	57
3.5.2. Giải thích quy trình.....	58
3.6. Tính chất và chất lượng sản phẩm.....	59
CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	61
4.1. Kết luận	61
4.2. Kiến nghị.....	61
TÀI LIỆU THAM KHẢO	62
PHỤ LỤC	67

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1: Giải đồ biến đổi pha của nước	5
Hình 1.2: Quan hệ giữa áp suất với nhiệt độ thăng hoa của nước đá	7
Hình 1.3: Quy trình công nghệ sấy thăng hoa	8
Hình 1.4: Các yếu tố tác động đến quá trình sấy thăng hoa	10
Hình 1.5: Sò Lông.....	17
Hình 2.1: Nguyên liệu sò lông	20
Hình 2.2: Máy sấy thăng hoa DS-3.....	21
Hình 2.3: Sơ đồ nguyên lý hệ thống sấy thăng hoa	22
Hình 2.4: Hình ảnh tủ cấp đông.....	23
Hình 0.5: Hình ảnh nhiệt kế đo tâm.....	24
Hình 2.6: Hình ảnh nhiệt kế đo bề mặt vật liệu	24
Hình 2.7 : Quy trình xử lý tách thịt sò lông	26
Hình 2.8: Sơ đồ mối quan hệ giữa các yếu tố ảnh hưởng với các hàm mục tiêu.....	28
Hình 2.9: Sơ đồ tóm tắt bài toán đa mục tiêu	30
Hình 3.1: Hàm $\tau = f(T)$ sò lông.....	36
Hình 3.2: Sơ đồ quy trình công nghệ sấy thăng hoa sò lông	57
Hình 3.3: Hình ảnh sò lông được xếp vào khay trước khi sấy.....	58
Hình 3.4: Hình ảnh sò lông sau khi sấy	59
Hình 3.5 : sản phẩm sò lông sấy thăng hoa	60

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1: Quan hệ giữa áp suất với nhiệt độ thăng hoa của nước đá.....	6
Bảng 1.2: Hàm lượng các chất dinh dưỡng có trong 100g thịt sò lông	19
Bảng 3.1: Kích thước từng loại sò	33
Bảng 3.2: Tỷ lệ thành phần của các loại sò lông	33
Bảng 3.3: Thành phần dinh dưỡng của thịt sò lông.....	34
Bảng 3.4: Các đại lượng nhiệt – vật lý của sò lông	34
Bảng 3.5 : Các thông số T_e và τ xác định bằng thực nghiệm của sò lông.	35
Bảng 3.6: Các mức yếu tố ảnh hưởng.....	38
Bảng 3.7: Ma trận quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp hai với $k = 3$, $n_0 = 4$, $N = 18$	39
Bảng 3.8: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là chi phí năng lượng (y_1)	40
Bảng 3.9: Các giá trị X^TY	41
Bảng 3.10: Các giá trị X^TX	41
Bảng 3.11: Các giá trị của hệ số b	42
Bảng 3.12: Các giá trị của phương sai	42
Bảng 3.13: Các giá trị của t_i	43
Bảng 3.14: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là độ ẩm sản phẩm (y_2)	44
Bảng 3.15: Các giá trị X^TY	45
Bảng 3.16: Các giá trị X^TX	45
Bảng 3.17: Các giá trị của hệ số b	46
Bảng 3.18: Các giá trị của phương sai	46
Bảng 3.19: Các giá trị của t_i	46
Bảng 3.20: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là lượng protein tồn thất (y_3).....	48
Bảng 3.21: Các giá trị X^TY	49
Bảng 3.22: Các giá trị X^TX	49
Bảng 3.23: Các giá trị của hệ số b	50
Bảng 3.24: Các giá trị của phương sai	50
Bảng 3.25: Các giá trị của t_i	50
Bảng 3.26: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là khả năng không hoàn nguyên (y_4)	52
Bảng 3.27: Các giá trị X^TY	53
Bảng 3.28: Các giá trị X^TX	53

Bảng 3.29: Các giá trị của hệ số b	54
Bảng 3.30: Các giá trị của phương sai	54
Bảng 3.31: Các giá trị của t_i	54
Bảng 3.32: Giá trị x_1, x_2, x_3 và giá trị nhỏ nhất của hàm hồi quy y_i	55
Bảng 3.35: Chất lượng cảm quan của sản phẩm	60
Bảng phụ lục 1: Kích thước sò lông loại lớn	67
Bảng phụ lục 2: Kích thước sò lông loại trung bình	69
Bảng phụ lục 3: Kích thước sò lông loại nhỏ	70
Bảng phụ lục 4: Thành phần khối lượng trong 1 kg của sò lông loại lớn	71
Bảng phụ lục 5: Thành phần khối lượng trong 1 kg của sò lông loại trung bình	71
Bảng phụ lục 6: Thành phần khối lượng trong 1 kg của sò lông loại nhỏ	71

TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Thủy hải sản là thực phẩm được rất nhiều người yêu thích và là nguồn dinh dưỡng quý giá, nhưng nó dễ bị biến đổi các tính chất hóa lý nếu không bảo quản đúng cách. Một trong những cách sử dụng để bảo quản thủy hải sản tốt nhất hiện nay là công nghệ sấy thăng hoa. Công nghệ sấy thăng hoa đã được sử dụng để bảo quản nhiều loại thực giá trị như sữa ong chúa, nấm đông trùng hạ thảo, nấm linh chi, các loại trái cây,... Trong nghiên cứu này chúng tôi ứng dụng công nghệ sấy thăng hoa để bảo quản cho một loại thủy sản có nguồn dinh dưỡng cao đó là sò lông. Sò lông có nhiều công dụng tốt cho sức khỏe và được sử dụng đa dạng trong bữa ăn hằng ngày. Công nghệ sấy thăng hoa có thể giữ hầu như nguyên vẹn được những đặc tính quý giá của sò lông. Để sản phẩm đạt yêu cầu đầu ra về chất lượng, lẫn chi phí giá thành cũng như kéo dài thời gian bảo quản và giảm chi phí trong quá trình vận chuyển, luận văn nghiên cứu trình bày những kết quả nghiên cứu xác lập chế độ sấy thịt sò lông bằng phương pháp sấy thăng hoa thông qua cách giải bài toán tối ưu đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S (phương pháp điểm không tương). Nghiên cứu này tiến hành khảo sát các yếu tố công nghệ trong các khoảng giá trị cụ thể như sau: nhiệt độ (20,102 – 39,898)⁰C, áp suất (0,008 – 0,592) mmHg, thời gian (17,172 – 22,828) giờ. Kết quả sau khi xử lý bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu tìm được chế độ sấy tối ưu ở 27,263 ⁰C – 0,008 mmHg – 18,346 giờ. Sau khi tìm ra được chế độ sấy thích hợp, chúng tôi đã tìm ra được quy trình công nghệ và tiến hành thực nghiệm, kết quả là sản phẩm đạt yêu cầu, đồng thời sự tổn thất các thành phần dinh dưỡng cũng rất thấp, giữ được mùi vị và màu sắc của sò lông. Sản phẩm sò lông sấy thăng hoa có thể được bảo quản ở nhiệt độ thường và kéo dài đến 6 năm nếu được bao gói cẩn thận. Công nghệ sấy thăng hoa đã khắc phục được các nhược điểm của các phương pháp chế biến và bảo quản khác, đem lại nguồn lợi kinh tế cao và có thể đưa sản phẩm của Việt Nam xuất khẩu ra thị trường nước ngoài.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1. Giới thiệu về hệ thống sấy thăng hoa

1.1.1. Lịch sử phát triển công nghệ sấy thăng hoa

Thăng hoa là quá trình chuyển pha từ trạng thái rắn sang trạng thái hơi không thông qua pha lỏng, đã được phát hiện từ rất sớm bởi một số người Tây Tạng (Trung Quốc), khi họ leo lên những ngọn núi cao có băng tuyết phủ đầy quanh năm và thấy hiện tượng tảng băng đang bốc hơi thành những làn khói hơi nước trắng. Tuy nhiên, người Tây Tạng chưa thể hình thành lên lý thuyết về sự thăng hoa từ thể rắn sang thể khí [18, 19].

Lịch sử công nghệ sấy thăng hoa (Sublimation Lyophilization, Freeze Drying) luôn gắn liền với lịch sử phát triển của ngành công nghệ nhiệt – lạnh và ngành vật lý chân không. Chính vì vậy, tuy con người đã phát hiện về hiện tượng thăng hoa rất sớm nhưng chưa có một cơ sở lý thuyết khoa học thăng hoa nào ra đời trong suốt khoảng thời gian dài.

Mãi cho đến năm 1761 – 1764 giáo sư Black, trong những lần thí nghiệm nhiệt – lạnh, mới tìm ra lý thuyết về nhiệt ẩn hóa hơi của chất lỏng và rắn, nhiệt ẩn nóng chảy của chất rắn. Dựa vào lý thuyết này con người biết làm lạnh bằng cách cho chất lỏng bay hơi hoặc cho chất rắn hóa hơi (gọi là thăng hoa), quá trình bay hơi là quá trình thu nhiệt và vật bị bay hơi sẽ bị mất nhiệt lạnh đi (hay giảm nhiệt độ xuống).

Tiếp theo là một phát hiện quan trọng vào năm 1780 khi hai nhà khoa học Clouet và Monge lần đầu tiên hóa lỏng SO_2 . Từ năm 1781 nhà khoa học Cavallo bắt đầu nghiên cứu hiện tượng bay hơi và thăng hoa một cách có hệ thống. Bắt đầu hình thành nên cơ sở lý thuyết khoa học đóng băng – thăng hoa [36, 37].

Vào những năm đầu thế kỉ thứ 19, khoa học kỹ thuật phát triển một cách mạnh mẽ, tạo tiền đề cho ngành công nghệ sấy thăng hoa sau này.

Năm 1810 một nhà khoa học Leslie (Pháp) đã thiết kế, chế tạo thành công máy nén hấp thụ với cặp môi chất lạnh H_2O/H_2SO_4 . Đến giữa thế kỷ 19, máy này được phát triển một cách rầm rộ nhờ kỹ sư tài ba Carré (Pháp) với hàng loạt bằng phát minh về máy lạnh hấp thụ chu kỳ liên tục với các cặp môi chất lạnh khác nhau [36, 37].

Năm 1834, J.Perkins (Anh) đã thiết kế, chế tạo thành công hệ thống máy lạnh nén hơi với đầy đủ các chi tiết như một hệ thống lạnh hiện đại có máy nén, có thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi và van tiết lưu. Đến cuối thế kỷ 19, nhờ có một loạt cải tiến của Linde

(Đức) với việc sử dụng ammoniac làm môi chất lạnh nén hơi, việc chế tạo và sử dụng máy lạnh nén hơi mới thực sự phát triển rộng rãi trong các ngành kinh tế quốc doanh, đồng thời hỗ trợ cho cơ sở khoa học lý thuyết công nghệ sấy thăng hoa ra đời [36, 37].

Năm 1823 nhà khoa học Faraday bắt đầu công bố các công trình về hóa lỏng khí SO_2 , CO_2 , N_2O , C_2H_2 , NH_3 và HCl ,... đến năm 1845 ông đã hóa lỏng được hầu hết các loại khí nhưng vẫn bó tay trước các loại khí N_2 , O_2 , CH_4 , CO , NO và H_2 . Người ta cho rằng các loại khí này không thể hóa lỏng được, chỉ luôn luôn ở thể khí nên gọi là khí “vĩnh cửu – permanent”, lý do là vì Natleret nhà khoa học của Áo đã nén chúng tới một áp lực cực lớn 3600 atm mà vẫn không hóa lỏng được. Mãi tới năm 1869, Andrew một nhà khoa học người Anh giải thích được điểm tới hạn của khí hóa lỏng và nhờ đó Cailletet (Pháp) hóa lỏng được khí O_2 và N_2 , năm 1877 Dewar (Anh) hóa lỏng được khí H_2 , năm 1898 Linde (Đức) hóa lỏng O_2 và N_2 và tách bằng chưng cất, tiếp theo đó K. Onnes (Hà Lan) hóa lỏng được khí Heli [36, 37].

Năm 1910 nhà khoa học Leblanc là người đầu tiên đã chế tạo thành công máy lạnh Ejector hơi nước. Đây là một sự kiện có ý nghĩa rất trọng đại của ngành kỹ thuật lạnh. Năm 1930 một số nhà khoa học Mỹ đã phát hiện ra tính chất nhiệt động của các loại môi chất lạnh hữu cơ Freon rất tốt. Và lịch sử ngành công nghệ nhiệt – lạnh bước sang trang mới.

Năm 1921, kĩ sư mỏ của Nga G. Ilappa Starsinexki đã phát minh ra cách làm khô sản phẩm bằng cách hạ thấp nhiệt độ sản phẩm xuống làm ẩm trong sản phẩm đóng băng, sao đó tạo độ chân không cho môi trường chứa sản phẩm để cho ẩm đóng băng bốc hơi hay thăng hoa từ thể rắn sang thể hơi. Tuy nhiên công nghệ sấy thăng hoa chưa được phát triển mới chỉ hình thành lên cơ sở lý thuyết khoa học [36, 37].

Mãi đến năm 1951 mới có hội nghị khoa học bàn về công nghệ sấy thăng hoa tổ chức tại Luân Đôn (Anh). Năm 1956 các nhà khoa học Nga mở cuộc hội nghị về sấy thăng hoa toàn Liên bang Xô Viết (hiện nay là Liên Bang Nga) ở Moskva. Năm 1959 Hội nghị về sấy phần tử thực phẩm ở Cộng hòa Liên Bang Đức được tổ chức và có nhiều ý kiến khác nhau về vấn đề sấy thăng hoa [36, 37].

Năm 1950 – 1960 các nhà khoa học Mỹ đã chế tạo thành công hệ thống máy sấy thăng hoa hoàn chỉnh nhưng năng suất rất thấp, sau đó là Nga, Pháp, Anh, Đức, ... cũng chế tạo thành công hệ thống sấy thăng hoa này với nhiều dạng khác nhau. Lúc này công nghệ sấy thăng hoa chỉ được ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp dược, công nghệ enzyme, công nghệ sinh học.

Cho đến năm 1970 ngành công nghệ nhiệt – lạnh và vật lý kỹ thuật chân không cao phát triển rộng rãi ở quy mô lớn nó hỗ trợ cho sự phát triển công nghệ sấy thăng hoa, lúc đó công nghệ này mới bắt đầu ứng dụng trong ngành công nghệ chế biến thực phẩm, bước đầu nghiên cứu chế biến thức ăn cho các nhà du hành vũ trụ, hai nước thành công nhất trong việc ứng dụng công nghệ sấy thăng hoa này vào trong công nghệ chế biến thực phẩm đó là Nga và Mỹ nhưng thời gian sấy chưa thể rút ngắn được, trung bình (25 - 30)h/1 mẻ [36, 37].

Năm 1980 các nhà cơ khí chế tạo của Đức đã thiết kế, chế tạo thành công hệ thống máy sấy thăng hoa công nghiệp hiện đại bậc nhất thế giới với hệ điều khiển thông minh và nó được trưng bày tại Hội chợ triển lãm thương mại quốc tế ở Paris (Pháp).

Năm 1984 các nhà khoa học Nhật Bản đi tu nghiệp ở Mỹ về họ đã thiết kế, chế tạo thành công hệ thống máy sấy thăng hoa công nghiệp tự động điều khiển theo chương trình được lập trình sẵn trên máy tính. Nó được trưng bày tại Hội chợ triển lãm thương mại quốc tế sản phẩm công nghệ cao (Product of High Technology) ở New York (Mỹ) [36, 37].

Cho đến nay công nghệ sấy thăng hoa đã phát triển tương đối hoàn thiện và nhiều quốc gia trên thế giới chế tạo thành công do chuyển giao và mua công nghệ của các nước có nền công nghiệp tiên tiến.

Ở Việt Nam, khi người Mỹ đặt chân lên đất nước Việt Nam họ đã mang theo công nghệ này vào Việt Nam với mục đích là phục vụ cho chiến tranh. Sau ngày đất nước thống nhất công nghệ này vẫn không được nghiên cứu và phát triển, chúng chỉ được ứng dụng trong một số trung tâm, viện nghiên cứu phục vụ cho nghiên cứu khoa học trong các lĩnh vực công nghệ sinh học, y dược, phân tích,...

Hiện nay, công nghệ sấy thăng hoa này đã được nhiều nhà khoa học Việt Nam quan tâm nghiên cứu và phát triển bởi vì hướng ứng dụng của công nghệ này không chỉ trong các ngành công nghệ sinh học, y dược, phân tích,...mà còn ứng dụng trong ngành công nghệ chế biến thực phẩm [36, 37].

1.1.2. Mục đích của việc sấy thăng hoa thực phẩm

Các thực phẩm nói chung và thủy sản nói riêng là môi trường gồm nhiều dinh dưỡng chất như: protein, lipid và một số khoáng chất khác rất thuận lợi cho vi sinh vật phát triển cũng như là nơi xảy ra hiện tượng trao đổi chất. Đa số các vi khuẩn chỉ có thể phát triển ở độ ẩm 15% nên khi sản phẩm ở trạng thái khô và được bảo quản thì sự sống của vi sinh vật sẽ bị tiêu diệt hoàn toàn. Enzyme trong thực phẩm cũng hoạt động rất mạnh, dưới tác dụng

của enzyme và vi sinh vật, giá trị dinh dưỡng của thực phẩm dần dần bị mất đi, làm cho mùi vị và màu sắc của thực phẩm bị biến đổi hoàn toàn, đồng thời sinh ra những độc tố có hại gây ngộ độc cho người sử dụng, nên phải dùng phương pháp sấy thăng hoa để hạn chế các tác hại trên [37, 28].

Muốn bảo quản tốt thực phẩm ta phải nghiên cứu những yếu tố gây ra hư hỏng như độ ẩm, bản chất hóa học, vi sinh vật, tốc độ hoạt động của enzyme trong thực phẩm... Để áp dụng kịp thời những biện pháp ngăn chặn, bảo quản. Cho đến nay, chỉ có phương pháp bảo quản lạnh đông hầu như giữ nguyên vẹn tính chất tươi sống, hoạt tính sinh học và các hoạt tính khác. Trong quá trình bảo quản vận chuyển sau chế biến cần phải giữ nhiệt độ từ $-18 - 25^{\circ}\text{C}$. Bởi vậy nếu vận chuyển xa quá hoặc bảo quản quá 6 tháng thì giá thành của sản phẩm đông lạnh sẽ cao hơn giá thành của sản phẩm sấy thăng hoa. Mặt khác, sản phẩm của sấy thăng hoa có rất nhiều ưu việt khác bảo quản dài hạn ở nhiệt độ thường (khác với trữ đông ở nhiệt độ tới -18°C liên tục) vận chuyển dễ dàng và sử dụng tiện lợi hơn so với sản phẩm đông lạnh [36,9].

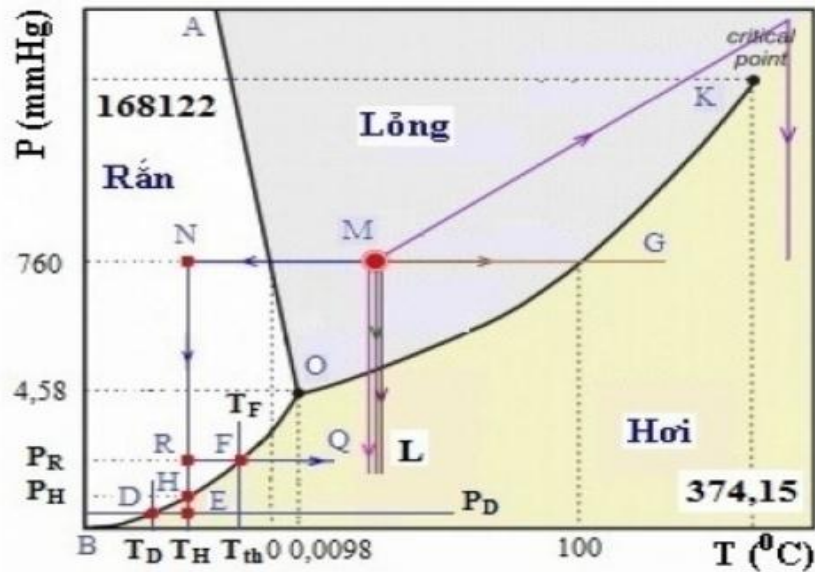
Các chuyên gia tổ chức y tế thế giới và chương trình lương thực thế giới họ đã kết luận: Thực phẩm sấy thăng hoa có nhiều ưu việt hơn các sản phẩm đông lạnh, có thể cất giữ bình thường trong nhiều năm ngay ở những điều kiện khí hậu nhiệt đới khối lượng của nó thấp hơn đến 12 lần so với khối lượng thực phẩm cùng loại đông lạnh hoặc đóng hộp khi đưa ra không khí ẩm hoặc đổ nước vào thì sản phẩm sấy thăng hoa phục hồi nguyên vẹn tính chất tươi sống màu sắc và cả hương vị ban đầu [25, 28].

Ngày nay nhờ có kỹ thuật sấy thăng hoa, ngành y tế đã cất giữ được những bộ phận thay thế của cơ thể như: máu, da ... và cả tinh dịch dưới dạng sấy thăng hoa.

1.1.3. Cơ sở khoa học sấy thăng hoa

1.1.3.1. Các quá trình chuyển pha của nước

Phân tích quá trình chuyển pha của nước giữa lỏng – rắn – hơi được mô tả ở hình bên dưới "Giản đồ trạng thái của nước". [36, 37]



Hình 1.1: *Giản đồ biến đổi pha của nước*

- Ở điều kiện áp suất $P_M = \text{const}$, khi cấp nhiệt vào làm nhiệt độ của nước tăng từ T_M đến T_G , thì trạng thái của nước diễn ra theo M – G, tại M nước ở trạng thái lỏng, tại G nước ở trạng thái hơi. Hiện tượng này thường xảy ra trong các quá trình sấy vật liệu ẩm [38].

- Trường hợp nếu làm giảm áp suất $P_M < 760\text{mmHg}$, quá trình diễn ra theo đường M – L, hiện tượng này thường xuất hiện trong quá trình sấy chân không.

- Ở điều kiện áp suất $P_M = \text{const}$, khi lấy nhiệt ra làm giảm nhiệt độ của nước từ T_M xuống $T_N = T_R = T_H$ (xem hình 1.1) thì trạng thái pha của nước diễn ra theo M – N, tại M nước ở trạng thái lỏng, tại N nước ở trạng thái rắn hay nước đá. Hiện tượng này thường xảy ra trong quá trình làm lạnh đông [36,37,38].

- Ở điều kiện áp suất $P_R = \text{const} < P_O = 4,58 \text{ mmHg}$, tại R nước ở trạng thái rắn và có nhiệt độ là $T_H = T_R$. Giản đồ hình bên "Giản đồ trạng thái của nước" cho thấy, ứng với mỗi giá trị nhiệt độ nước đá là T_H sẽ có một giá trị áp suất thăng hoa tương ứng là P_H (điểm H) và ngược lại. Vì vậy, nếu đặt nước đá trong môi trường có áp suất là P_R , với $P_H < P_R < 4,58 \text{ mmHg}$, tương ứng sẽ có nhiệt độ thăng hoa của nước đá là $T_{th} = T_F > T_H$. Khi đó nước đá chưa thể thăng hoa ngay (điểm R) mà nó phải thực hiện một giai đoạn truyền nhiệt đốt nóng (đoạn RF), để nâng nhiệt độ $T_R = T_H$ lên đến T_F (tương ứng với $P_R = P_F$), lúc đó nước đá mới bắt đầu thăng hoa, diễn biến của quá trình đi theo đường R – Q và cần một lượng nhiệt cấp vào $Q = G_{nd}c_{nd}(T_F - T_H)$, trong đó G_{nd} , c_{nd} khối lượng và

nhệt dung riêng của nước đá, do đó tiêu tốn năng lượng và thời gian để nâng nhiệt trước khi thăng hoa. Nếu đặt nước đá trong môi trường có áp suất là PD, với $PD \leq PH < 4,58$ mmHg, tương ứng sẽ có nhiệt độ thăng hoa của nước đá là $TD \leq TH$, khi đó nước đá sẽ thăng hoa ngay tại điểm H (điểm thăng hoa thực tế là E) và động lực của quá trình thăng hoa chính là $\Delta T = TH - TD$. Vì thế rút ngắn thời gian thăng hoa và nếu có nhiệt cấp vào nó sẽ làm tăng động lực thăng hoa nước đá, các hiện tượng này thường xảy ra trong sấy thăng hoa [36, 37, 38].

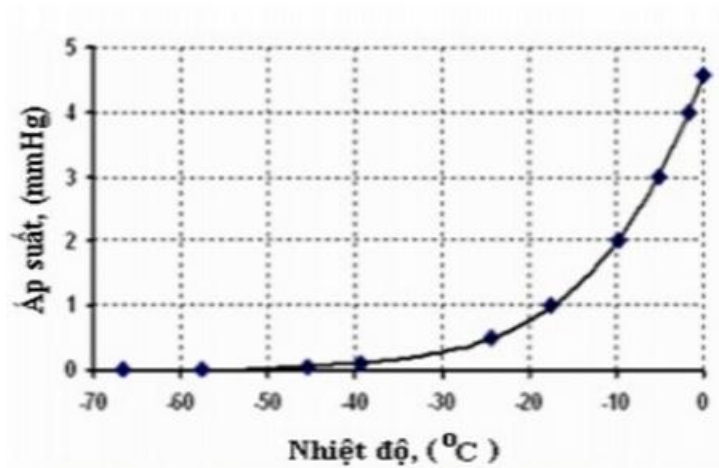
1.1.3.2. Quan hệ giữa thông số áp suất và nhiệt độ trong quá trình thăng hoa

Theo Peng, điều kiện tiên quyết để nước đá thăng hoa là khi chúng được đặt trong môi trường có nhiệt độ và áp suất nhỏ hơn điểm ba thể O ($0,0098^{\circ}\text{C}$; $4,58\text{mmHg}$). Quá trình biến đổi pha của nước luôn phụ thuộc vào hai thông số cơ bản đó là nhiệt độ và áp suất, ứng với một giá trị áp suất xác định sẽ có một giá trị nhiệt độ thăng hoa xác định (bảng 1.1) [36, 37, 38].

Bảng 1.1: Quan hệ giữa áp suất với nhiệt độ thăng hoa của nước đá

$T_{th}, ^{\circ}\text{C}$	0,0098	-1,7	-5,1	-9,8	-17,5	-26,6	-39,3	-45,4	-57,6	-66,7
P_{th}, mmHg	4,58	4,00	3,00	2,00	1,00	0,40	0,10	0,05	0,01	0,001

Mối quan hệ áp suất và nhiệt độ thăng hoa của nước đá ở bảng trên, được biểu diễn ở hình 1.2, [38], "Quan hệ giữa áp suất và nhiệt độ thăng hoa của nước đá", việc chọn áp suất môi trường sấy thăng hoa phù hợp với nhiệt độ thăng hoa nước đá sẽ quyết định đến thời gian thăng hoa của nước đá, nếu áp suất môi trường sấy thăng hoa không phù hợp sẽ kéo dài thời gian thăng hoa.



Hình 1.2: Quan hệ giữa áp suất với nhiệt độ thăng hoa của nước đá

Hình 1.2 cho thấy, quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất thăng hoa của nước đá rất phức tạp, nó là quan hệ phi tuyến. Vì vậy, rất khó tự động điều khiển quá trình thăng hoa.

1.1.4. Bản chất của quá trình sấy

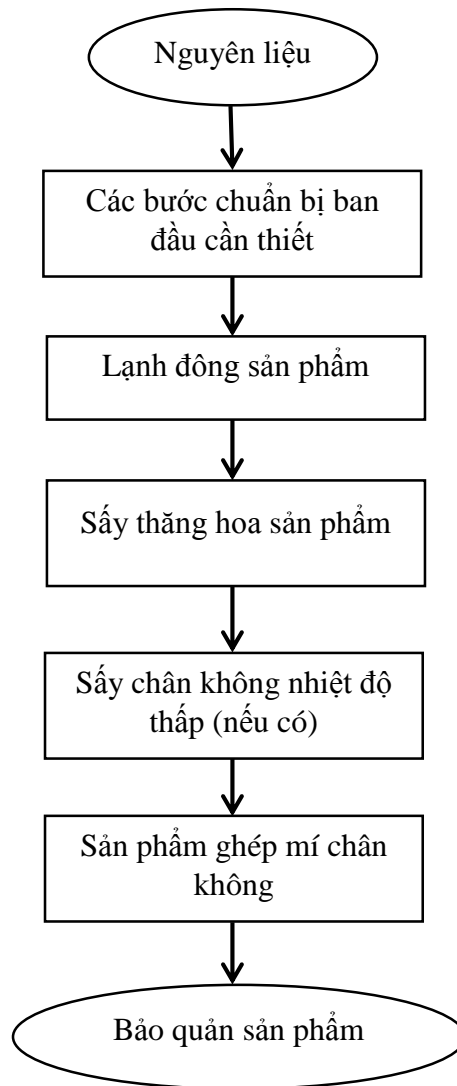
Là quá trình tách ẩm ra khỏi vật liệu sấy (trên hình 1.1 diễn ra theo M – G) bằng nhiệt ở tại nhiệt độ và áp suất xác định, với các mục đích sau: [36, 37, 38].

- +) Giảm trọng lượng của sản phẩm, giảm chi phí vận chuyển.
- +) Tăng độ bền cho sản phẩm, làm thay đổi giá trị cảm quan của sản phẩm.
- +) Tăng khả năng bảo quản.

Đối với các sản phẩm sinh học, thực phẩm,... là môi trường giàu dinh dưỡng, nhưng vì độ ẩm của sản phẩm nhỏ hơn 6% không đủ điều kiện để cho vi sinh vật sinh trưởng và phát triển làm hư các sản phẩm.

1.1.5. Quá trình tách ẩm bằng phương pháp sấy thăng hoa

Khác với phương pháp sấy thông thường, sấy thăng hoa (hình trên diễn ra theo M – N – R - Q) là một trong những phương pháp được tiến hành trên hệ thống thiết bị khá phức tạp, gồm hai giai đoạn chính theo sơ đồ quy trình công nghệ mô tả ở hình dưới "Quy trình công nghệ sấy thăng hoa" [36 ,37, 38].



Hình 1.3: Quy trình công nghệ sấy thăng hoa

- **Giai đoạn 1:**

Là giai đoạn lạnh đông vật liệu sấy. Nguyên liệu sau khi chuẩn bị xong được tiến hành lạnh đông để ẩm trong vật liệu sấy kết tinh [38]. Kết thúc giai đoạn này khi nhiệt độ vật liệu sấy đạt tới nhiệt độ lạnh đông thích hợp để ẩm trong vật liệu sấy kết tinh hoàn toàn trước sấy thăng hoa.

- **Giai đoạn 2:**

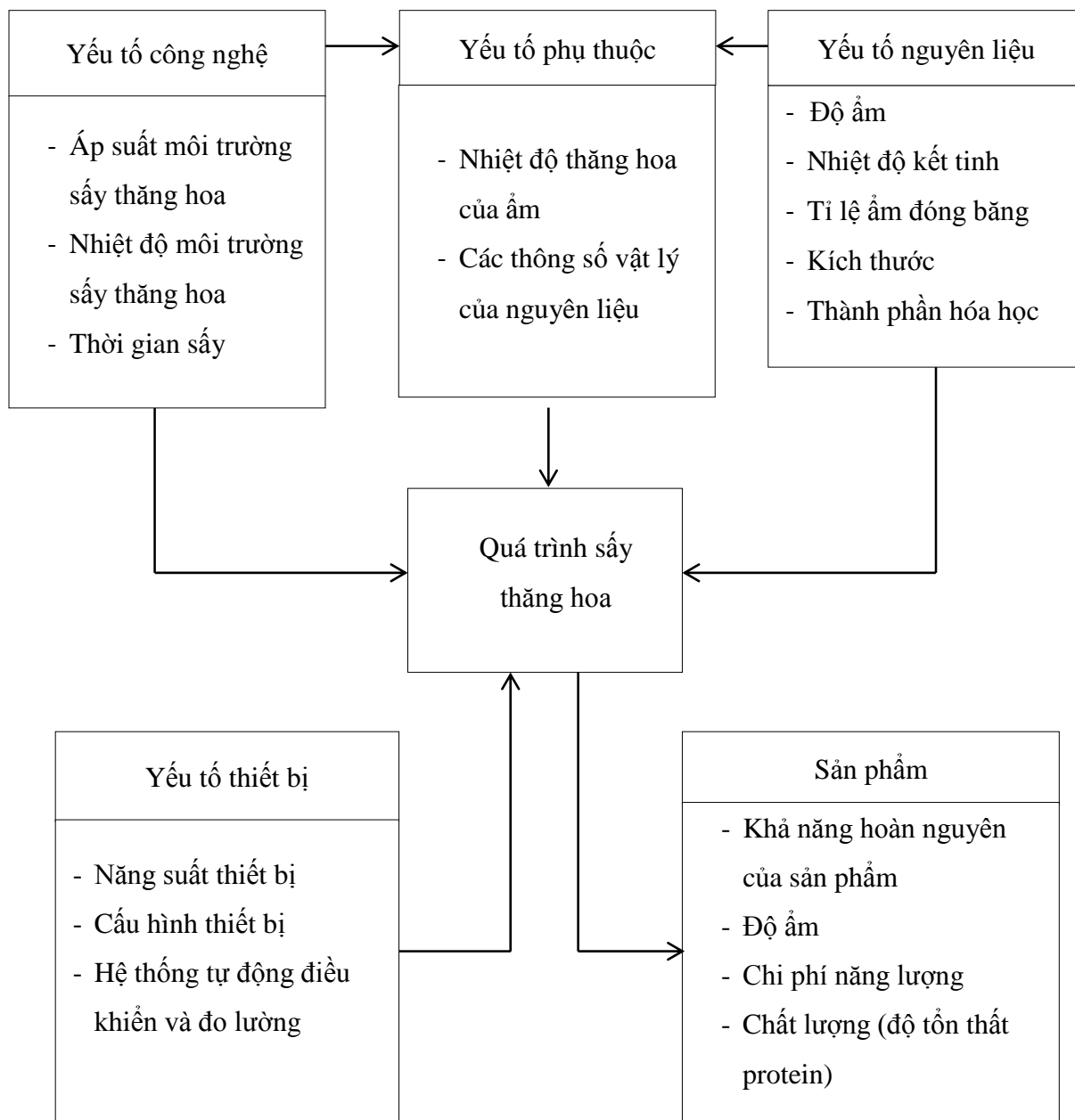
Là sấy thăng hoa (STH) được tiến hành trong môi trường có nhiệt độ và áp suất thấp, dưới điểm ba thể $O(0,0098^{\circ}C; 4,58\text{mmHg})$ đối với nước đá, còn dưới điểm $(T_{kt}; 4,58\text{mmHg})$ đối với ẩm kết tinh trong vật liệu sấy. Để sản phẩm sau khi sấy có chất lượng

tốt thì kết thúc giai đoạn này ẩm kết tinh đã thăng hoa hết, độ ẩm sản phẩm đạt yêu cầu và nhiệt độ sản phẩm vượt qua nhiệt độ kết tinh của ẩm trong sản phẩm (T_{kt}), khi đó ẩm còn lại trong sản phẩm rất ít, chủ yếu là ẩm liên kết và chỉ tồn tại ở pha lỏng [38].

- **Giai đoạn 3** (nếu có):

Là sấy chân không nhiệt độ thấp chỉ xảy ra khi kết thúc giai đoạn sấy thăng hoa mà độ ẩm sản phẩm vẫn chưa đạt yêu cầu, lúc này tiến hành giai đoạn sấy chân không nhiệt độ thấp làm bay hơi lượng ẩm còn lại của sản phẩm. Cho đến khi độ ẩm sản phẩm đạt tới độ ẩm yêu cầu (dưới 6%) thì quá trình sấy kết thúc, như vậy ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Sản phẩm sau khi sấy cho vào túi PE, ghép mí chân không kín rồi bảo quản ở nhiệt độ thường [38].

1.1.6. Các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến quá trình sấy thăng hoa



Hình 1.4: Các yếu tố tác động đến quá trình sấy thăng hoa

Trên cơ sở phân tích các đối tượng công nghệ sấy thăng hoa ở hình 1.4 đã cho thấy mối quan hệ giữa các yếu tố tác động đầu vào gồm: yếu tố nguyên liệu, yếu tố thiết bị, yếu tố công nghệ và yếu tố phụ thuộc với các yếu tố đầu ra là các hàm mục tiêu gồm: chi phí năng lượng, độ ẩm và chất lượng của sản phẩm sấy thăng hoa [36, 38].

Như vậy các yếu tố công nghệ đã ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình sấy thăng hoa.

- Nhiệt độ môi trường sấy thăng hoa:
 - Nhiệt độ môi trường sấy thăng hoa là yếu tố công nghệ tạo ra động lực cho quá trình truyền nhiệt tách ẩm trong sấy thăng hoa, nó ảnh hưởng đến các đặc tính về độ ẩm, chất lượng và chi phí năng lượng của sản phẩm sấy thăng hoa.
 - Nhiệt cấp vào làm tăng nhiệt độ môi trường sấy và nhiệt độ của giá truyền nhiệt tạo động lực cho quá trình sấy. Do sự chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ môi trường sấy, giá truyền nhiệt với nhiệt độ sản phẩm lạnh đông sấy thăng hoa, làm cho quá trình sấy thăng hoa nhanh hơn, rút ngắn thời gian sấy, tiết kiệm năng lượng.
 - Nhiệt độ môi trường sấy thăng hoa cũng như giá truyền nhiệt chỉ dao động trong khoảng -45°C đến 35°C , nhiệt độ sản phẩm phải nhỏ hơn hoặc bằng (dưới) nhiệt độ kết tinh của ẩm bên trong sản phẩm [36, 38, 50].
 - Áp suất môi trường sấy thăng hoa
 - Áp suất môi trường sấy thăng hoa ảnh hưởng đến chi phí năng lượng của quá trình sấy thăng hoa, ứng với mỗi giá trị áp suất môi trường sấy thăng hoa thì sẽ có một giá trị nhiệt độ thăng hoa xác định. Vì thế, cần chọn áp suất môi trường sấy thăng hoa phù hợp với nhiệt độ của ẩm kết tinh trong sản phẩm khi tiến hành sấy thăng hoa, nhiệt độ này chính là nhiệt lạnh đông thích hợp của sản phẩm [36].
 - Nếu chọn áp suất môi trường sấy thăng hoa không phù hợp với nhiệt độ lạnh đông thích hợp của sản phẩm thì nhiệt cấp vào chưa thể làm ẩm kết tinh thăng hoa ngay, mà chúng trải qua một giai đoạn nâng nhiệt. Như vậy, sẽ tổn một lượng nhiệt và thời gian đốt nóng, dẫn đến làm chi phí năng lượng tăng. Ngoài ra, khi nâng nhiệt độ sản phẩm sẽ làm cho một phần ẩm kết tinh trong sản phẩm bị tan chảy, ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm sau khi sấy [50].
 - Thời gian sấy thăng hoa

Thời gian của quá trình sấy thăng hoa là một trong những yếu tố công nghệ quyết định đến độ ẩm, chất lượng và chi phí năng lượng của sản phẩm sấy thăng hoa. Khi thời gian sấy thăng hoa ngắn thì độ ẩm sản phẩm sau khi sấy không đạt yêu cầu, không đáp ứng được khả năng bảo quản. Khi thời gian sấy thăng hoa kéo dài, sẽ làm chi phí năng lượng tăng. Nếu thời gian sấy thăng hoa ngắn, thời gian sấy chân không kéo dài thì chất lượng sản phẩm sau khi sấy giảm. Nguyên nhân là do cơ chế tách ẩm ở giai đoạn sấy thăng hoa

từ pha rắn sang pha hơi ở nhiệt độ thấp khác với cơ chế tách ẩm ở giai đoạn sấy chân không từ pha lỏng sang pha hơi ở nhiệt độ cao, nên ảnh hưởng đến khả năng hoàn nguyên của sản phẩm, làm thay đổi chất lượng và chi phí năng lượng của sản phẩm sấy thăng hoa [36, 37, 38, 50].

1.1.7. Ưu- nhược điểm của máy sấy thăng hoa

❖ Ưu điểm

Quá trình sấy thăng hoa tạo ra sản phẩm có chất lượng tốt hơn hẳn so với các phương pháp sấy khác, cụ thể như sau:

- Giữ lại được gần hầu hết các chất dinh dưỡng trong nguyên liệu ban đầu như: các vitamin, khoáng, protein, ...
- Giữ nguyên được hương vị và màu sắc ban đầu của sản phẩm.
- Sản phẩm có cấu trúc cứng rắn, giữ được hình dạng ban đầu, ít bị co ngót và không có hiện tượng cứng vỏ.
- Sản phẩm sấy thăng hoa có đặc tính hút nước trở lại nhanh hơn so với sản phẩm sấy thông thường và trở lại hình dạng cấu trúc ban đầu.
- Quá trình sấy thăng hoa tạo ra sản phẩm ổn định với thời gian bảo quản rất lâu, điều kiện bảo quản dễ dàng.
- Sản phẩm có trọng lượng nhỏ, dễ dàng vận chuyển nên giảm được chi phí chuyên chở.
- Quá trình sấy đảm bảo các đặc tính sinh học của sản phẩm, không xảy ra các phản ứng như: caramel, maillard, oxy- hóa khử, nhiệt phân, thủy phân,...
- Không xảy ra các quá trình vi sinh.
- Thời gian bảo quản lâu dài nếu thực phẩm chứa trong bao bì chống ẩm và không phụ thuộc vào điều kiện bên ngoài.

❖ Nhược điểm

Nhược điểm lớn nhất của hệ thống sấy thăng hoa là chi phí rất cao (năng lượng và chi phí đầu tư thiết bị), hệ thống phức tạp, cồng kềnh, phải dùng đồng thời bơm chân không và máy lạnh. Do đó vận hành phức tạp và đòi hỏi nhân công có trình độ cao.

Bảng 1.2: So sánh sự khác nhau giữa sấy thăng hoa và sấy khô truyền thống

Sấy thăng hoa	Sấy khô truyền thống
<ul style="list-style-type: none"> - Sấy được hầu hết các loại thực phẩm mà các phương pháp khác không thực hiện được. - Rất tốt cho chế biến thịt chín và sống - Nhiệt độ dưới điểm đông lạnh - Áp suất thấp (27-133Pa) - Thăng hoa nước từ mặt nước đá - Sự tổn thất dinh dưỡng là tối thiểu. - Ít gây thay đổi cấu trúc và làm co sản phẩm. - Khử nước rất nhanh. - Những phần được sấy khô và xốp có mật độ thấp hơn nguyên liệu. - Hương vị được giữ lại bình thường. - Màu sắc sản phẩm bình thường. - Giữ được dinh dưỡng. - Giá sản phẩm tương đối cao. 	<ul style="list-style-type: none"> - Thực phẩm sấy khô dễ dàng (rau, ngũ cốc). - Thịt nói chung không cho hiệu quả. - Nhiệt độ khoảng từ 39-93°C - Áp suất khí quyển - Bốc hơi nước từ bề mặt thực phẩm - Làm tổn thất chất hòa tan, có khi làm cứng sản phẩm. - Ứng suất tác động trên thực phẩm rắn là nguyên nhân ảnh hưởng đến cấu trúc và làm co sản phẩm. - Sự khử nước chậm và không hoàn toàn. - Những phần sấy khô là rắn hay lỏng xốp thường có mật độ cao hơn nguyên liệu. - Tổn thất hương vị. - Sản phẩm thường sẫm màu. - Giá trị dinh dưỡng giảm. - Giá sản phẩm thấp.

1.2. Cơ sở khoa học của quá trình lạnh đông

Quá trình lạnh đông sản phẩm là quá trình làm giảm nhiệt độ sản phẩm dưới nhiệt độ kết tinh của ẩm trong sản phẩm, làm cho nước trong sản phẩm kết tinh (đông đá), hay nước từ pha lỏng chuyển sang pha rắn. Nhiệt độ kết tinh của nước nguyên chất là $T_{kt} = 0^{\circ}\text{C}$, còn nước trong sản phẩm dưới T_{kt} ($< T_{kt} = 0^{\circ}\text{C}$), thường từ $T_{kt} = -0,5^{\circ}\text{C}$ đến $-2,5^{\circ}\text{C}$ từ thuộc vào loại sản phẩm, là do chúng không phải nguyên chất mà ở dạng dung dịch (trong

dịch bào), ở dạng liên kết với cấu trúc hữu cơ của sản phẩm ở các dạng cơ, hóa, lý. Quá trình này nhiệt độ bề mặt giảm xuống trước, nhiệt độ tâm giảm xuống sau, lý do là do bề mặt sản phẩm tiếp xúc trực tiếp với môi trường có nhiệt độ thấp, đó là nhiệt độ môi trường lạnh đông [19, 20, 36].

Đối với, công nghệ lạnh đông dùng để bảo quản yêu cầu ẩm trong sản phẩm kết tinh trên 86%, khi đó làm mất môi trường sống của vi sinh vật, đồng thời ẩm trong vi sinh vật cũng bị kết tinh, giãn nở thể tích dẫn đến làm rách màng tế bào, phá vỡ cấu trúc vi sinh vật, làm vi sinh vật bị giết chết. Vì thế, sản phẩm lạnh đông sẽ kéo dài được thời gian bảo quản.

Khác với lạnh đông để bảo quản, lạnh đông (giai đoạn 1) dùng để sấy thăng hoa, yêu cầu lượng toàn bộ ẩm trong sản phẩm phải được kết tinh hoàn toàn ($\omega(T_{Fopt}) = 1$ hay 100%), tại nhiệt độ lạnh đông của sản phẩm để ẩm kết tinh hoàn toàn được gọi là nhiệt độ lạnh đông thích hợp (T_{Fopt}). Nếu lượng ẩm kết tinh ít (dưới 100%), dẫn đến thời gian sấy thăng hoa bị rút ngắn, thời gian sấy chân không nhiệt độ thấp sẽ kéo dài và tiêu tốn nhiều năng lượng, đồng thời làm cho sản phẩm bị co rút và nứt nẻ bề mặt, không tạo được độ xốp, sản phẩm bị biến tính và khó hoàn nguyên trở lại, chất lượng sản phẩm giảm. Như vậy, dễ dàng thấy rằng, quá trình lạnh đông sản phẩm dùng để sấy thăng hoa là giai đoạn rất quan trọng nó quyết định đến chất lượng và chi phí năng lượng của sản phẩm sau lạnh đông và sau khi sấy thăng hoa [19, 20, 36].

Về mặt lý thuyết khi nhiệt độ tâm sản phẩm đạt tới nhiệt độ kết tinh của ẩm trong sản phẩm là T_{kt} thì nước sẽ kết tinh hoàn toàn. Tuy nhiên, thực tế không phải là như vậy, vì nước trong sản phẩm không phải là nguyên chất mà ở dạng dung dịch, khi kết tinh nước sẽ tách ra làm nồng độ dung dịch tăng dẫn đến nhiệt độ kết tinh giảm. Vì thế, khi nhiệt độ tâm của sản phẩm $T_{kt} = (-10 \text{ đến } -28)^{\circ}\text{C}$ thì nước mới kết tinh hoàn toàn (tùy thuộc vào từng loại sản phẩm) [19, 20, 36].

1.3. Cơ sở khoa học của phương pháp xác định tỷ lệ nước đóng băng

Sự kết tinh của nước là hiện tượng cơ bản làm thay đổi các tính chất của thực phẩm. Nước chuyển sang trạng thái rắn làm mất đi trạng thái lỏng cho sự hoạt động của vi sinh vật và các enzyme trong thực phẩm. Sự mất năng lượng do kết tinh của nước rất lớn so với các quá trình giảm nhiệt độ, đây là những yếu tố chủ yếu dẫn đến tiêu diệt hoặc kìm

tác động của môi trường bên ngoài trong quá trình vận chuyển, bảo quản. Vì vậy, làm đông là biện pháp bảo vệ tốt nhất những tính chất ban đầu của thực phẩm trong một thời gian dài [19, 38].

Khi nước kết tinh sẽ giãn nở thể tích, thường làm rách vỡ cấu trúc bên trong của thực phẩm, dẫn đến làm thay đổi một số tính chất của nó. Quá trình kết tinh làm tăng tốc độ mất nước, đồng thời gây biến tính những chất dinh dưỡng có liên kết tốt với nước, dẫn đến làm giảm mùi vị, khả năng hút nước và giữ nước của thực phẩm, ngoài ra nó còn thay đổi màu sắc của thực phẩm.

Quá trình kết tinh của nước là quá trình tạo thành các mầm tinh thể và tăng kích thước của chúng. Quá trình giảm nhiệt độ tức là quá trình giảm mức năng lượng, dẫn đến giảm sự chuyển động tự do về nhiệt của các phân tử chất lỏng, đến một mức độ nào đó lực liên kết giữa các phân tử có thể cố định chúng lại tại những vị trí xác định, tạo thành tinh thể nước đá. Ở trong nước thường có các phân tử chất rắn kích thước nhỏ. Ở nhiệt độ gần 0°C những phân tử chất rắn này sẽ ngừng chuyển động nhiệt, lực kết hợp giữa các phân tử nước xung quanh lớn hơn giữa các phân tử nước với nhau. Vì vậy các phân tử nước liên kết với các phân tử chất rắn ở 0°C để tạo thành mầm tinh thể. Do đó, xu hướng chủ yếu là các mầm tinh thể hút các phân tử nước để tăng kích thước tinh thể và ít có xu hướng tăng thêm số lượng mầm tinh thể [19, 38].

Xác định tỷ lệ nước đóng băng là một yếu tố quan trọng trong việc bảo quản bằng phương pháp lạnh đông và áp dụng quá trình lạnh đông trong sấy thăng hoa. Thông thường trong quá trình bảo quản tỷ lệ nước đóng băng thường là 80-86% nhưng quá trình sấy thăng hoa đòi hỏi tỷ lệ nước đóng băng là 100% để nước chuyển từ trạng thái rắn sang trạng thái hơi hoàn toàn. Việc xác định tỷ lệ nước đóng băng là cơ sở để xác định nhiệt độ lạnh tối ưu, từ đó xác định cho phép xác định thời gian của môi trường lạnh đông nhất định để nhiệt độ thực phẩm đạt tới nhiệt độ lạnh đông tối ưu [7, 19, 38].

❖ Cơ sở khoa học xác định tỷ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông

Các giả thiết ban đầu khi thiết lập bài toán - Hàm mục tiêu cần xây dựng có dạng:

$$\omega = f(T_e, T_0, \tau, R)$$

Trong đó: xem các thông số nhiệt- vật lý vật liệu ẩm gần như không đổi.

- T_e [$^{\circ}\text{C}$]: nhiệt độ trung bình vật liệu ẩm cần lạnh đông, $T_e \leq T_{kt}$
- T_0 [$^{\circ}\text{C}$]: nhiệt độ môi trường lạnh đông.
- $\delta = 2R$ [m]: bề dày của vật liệu ẩm dạng phẳng cần nghiên cứu.
- ρ [kg/m³]: khối lượng riêng của vật liệu ẩm.
- C_{pn} [kJ/(kgK)]: nhiệt dung riêng của ẩm (nước) có trong vật liệu ẩm.
- C_{pb} [kJ/(kgK)]: nhiệt dung riêng của ẩm (nước) đóng băng bên trong vật liệu ẩm.
- C_{pk} [kJ/(kgK)]: nhiệt dung riêng của chất khô tuyệt đối của vật liệu ẩm.
- $\bar{\omega} \in [0,1]$: tỷ lệ nước đóng băng trung bình theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu ẩm.
- $\omega = G_{nb}/G_n \in [0,1]$: tỷ lệ ẩm (nước) đóng băng trong vật liệu ẩm.
- G_{nb} , G_n , G [kg]: khối lượng ẩm (nước) đã đóng băng và tổng khối lượng ẩm (nước) có trong vật liệu và khối lượng vật liệu ẩm.
- $W_a = G_n/G \in (0,1)$: tỷ lệ ẩm (hay độ ẩm tương đối) có trong vật liệu và được phân bố đều.
- L [kJ/kg]: ẩn nhiệt đông đặc của nước.
- τ [h]: là thời gian làm lạnh đông vật liệu.

❖ Công thức xác định tỷ lệ nước đóng băng trung bình theo nhiệt độ vật liệu lạnh đông:

[19]

$$\bar{\omega} = \frac{-B}{D} + \frac{B.C}{D^2.(T_{kt}-T_e)} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| + \frac{A.(T_{kt}-T_0)}{R.(1+B)(T_{kt}-T_e)} \cdot \left[-\frac{a_1}{2D} (T_{kt}^2 - T_e^2) - \left[\frac{b_1}{D} + \frac{a_1}{D^2} (C + DT_{kt}) \right] (T_{kt} - T_e) + \left[c_1 + (C + DT_{kt}) \cdot \left[\frac{b_1}{D} + (C + DT_{kt}) \frac{a_1}{D^2} \right] \right] \cdot \frac{1}{D} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| \right]$$

1.4. Giới thiệu về sò lông

1.4.1. Cấu tạo của sò lông

Sò là nhóm động vật thân mềm hai vỏ rất phổ biến ở nước ta. Sò có vỏ cứng, dày, 2 vỏ bằng nhau hoặc không bằng nhau, hình bầu dục. Mặt vỏ có nhiều tia phóng xạ to và dày

như những đường gân và có lớp da vỏ bọc ngoài, phần nhiều có dạng tiêm mao. Bản lề có nhiều răng ngắn hay dạng tấm. Vết cơ khép vỏ trước và sau nằm cách xa nhau và lớn nhỏ không đều. Vết màng áo đơn giản, mặt trong vỏ không có lớp xà cừ. Các loài sò khác nhau thì khác nhau về hình thái cấu tạo vỏ, kích thước và tập tính phân bố. Sò lông có tên khoa học là *Anadara subcrenata*, tên thông dụng là Sò lông, tên tiếng Anh là Hakf - crenate Ark, trong y học cổ truyền còn có tên là Mao Kham [16, 39, 49].



Hình 1.5: Sò Lông

- Cấu tạo ngoài: vỏ dày, phẳng to, hình bầu dục, hai vỏ không bằng nhau, vỏ phải to hơn vỏ trái. Tia phóng xạ trên mặt vỏ to và tương đối sát nhau, trên mặt có 31 – 35 gờ phóng xạ, các đường gờ tỏa ra từ đỉnh xuống tới mép vỏ được cấu tạo bởi các vảy xếp chồng lên nhau trông giống như ngói lợp, trên gờ phóng xạ có nhiều hạt (ụ nhỏ), những hạt này trên gờ phóng xạ rất rõ nét. Da vỏ màu nâu phát triển thành lông. Bản lề hẹp và hướng về phía sau. Sò thường có chiều dài khoảng 48mm, chiều cao 38mm và bề ngang 32mm.
- Cấu tạo trong: Màng áo ngoài gồm 2 tấm đối xứng hai bên bao bọc bên ngoài phần nội tạng. Mép trước tương đối mỏng, mép sau dày hơn, mép lớn trong có dạng sóng và mép màng áo trái phải thành dạng sóng khớp nhau. Cơ khép vỏ trước dính liền phần lưng, cơ khép vỏ sau ở mặt bụng. Chân to, rộng nằm ở giữa xoang áo ngoài, mũi chân trông nhọn như lưỡi dao, giữa mặt bụng chân có một rãnh chân. Không có vôi nước [16, 39, 49].

1.4.2. Đặc điểm sinh trưởng của sò lông

- Đặc điểm môi trường sống: Sò lông thường sống ở nơi có chất đáy bùn pha lẫn vỏ động vật thân mềm. Ở vùng dưới triều từ 3-10m nước, thường hình thành những bãi sò rất lớn và không cố định, chúng có thể di chuyển tùy theo sự biến đổi của các điều kiện ngoại cảnh.
- Dinh dưỡng: Sò lông dinh dưỡng bằng cách lọc mồi. Nhờ sự vận động của các tiêm mao trên các tơ mang mà thức ăn được lọc qua mang rồi chuyển đến miệng. Đầu tiên, sò mở vỏ nhờ sự vận động của mép màng áo và tiêm mao trên các tơ mang, tạo dòng chảy vào để hô hấp và lọc mồi, đồng thời đẩy các mảnh vụn lớn không sử dụng được rơi xuống mép màng áo đưa ra ngoài. Thức ăn chủ yếu của sò lông là thực vật phù du và mùn bã hữu cơ. Tốc độ sinh trưởng của Sò có quan hệ với ngoại cảnh nhất là đối với thời gian bắt mồi. Nhìn chung sinh trưởng của sò tương đối chậm. Năm năm mới dài được 3,7 cm, tỷ số sinh trưởng cũng lại giảm theo tuổi.
- Sinh sản: Sò lông có khả năng sinh sản nhiều lần trong năm. Mùa sinh sản của sò lông ở miền Bắc thường vào tháng 5 và kết thúc vào tháng 10 [7, 39, 45].

1.4.3. Phân bố, kỹ thuật nuôi và sản lượng thu hoạch sò lông

- Phân bố: Sò lông phân bố tập trung ở vùng biển nhiệt đới Ấn Độ - Thái Bình Dương, từ ven biển đông nam Trung Quốc, Ấn Độ, Thái Lan, Indonexia, Phillippin, Bắc Úc. Ở Việt Nam sò lông phân bố dọc theo ven biển, có nhiều ở Quảng Ninh, Hải Phòng, Thanh Hóa, Phú Yên, Ninh Thuận, Bình Thuận.
- Kỹ thuật nuôi: Hình thức nuôi là quây rào chắn ở các bãi triều có đáy là bùn, bùn pha cát. Sò lông sống phù hợp nhất với đất bãi bồi chiếm khoảng 60% chất mùn và 40% cát ở độ sâu từ 3-5m. Vùng nuôi sò lông lý tưởng nhất là phải cách bờ từ 0,5 - 1km. Thông thường vào tháng tám âm lịch hàng năm là thời điểm xuống giống sò lông lý tưởng nhất. Và thời điểm xuống giống sò thích hợp nhất là vào lúc buổi chiều mát. Hiện nay sò lông được nuôi nhiều ở các tỉnh Kiên Giang, Bình Thuận và một số tỉnh ven biển khác.... Toàn tỉnh Kiên Giang hiện có trên 3.000 ha diện tích nuôi sò lông, tập trung chủ yếu ở huyện Kiên Lương, TX Hà Tiên.
- Hình thức khai thác: Do sò lông chỉ sống một chỗ không di chuyển như các loại nhuyễn thể hai mảnh vỏ khác nên thu hoạch rất dễ dàng. Ở nước ta hình thức khai thác sò còn thô sơ, quy mô nhỏ. Mùa vụ khai thác thường từ tháng 7 đến tháng 9.

- Sản lượng thu hoạch: Năm 2001, vùng ven biển miền Bắc (từ Quảng Ninh đến Thừa Thiên Huế) sản lượng sò lông đạt 2000 – 2200 tấn/năm. Vùng ven biển miền Trung (từ Đà Nẵng đến Vũng Tàu) từ 20.000-25.000 tấn/năm [39, 45].

1.4.4. Giá trị của thịt sò lông

Thịt sò lông có vị ngọt, mặn, tính ấm, không độc có tác dụng bổ huyết ôn trung, kiện vị, chữa thiếu máu, huyết hư, tiêu hóa kém, đau dạ dày. Thịt sò lông chứa rất nhiều chất đạm, các thành phần chất dinh dưỡng giúp tăng cường sự dẻo dai và năng lượng. Vì thế nên sò lông được rất nhiều người yêu thích và được sử dụng thường xuyên trong bữa ăn hằng ngày. Thịt sò lông có thể chế biến thành các món ăn hấp dẫn như: sò lông nướng mỡ hành, cháo sò lông, sò lông xào sả ớt,...[49].

- ❖ Trong 100g thịt sò lông cung cấp 78 kcal và có chứa các chất dinh dưỡng được trình bày trong bảng 1.2

Bảng 1.2: Hàm lượng các chất dinh dưỡng có trong 100g thịt sò lông

Stt	Các chất dinh dưỡng	Hàm lượng
1	Protein	8,8g
2	Lipid	0,4g
3	Glucid	3g
4	Canxi	37mg
5	Photpho	82mg
6	Vitamin A	52,5mg
7	Vitamin B1	0,03mg
8	Vitamin B2	0,15mg
9	Vitamin PP	1,7mg

CHƯƠNG 2: VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu nghiên cứu

Trong nghiên này chúng tôi sử dụng sò lông còn tươi sống, có kích thước lớn khoảng 18-19 con/1kg. Sò lông được mua ở vựa thủy sản nên đảm bảo độ tươi cũng như nguồn nguyên liệu sẵn có để đáp ứng nhu cầu nghiên cứu. Lựa chọn những con còn há miệng, khi đụng vào khép miệng lại, riêng những con sò ngậm chặt miệng, nên đưa lên mũi ngửi thấy không có mùi hôi là được. Do tính chất của nguyên liệu thủy sản là dễ bị ươn thối và chuyển hóa nếu không được bảo quản tốt vì thế phải xử lý và chuẩn bị mẫu khi nguyên liệu còn tươi sống.

Sò lông được mua khi còn tươi sống và được chuyển về phòng thí nghiệm trường đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Thành Phố Hồ Chí Minh và xử lý nhà cát sạn và tiến hành làm thí nghiệm.



Hình 2.1: Nguyên liệu sò lông

2.2. Thiết bị sử dụng trong nghiên cứu

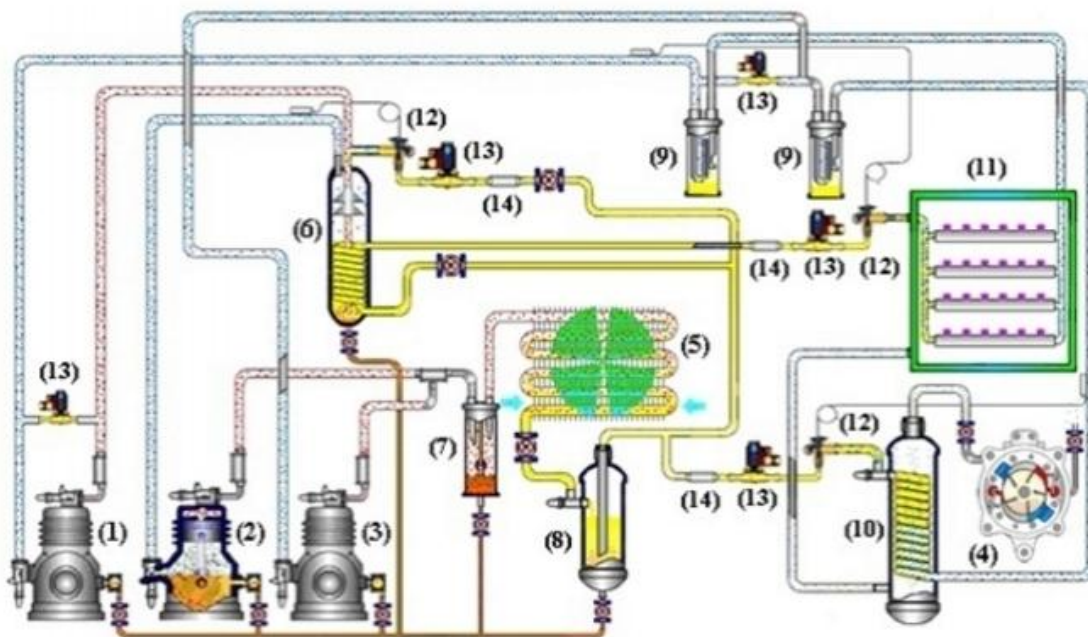
Thiết bị sấy thăng hoa DS-3 là thiết bị sấy khá hiện đại lần đầu tiên được chế tạo tại Việt Nam. Thiết bị DS-3 hoạt động ở quy mô công nghiệp và đã được tự động hóa hoàn toàn. Hệ thống đo lường và điều khiển tự động bằng chương trình lập trình trên máy tính (computer) hoặc trong các vi mạch xử lý (Microprocessor), vi điều khiển (Microcontroller) và nó điều khiển hệ thống quy trình công nghệ một cách mềm dẻo bằng máy tính. [36, 50]

- ❖ Hệ thống có nhiều ưu điểm nổi bật như:
 - Dung tích sấy tối đa: 8-10kg nguyên liệu/mẻ
 - Nhiệt độ lạnh đông vật liệu tối đa từ: -49°C đến -45°C
 - Thời gian lạnh đông: 0,5 - 4 giờ
 - Thời gian sấy: 10-18 giờ



Hình 2.2: Máy sấy thăng hoa DS-3

❖ Sơ đồ nguyên lí của thiết bị sấy thăng hoa



Hình 2.3: Sơ đồ nguyên lý hệ thống sấy thăng hoa

1,2,3- Máy nén lạnh

9- Bình tách lỏng

4- Bơm chân không

10- Thiết bị ngưng tụ - đóng băng

5- Thiết bị ngưng tụ

11- Buồng lạnh đông và thăng hoa

6- Bình làm mát trung gian

12- Van tiết lưu

7- Bình tách dầu

13- Van điện từ

8- Bình chứa lỏng cao áp

14- Phin lọc

❖ Quá trình hoạt động của hệ thống sấy thăng hoa có thể được tóm tắt như sau:

Sau khi vật liệu sấy được cấp đông trực tiếp trong buồng thăng hoa và đạt được nhiệt độ yêu cầu thì ta bắt đầu tiến hành quá trình thăng hoa lượng ẩm bị hóa rắn trong vật liệu. Khi đó, bơm chân không hoạt động để tạo chân không trong buồng thăng hoa. Sau khi áp suất trong buồng đạt được độ chân không mong muốn thì các tấm gia nhiệt đặt trong buồng sấy sẽ truyền nhiệt cho vật liệu để làm thăng hoa lượng ẩm bị hóa rắn trong quá trình cấp đông vật liệu. Áp suất trong buồng sấy thăng hoa khi tiến hành quá trình sấy là tổng áp suất giữa lượng không khí còn lại trong buồng sấy và lượng hơi nước bay từ vật

liệu. Khi áp suất càng thấp thì thể tích riêng phần của hơi nước càng lớn. Do đó, trong quá trình thăng hoa nếu không tiến hành hút hơi nước kịp thời thì sẽ làm cho áp suất trong buồng sấy tăng lên, làm thay đổi trạng thái chân không của buồng. Do đó, dòng hỗn hợp khí – hơi nước từ buồng sấy đi qua bơm chân không và được thải ra ngoài môi trường thì sẽ đi qua thiết bị đóng băng hơi nước. Tại đây, nhiệt độ hỗn hợp không khí – hơi nước được làm lạnh nhờ dàn lạnh. Do đó, hơi nước sẽ đóng băng và tách ra khỏi dòng hỗn hợp khí. Nhờ vậy mà trạng thái chân không trong buồng sấy luôn ổn định và tránh được hiện tượng hơi nước ngưng tụ ở bơm chân không gây va đập thủy lực làm hư bơm. Sau khi giai đoạn thăng hoa tiến hành xong thì ta sẽ thực hiện quá trình sấy chân không để tiếp tục làm bốc hơi lượng ẩm còn lại trong vật liệu. Trong giai đoạn này, bơm chân không và thiết bị đóng băng hơi nước vẫn hoạt động. Còn các tấm gia nhiệt thì bắt đầu tăng nhiệt lượng bức xạ truyền cho vật liệu. Nhờ vậy, lượng ẩm còn lại trong vật liệu sẽ bay hơi cho đến khi quá trình sấy kết thúc [38, 50].

Ngoài ra trong thí nghiệm này còn sử dụng một số thiết bị khác tại xưởng công nghệ thực phẩm, khoa Công nghệ Hóa học và Thực phẩm- Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP HCM

- Tủ cấp đông: Hạ nhiệt độ sản phẩm đến khoảng -45°C , dùng để cấp đông vật liệu trước khi sấy. Hình ảnh tủ cấp đông được thể hiện trong hình 2.4.



Hình 2.4: Hình ảnh tủ cấp đông

- Bộ đo nhiệt độ bề mặt mẫu và đo nhiệt độ trung tâm mẫu Dual Digital Thermometer được sản xuất ở Nhật Bản. Nhiệt kế đo nhiệt độ bề mặt mẫu có giới hạn nhiệt độ là: $-50 \div -70^{\circ}\text{C}$, sai số là ± 1 thể hiện ở hình 2.5, nhiệt kế đo nhiệt độ tâm mẫu với biên độ nhiệt chính xác là $(-10 \div -50)^{\circ}\text{C}$, sai số $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ thể hiện ở hình 2.6.



Hình 0.5: Hình ảnh nhiệt kế đo tâm



Hình 2.6: Hình ảnh nhiệt kế đo bề mặt vật liệu

2.3. Phương pháp nghiên cứu

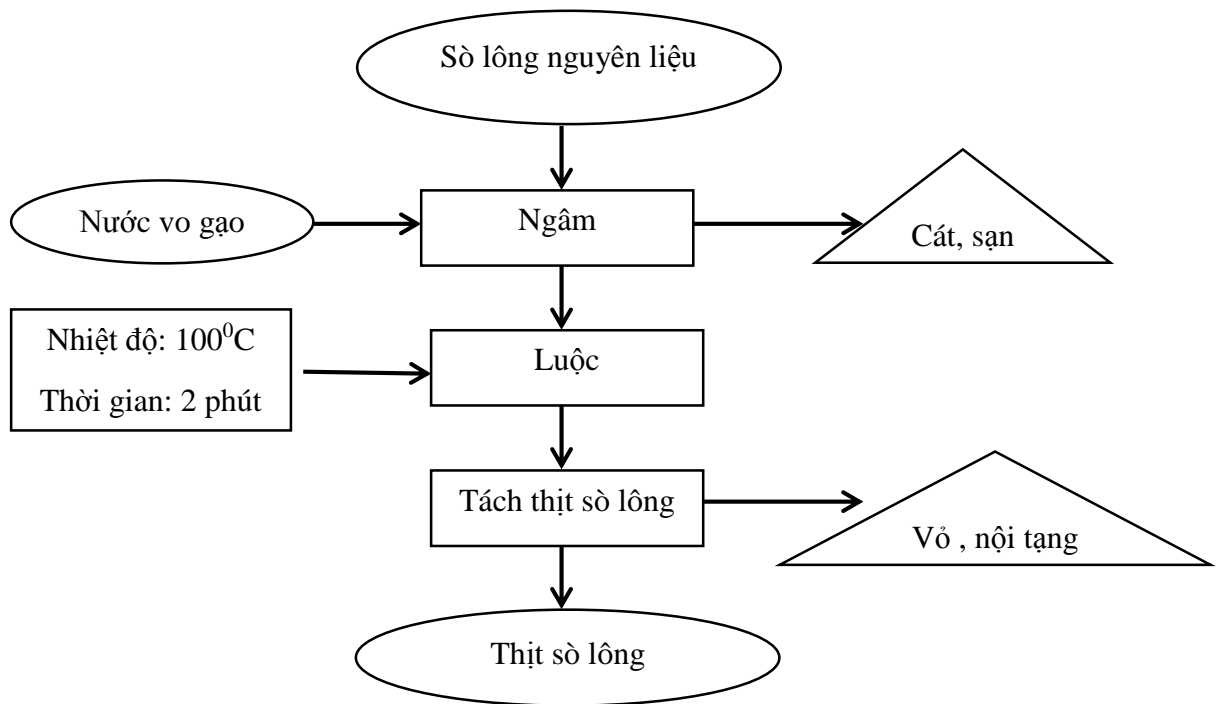
2.3.1. Phương pháp xử lý sò lông trước khi sấy

Sò lông được ngâm vào nước vo gạo cho nhả hết chất nhớt, dùng bàn chải cọ sạch lớp vỏ bên ngoài, sau đó rửa lại bằng nước sạch hai ba lần. Cho sò vào nồi, thêm ít nước, đậy vung kín lại, bắc lên bếp đun với lửa thật lớn. Đợi nồi nước luộc sôi khoảng 100°C trong vòng 2 phút là được, khi đó vỏ sò sẽ mở, đặc biệt là trong quá trình luộc sò không được dùng đũa khuấy vì như thế sẽ làm sò không mở vỏ.

Quá trình luộc đem lại những biến đổi hóa lý có lợi cho sự thoát ẩm trong nguyên liệu. Dưới tác dụng nhiệt tế bào trương nở, không khí thoát ra, chất nguyên sinh đông tụ tách ra khỏi màng tế bào, làm độ thấm hút của tế bào tăng lên. Do vậy khi sấy nước thoát ra dễ dàng hơn. Ngoài ra quá trình luộc còn có tác dụng tiêu diệt vi sinh vật, vô hoạt các enzym.

Sau khi luộc xong đem đi tách vỏ sò, thịt sò và nội tạng, sau đó đem cân khối lượng từng loại. Dùng cân nhôm hòa loại 2 kg để cân khối lượng vỏ sò, và dùng cân kỹ thuật 2 số lẻ để cân phần thịt sò và phần nội tạng. Mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần, lấy kết quả trung bình của 3 lần. Dùng thước đo chiều dài, chiều rộng và bề dày của sò, khoảng 20 con để xác định kích thước trung bình của sò nguyên liệu.

❖ Bố trí thí nghiệm xử lý sò lông:



Hình 2.7 : Quy trình xử lý tách thịt sò lông

2.3.2. Phương pháp xác định tỉ lệ nước đóng băng

Để xác định tỷ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu chúng tôi sử dụng máy cấp đông có nhiệt độ âm (-50 ÷ -45) °C. Dùng đồng hồ xác định thời gian làm lạnh đông, dùng ba bộ cảm biến và hiển thị nhiệt độ để xác định: nhiệt độ môi trường làm lạnh đông (T_0), nhiệt độ bề mặt (T_f) và nhiệt độ tâm (T_c) của vật liệu làm lạnh đông, lúc đó nhiệt độ trung bình của vật liệu ẩm ở dạng tấm phẳng được xác định theo công thức:

$$T = 0,5.(T_f + T_c) [^{\circ}C]$$

2.3.3. Phương pháp xác định chi phí năng lượng

Chi phí năng lượng cho 1 kg mẫu được tính theo công thức sau, đơn vị đo của y_3 là kWh/kg sản phẩm.

$$Y_3 = \frac{U.I.t.COS\varphi}{G}$$

Trong đó: G (kg) – khối lượng cuối cùng của sản phẩm;

U (V) – chỉ số của vôn kế;

I (A) – chỉ số của ampe kế;

τ (s) – thời gian sấy; $\cos\varphi$ – hệ số công suất.

Thực tế để xác định tổng chi phí năng lượng cho quá trình sấy thăng hoa, dùng thiết bị Watt kế (Model: P3697W – 12/ Japan, AC: U = 220/380V, maxP = 15kW, minP = 0,5 kW, Range: 10000 kWh/ Reset = 0, Error of Watt – meter: 0,01kW).

2.3.4. Phương pháp xác định protein (AOAC 920.39)

2.3.5. Phương pháp xác định độ ẩm (TCVN 4328-1 : 2007)

2.3.6. Phương pháp xác định lipid (TCVN 4327:2007)

2.3.7. Phương pháp xác định khả năng hút nước và giữ nước trở lại của sản phẩm sò lông sấy thăng hoa

Để xác định khả năng hút nước và giữ nước trương nở trở lại của sản phẩm say khi sấy thì thực hiện theo các bước:

- B1: Xác định lượng ẩm tách ra G_{tr} (g) trong quá trình sấy:

$$G_{tr} = G_{bd} - G_t \quad (2.1)$$

Với G_{bd} , G_t (g): khối lượng vật liệu ẩm trước và sau sau khi sấy thăng hoa

- B2: Xác định lượng nước hút và giữ lại trở lại sau khi sấy, bằng cách lấy sản phẩm sau khi sấy ngâm vào nước ở nhiệt độ 60°C, để cho sản phẩm bão hòa ẩm. Sau đó lấy sản phẩm ra để ráo, rồi cân xác định khối lượng G_1 (g), như vậy lượng nước hút và giữ trở lại G_{tl} (g):

$$G_{tr} = G_1 - G_t \quad (2.2)$$

- B3: Xác định khả năng hút nước trương nở trở của sản phẩm là IR như sau:

$$IR = \frac{G_1 - G_t}{G_{bd} - G_t} \quad (2.3)$$

Sản phẩm hút nước và giữ nước tốt nhất (lý tưởng) khi lượng ẩm hút trở lại bằng lượng ẩm tách ra trong quá trình sấy, có nghĩa $G_1 - G_t = G_{bd} - G_t$; $G_1 = G_{bd}$ và $IR = 1(100\%)$, còn sản phẩm không hút nước được trở lại khi $G_1 - G_t = 0$, có nghĩa $G_1 = G_t$; $IR = 0(0\%)$. Như vậy IR biến thiên trong đoạn [0,1].

- B4: Xác định khả năng không hút nước và giữ nước trương nở trở lại là y_4 như sau:

$$y_4 = (1-IR).100\% = \frac{Gbd - G1}{Gbd - Gt} .100\% \quad (2.4)$$

Như vậy, y_4 cũng biến thiên trong đoạn $[0,1]$ hay $[0,100\%]$.

Một sản phẩm có tính hoàn nguyên tốt thì khả năng hút nước và giữ nước trở lại trạng thái ban đầu lớn nhất $IR_{\max} = 1$.

2.3.8. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm và tối ưu (bố trí thí nghiệm)

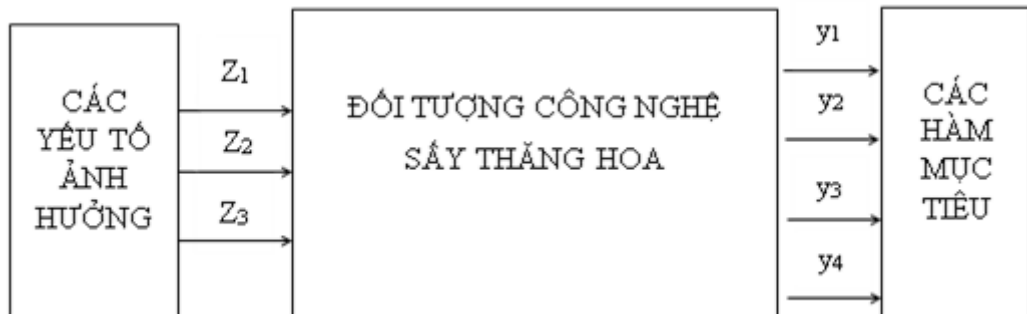
2.3.8.1. Thiết lập bài toán tối ưu các hàm mục tiêu thành phần

Chọn 3 thông số khảo sát gồm:

- Áp suất môi trường sấy (Z_1 , mmHg)
- Nhiệt độ môi trường sấy (Z_2 , °C)
- Thời gian sấy thăng hoa (Z_3 , giờ)

Các hàm mục tiêu được khảo sát là: Chi phí năng lượng (y_1); độ ẩm của sản phẩm (y_2); lượng tổn thất hàm lượng protein (y_3); khả năng không hoàn nguyên (y_4).

Sau khi khảo sát sơ bộ ban đầu đã xác định được mức cơ sở các yếu tố ảnh hưởng (nhiệt độ, áp suất và thời gian sấy) sẽ đi tiến hành bố trí thí nghiệm trực giao cấp 2 TYT 2^3 .



Hình 2.8: Sơ đồ mối quan hệ giữa các yếu tố ảnh hưởng với các hàm mục tiêu

- ❖ Xây dựng mô hình toán thực nghiệm:

$$Y_1 = f(x_1, x_2, x_3) \quad (2.5)$$

- ❖ Xác định số thí nghiệm:

$$N = 2^k + 2k + n_0 = 2^3 + 2.3 + 4 = 18 \text{ thí nghiệm}$$

Với 2^k : số thí nghiệm cơ sở (điểm thí nghiệm ở mức ± 1)

2^k : số thí nghiệm ở điểm (*) (điểm thí nghiệm ở cánh tay đòn)

$n_0 > 1$: số thí nghiệm ở tâm (0)

❖ Xác định cánh tay đòn:

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{N \cdot 2^{k-2}} - 2^{k-1}} = \sqrt{\sqrt{18 \cdot 2^{3-2}} - 2^{3-1}} = 1,414 \quad (2.6)$$

❖ Điều kiện để ma trận trực giao

$$\lambda = \frac{1}{N} (2^k + 2 \cdot \alpha^2) = \frac{1}{18} (2^3 + 2 \cdot 1.414^2) = 0,67.$$

Từ việc thiết lập và giải mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thẳng hoa để độ ẩm cuối cùng của sản phẩm đạt yêu cầu (2÷6)% (Nguyễn Tấn Dũng – Trịnh Văn Dũng – Trần Đức Ba, 2008 và 2009)

Các mức của các yếu tố ảnh hưởng: nhiệt độ quá trình sấy Z_1 [°C], áp suất BTH Z_2 [mmHg] và thời gian quá trình sấy Z_3 [h].

Phương trình hồi quy cho 3 mục tiêu có thể viết dưới dạng:

$$Y_m = b_{m0} + \sum_{i=1}^k b_{mi} x_i + \sum_{i,j=1, i \neq j}^k b_{mij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k b_{mjj} (x_j^2 - \lambda)$$

Với $m = 1 \div 3$

Từ bảng trên các hệ số trong phương trình hồi quy sẽ được xác định theo phương trình viết dưới dạng:

$$Y = XB$$

$$B = ((X^T X)^{-1}) \cdot (X^T \cdot Y)$$

❖ Phương sai tái hiện được xác định:

$$S_{th}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u^0 - y^0)^2}{f_2} = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u^0 - y^0)^2}{n_0 - 1} \quad (2.7)$$

$$\text{Với: } y_0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0}{n_0}$$

❖ Phương sai của hệ số b_j được xác định:

$$S_{bj} = \sqrt{\frac{S_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}}$$

$$S_{bjj} = \sqrt{\frac{S_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^{\prime 2}}}$$

$$S_{bjl} = \sqrt{\frac{S_{th}^2}{\sum_{i=1}^N ((x_j x_l)_{ji})^2}}$$

- ❖ Kiểm định tiêu chuẩn student:

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{b_j}} \quad (2.8)$$

Nếu $t_j < t_p(f_2)$ thì các hệ số b_j bị loại khỏi phương trình hồi quy, ngược lại thì nhận.

- ❖ Phương sai dư được xác định:

$$S_{\text{dư}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{f_1} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-l} \quad (2.9)$$

Với N: số thí nghiệm;

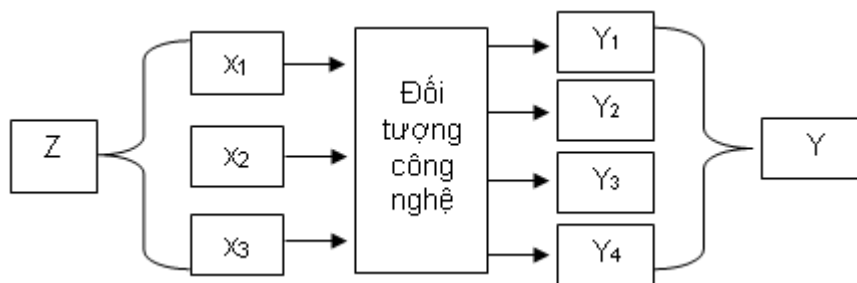
l: số hệ số b_j có ý nghĩa trong phương trình hồi quy

- ❖ Kiểm định tiêu chuẩn Fisher:

$$F = \frac{S_{\text{dư}}^2}{S_{\text{th}}^2} \quad (2.10)$$

Nếu $F < F_{1-p}(f_1, f_2)$ thì phương trình hồi quy tương thích với mô hình thực nghiệm, ngược lại thì không tương thích, phải chọn loại mô hình trực giao thực nghiệm khác thích hợp [20, 22, 23].

2.3.8.2. Thiết lập bài toán tối ưu đa mục tiêu



Hình 2.9: Sơ đồ tóm tắt bài toán đa mục tiêu

Để hoàn thiện một công nghệ cần khảo sát nhiều nhân tố và nhiều mục tiêu. Những mục tiêu này là yêu cầu chung của đối tượng công nghệ, do đó không thể giải riêng rẽ từng một mục tiêu mà phải giải đồng thời, vì vậy đã xuất hiện bài toán tối ưu đa mục tiêu.

Bài toán đa mục tiêu được phát biểu như sau: xét một đối tượng công nghệ có m mục tiêu $f_1(Z), f_2(Z), \dots, f_m(Z)$ tạo thành vec tơ hàm mục tiêu $f(Z) = \{f_1(Z), f_2(Z), \dots, f_m(Z)\}$, trong đó $j = 1 \div m$, mỗi thành phần $f_j(Z)$ phụ thuộc vào n biến tác động Z_1, Z_2, \dots, Z_n tạo thành vec tơ các yếu tố ảnh hưởng hay gọi là vecto biến Z. Với $Z = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ là các yếu tố ảnh hưởng đến đối tượng công nghệ.

Để BTTU đa mục tiêu đơn giản hơn thì ta chuyển tất cả các hàm mục tiêu về dạng bài toán cực tiểu.

Hãy tìm $Z = \{Z_i\} = (x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_n^{opt})$ để

$$\begin{cases} Y_j = f_j(Z_i) = f_{ji} = (x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_n^{opt}) = \text{Min } f_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ Z = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in Z; i = 1 \div n; j = 1 \div m \end{cases}$$

Nếu tồn tại vecto $Z^{UT} = \{Z_i^{UT}\} = (Z_1^{UT}, Z_2^{UT}, \dots, Z_n^{UT}) \in Z$ là nghiệm chung cho tất cả m bài toán tối ưu một mục tiêu, nghĩa là $Z_i^{UT} = Z_i^{opt}, \forall i = 1 \div n$, thì Z_i^{UT} được gọi là phương án không tương hoặc nghiệm không tương của BTTU một mục tiêu vẫn có các $f_j^{min}, j = 1 \div m$ tương ứng nên vẫn tồn tại $f^{UT} = (f_1^{min}, f_2^{min}, \dots, f_m^{min})$ và khi đó $f^{UT} = (f_1^{min}, f_2^{min}, \dots, f_m^{min})$ được gọi là hiệu quả không tương hay điểm không tương.

❖ Phương pháp điểm không tương:

Phương pháp này gọi là chuẩn tối ưu tổ hợp S, từ các hàm cho từng mục tiêu một đưa về tổ hợp S, khi mục tiêu không tương của BTTU đa mục tiêu không tồn tại.

Xét BTTU m mục tiêu, sau khi giải từng BTTU một mục tiêu sẽ xác định được các giá trị tối ưu $f_1^{min}, f_2^{min}, \dots, f_m^{min}$ và khi nghiệm không tương (nghiệm chung cho cả hệ) không tồn tại sẽ xác định được điểm không tương $f^{UT} = (f_1^{min}, f_2^{min}, \dots, f_m^{min})$. Một chuẩn tối ưu tổ hợp S được định nghĩa theo biểu thức sau:

$$S(x) = [\sum_j^m S_j^2(x)]^{1/2} = [\sum_j^m (y_j(x) - y_j^{min})^2]^{1/2}$$

Để dàng nhận thấy rằng S(Z) chính là khoảng cách từ điểm f(Z) đến điểm không tương f^{UT} . Chọn chuẩn tối ưu tổ hợp S(Z) làm hàm mục tiêu, bài toán tối ưu m mục tiêu được phát biểu lại như sau: Hãy tìm nghiệm $ZS = (Z_1S, Z_2S, \dots, Z_nS) \in \Omega Z$ sao cho hàm mục tiêu S(Z) đạt giá trị cực tiểu:

$$S_{min} = S(ZS) = \min S(Z) = \min [\sum_j^m (y_j(x) - y_j^{min})^2]^{1/2}$$

$$\text{Với } Z = \{Z_i\} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \in \Omega Z$$

Bài toán tối ưu đa mục tiêu đã được đề xuất cho bài toán công nghệ nhưng chưa chứng minh được rằng nghiệm ZS là một nghiệm Pareto tối ưu. Để chứng minh điều này cần áp dụng định lý 2.

Định lý 2: Nghiệm ZS của BTTU nếu tồn tại thì nghiệm ZS chính là nghiệm Pareto tối ưu của BTTU m mục tiêu.

Chứng minh: giả sử ZS không phải là nghiệm Pareto tối ưu. Khi đó sẽ tìm được một nghiệm ZS* trội hơn ZS. Theo định nghĩa, nghiệm ZS* nhất định phải có ít nhất một hiệu

qua $f_k(ZS^*)$, trong đó $1 \leq k \leq m$, sao cho $f_k(ZS^*) < f_k(ZS)$. Từ đó suy ra $S(ZS^*) < S(ZS)$. Điều này mâu thuẫn với giả thiết rằng ZS là nghiệm tối ưu. Vậy không thể tồn tại bất cứ nghiệm nào khác trội hơn ZS , do đó ZS phải là một nghiệm Pareto tối ưu.

CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ VÀ BIỆN LUẬN

3.1. Xác định thành phần khối lượng và thành phần dinh dưỡng của sò lông

3.1.1. Xác định thành phần khối lượng của sò lông

Thành phần khối lượng của sò lông là tỷ lệ phần trăm về khối lượng của các phần trong cơ thể của sò lông. Thành phần khối lượng của sò lông khác nhau theo tuổi, giới tính, mức độ trưởng thành và khu vực sinh sống.

Theo thực nghiệm, phân loại sò lông theo kích thước có 3 loại: Lớn, trung bình, nhỏ. Kích thước từng loại được thể hiện ở bảng 3.1 (xem thêm ở bảng phụ lục 1,2,3).

Bảng 3.1: Kích thước từng loại sò

STT	Loại sò lông	Số con/1kg	Chiều dài (cm)	Chiều ngang (cm)
1	Lớn	18-19	$6,3 \pm 0,04$	$4,9 \pm 0,17$
2	Trung bình	45-47	$4,7 \pm 0,12$	$3,7 \pm 0,06$
3	Nhỏ	61-63	$3,4 \pm 0,09$	$2,5 \pm 0,14$

Sau khi xử lý cho sò lông nhả hết cát, sạn thì tiến hành tách vỏ, thịt và nội tạng và xác định được phần trăm của từng phần của mỗi loại sò lông như sau (xem thêm ở bảng phụ lục 4, 5, 6)

Bảng 3.2: Tỷ lệ thành phần của các loại sò lông

STT	Thành phần	Tỷ lệ (%)		
		Lớn	Trung bình	Nhỏ
1	Vỏ sò	$62,7 \pm 0,32$	$71 \pm 0,18$	$77,3 \pm 0,01$
2	Thịt sò lông	$14,5 \pm 0,03$	$12,8 \pm 0,25$	$11,2 \pm 0,13$
3	Nội tạng	$4,5 \pm 0,24$	$3,9 \pm 0,04$	$3,5 \pm 0,06$
4	Nước tự do	$18,3 \pm 0,09$	$12,3 \pm 0,02$	$8 \pm 0,31$

Khi sấy thăng hoa ta chỉ sử dụng phần thịt sò lông để làm thực nghiệm nên dựa vào bảng 3.2 ta có thể thấy được sò lông loại lớn tối ưu hơn để tiết kiệm chi phí nguyên liệu. Vì vậy trong thực nghiệm này chúng tôi sử dụng sò lông loại lớn để làm nghiên cứu.

Từ bảng cho ta thấy phần vỏ và nội tạng chiếm tỉ lệ rất cao trong thành phần của sò lông. Vỏ sò lông có thành phần chủ yếu là calcium carbonate. Lấy vỏ sò lông rửa sạch, đập vỡ vụn cho vào nồi trát kín, nung cho đến khi đỏ hồng. Lấy ra, để nguội, tán nhỏ thành bột mịn, hoặc nhúng vào dung dịch giấm với tỷ lệ 1kg rồi mới tán, rây bột. Dược liệu này có vị ngọt, mặn, tính hơi lạnh, giúp tiêu tích, hóa đàm, chữa vết máu tụ, tím bầm, đại tiện ra máu, kiết lỵ. Ngoài ra vỏ sò còn được dùng để trang trí, làm các đồ thủ công mỹ nghệ rất tinh xảo và đẹp mắt. Còn phần nội tạng sẽ được tái sử dụng làm thức ăn gia súc, gia cầm phục vụ cho chăn nuôi.

3.1.2. Xác định thành phần dinh dưỡng của thịt sò lông

Khi đem phân tích thành phần hóa học của sò lông được bảng sau.

Bảng 3.3: Thành phần dinh dưỡng của thịt sò lông

STT	Thành phần	Hàm lượng (%)	Phương pháp
1	Protein	8,45 ± 0,05	AOAC 920.39
2	Lipid	0,38 ± 0,11	TCVN 4327 : 2007
4	Nước	80,6 ± 0,05	TCVN 4328-1 : 2007

Bảng 3.3 cho thấy trong thịt sò lông hàm lượng nước chiếm 80,6%, protein chiếm 8,5%, lipid chiếm 0,4%. Kết quả phân tích trên bảng 3.3 so với một số kết quả đã nghiên cứu ở chương 1 hoàn toàn phù hợp, nằm trong giới hạn tìm hiểu được.

3.2. Xác định tỉ lệ nước đóng băng bên trong sò lông theo nhiệt độ lạnh đông

Xác định các đại lượng vật lý: từ kết quả thực nghiệm sẽ tính toán được các thông số nhiệt – vật lý của sò lông, trình bày trong bảng 3.

Bảng 3.4: Các đại lượng nhiệt – vật lý của sò lông

T_{kt} [$^{\circ}$ C]	R [m]	α [W/(m ² .K)]	λ [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	Bi	A [Wm/(kgK)]	B [kJ/(kgK)]	C [kJ/kg]	D [kJ/(kg)]
-1,32	6.10 ⁻³	8,1	0,523	784,4	0,075	0,089	3,508	256,3	-1,603

Bảng 3.5 : Các thông số T_e và τ xác định bằng thực nghiệm của sò lông.

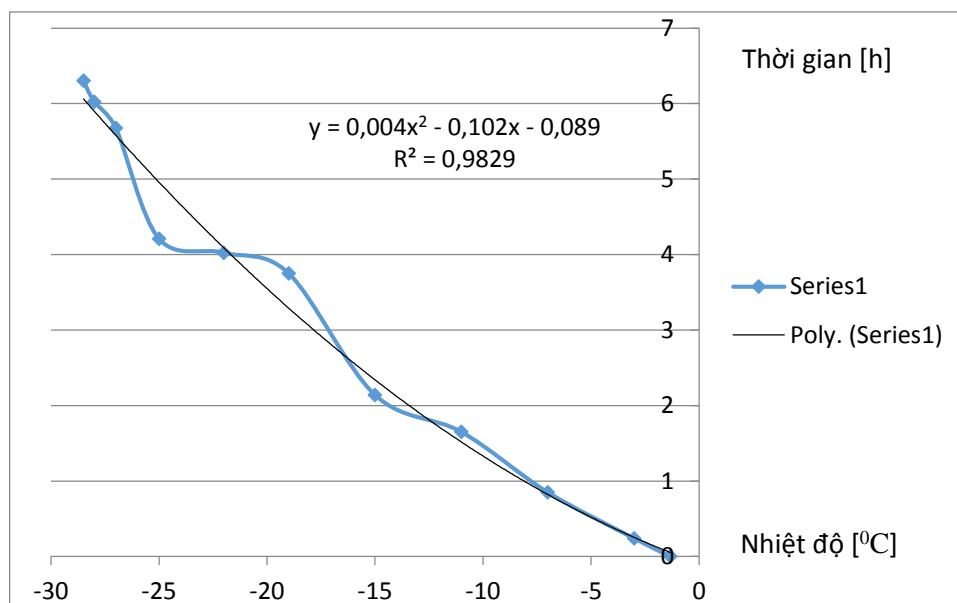
T_e , [h]	τ , [h]	ϖ	$\varpi \cdot 100$
-1,32	0	0	0
-3	0,24	0,057	5,68349
-7	0,85	0,176	17,6212
-11	1,65	0,2785	27,85
-15	2,14	0,3894	38,943
-19	3,75	0,70132	70,132
-22	4,0237	0,7864	78,64
-25	4,2079	0,84032	84,032
-27	5,6743	0,9023	90,23
-28	6,0235	0,99014	99,014
-28,5	6,30345	0,99875	99,875

Từ số liệu thực nghiệm ở bảng 3 chúng tôi xây dựng hàm thực nghiệm $\tau = f(T)$ trên phần mềm Excel, xem hình. Rõ ràng quan hệ thời gian τ và nhiệt độ vật liệu T_e trong quá trình làm lạnh đông thay đổi theo quy luật hàm đa thức parabol, các hệ số: a_1 , b_1 , c_1 được xác định như sau:

- Hàm thực nghiệm $\tau = f(T) = 0,004T^2 - 0,102T - 0,089$
- Hệ số $a_1 = 0,004$
- Hệ số $b_1 = -0,102$
- Hệ số $c_1 = -0,089$
- $R^2 = 0,9829$

Sau đó thay vào công thức bên dưới để tính toán xác định tỷ lệ nước đóng băng ω [%] theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu T_e [$^{\circ}\text{C}$].

$$\omega = \frac{-B}{D} + \frac{B.C}{D^2.(T_{kt}-T_e)} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| + \frac{A.(T_{kt}-T_0)}{R.(1+Bi)(T_{kt}-T_e)} \cdot \left[-\frac{a_1}{2D} (T_{kt}^2 - T_e^2) - \left[\frac{b_1}{D} + \frac{a_1}{D^2} (C + DT_{kt}) \right] (T_{kt} - T_e) + \left[c_1 + (C + DT_{kt}) \cdot \left[\frac{b_1}{D} + (C + DT_{kt}) \frac{a_1}{D^2} \right] \right] \cdot \frac{1}{D} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| \right]$$



Hình 3.1: Hàm $\tau = f(T)$ sò lông

3.3. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sấy thăng hoa sò lông

- Nhiệt độ lạnh đông:

Việc xác định chế độ (nhiệt độ, thời gian) lạnh đông thực phẩm để bảo quản hay sấy thăng hoa rất khó vì nó phải thỏa mãn các điều kiện công nghệ sau: quá trình lạnh đông thực hiện càng nhanh càng tốt để giảm chi phí năng lượng và đảm bảo chất lượng sản phẩm sau rã đông; nước phải được đóng băng đến tỉ lệ nhất định thì mới đảm bảo cho mục đích bảo quản hay sấy thăng hoa. Nhiệt độ đóng băng tối ưu cho nguyên liệu sò lông là $-18,5^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ môi trường lạnh đông -32°C trong thời gian là 6 - 6,5 giờ, lúc đó nước trong nguyên liệu sẽ đạt tỉ lệ đóng băng hoàn toàn.

- Nhiệt độ môi trường sấy
 - Ảnh hưởng của nhiệt độ đến cấu trúc của sản phẩm

Trong quá trình sấy, các chất hòa tan di chuyển theo nước từ bên trong ra ngoài bề mặt của sản phẩm. Quá trình bay hơi làm cô đặc các chất tan ở bề mặt làm cho vỏ cứng không thấm nước được. Hiện tượng như vậy gọi là hiện tượng cứng vỏ, làm cho sản phẩm có bề mặt ngoài bị khô nhưng bên trong vẫn còn ẩm. Vì vậy cần kiểm soát nhiệt độ sấy để tránh chênh lệch ẩm quá cao giữa bên trong và bề mặt sản phẩm. Đối với phương pháp sấy thăng hoa, do nhiệt độ sấy tương đối thấp nên hoàn toàn có thể giải quyết được vấn đề này. Nếu nhiệt độ lớn hơn 39°C thì quá trình cấp nhiệt kéo dài, lượng hơi nước thoát ra nhiều và

nhanh làm cho nguyên liệu phồng lên, tạo các lỗ khí bên trong. Điều này làm cho sản phẩm có cấu trúc rỗng xốp, có thể tích lớn và hao hụt một lượng lớn các chất dinh dưỡng.

- Ảnh hưởng của nhiệt độ đến màu sắc và mùi vị của sản phẩm:

Nhiệt độ làm thất thoát các thành phần dễ bay hơi ra khỏi sản phẩm vì vậy phần lớn các sản phẩm sấy bị giảm mùi vị. Mức độ thất thoát phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm của vật liệu sấy, mức hòa tan của các chất bay hơi trong nước. Vì vậy nên sấy sò lông ở nhiệt độ thấp để giữ được các mùi vị và màu sắc đặc trưng của sò lông.

- Áp suất môi trường sấy

Áp suất buồng sấy dao động trong khoảng 0,008 – 0,592 mmHg. Áp suất buồng sấy phải lớn hơn 0,008mmHg, vì đây là áp suất nhỏ nhất để bơm chân không hoạt động ổn định. Để khảo sát sự ảnh hưởng của áp suất ta khảo sát trong khoảng từ 0,008 – 0,592 để mở rộng quá trình khảo sát và cho kết quả chính xác hơn.

- Thời gian sấy

Thời gian sấy có ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí năng lượng, độ ẩm và giá trị dinh dưỡng của sản phẩm. Thời gian sấy càng dài thì chi phí năng lượng càng lớn. Ngoài ra, việc kéo dài thời gian sấy cũng đồng thời làm cho tổn thất các thành phần dinh dưỡng cao do bị cuốn bởi hơi nước.

3.4. Tối ưu hóa

3.4.1. Thiết lập bài toán tối ưu

Phương pháp quy hoạch thực nghiệm như sau: xây dựng ma trận thực nghiệm trực giao cấp 2 với 3 yếu tố là nhiệt độ quá trình sấy Z_1 [$^{\circ}\text{C}$], áp suất buồng thăng hoa Z_2 [mmHg] và thời gian quá trình sấy Z_3 [h] nên ta sẽ có $k = 3$, số thí nghiệm ở mức cơ sở (hay ở tâm) là $n_0 = 4$.

Như vậy số thí nghiệm phải tiến hành là:

$$N = 2^k + 2k + n_0 = 2^3 + 2.3 + 4 = 18 \quad (3.1)$$

Tiếp theo ta tiến hành mã hóa Z_1, Z_2, Z_3 theo công thức sau:

$$x_j = \frac{Z_j - Z_j^0}{\Delta Z_j}, j = 1 \div 3 \quad (3.2)$$

Trong đó:

Z_j : giá trị đo được của Z trong các lần thí nghiệm khác nhau.

Z_j^0 : giá trị đo được của Z_j tạo mức cơ sở (hay ở tâm).

$$Z_j^0 = \frac{Z_{jmax} + Z_{jmin}}{2}$$

(3.3)

ΔZ_j : là khoảng biến thiên của Z_j .

$$\Delta Z_j = \frac{Z_{jmax} - Z_{jmin}}{2}$$

(3.4)

Như vậy, ta sẽ được các biến mã hóa là x_1, x_2, x_3 .

Dựa vào công thức sau để tính giá trị cánh tay đòn α :

$$\text{Với } k < 5: \alpha = \sqrt{\sqrt{N} \cdot 2^{k-2} - 2^{k-1}} = \sqrt{2} = 1,414 \quad (3.5)$$

Điều kiện để ma trận trực giao:

$$\lambda = \frac{1}{N} (2^k + 2 \cdot \alpha^2) = \frac{2}{3} = 0,667 \quad (3.6)$$

Cuối cùng ta xác định giá trị biến mới x' để trực giao biểu thức:

$$x_j' = x_j^2 - \frac{2}{3} = x_j^2 - 0,667 \quad (3.7)$$

Sau khi tiến hành thí nghiệm và mã hóa, tính toán ta sẽ thu được 2 bảng sau:

Bảng 3.6: Các mức yếu tố ảnh hưởng

Yếu tố	Các mức					Khoảng biến thiên ΔZ_i
	$-\alpha$ (-1,414)	Mức dưới, (-1)	Mức cơ sở, (0)	Mức trên, (+1)	$+\alpha$ (+1,414)	
Z_1 [$^{\circ}\text{C}$]	20,102	23	30	37	39,898	7
Z_2 [mmHg]	0,008	0,093	0,3	0,507	0,592	0,2065
Z_3 [h]	17,172	18	20	22	22,828	2

Bảng 3.7: Ma trận quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp hai với $k = 3$, $n_0 = 4$, $N = 18$

N		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_3^2 - 0,667$
TYT 2^k	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,333	0,333	0,333
	2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,333	0,333	0,333
	3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	0,333	0,333	0,333
	4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	0,333	0,333	0,333
	5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	0,333	0,333	0,333
	6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	0,333	0,333	0,333
	7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	0,333	0,333	0,333
	8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	0,333	0,333	0,333
2k	9	+1	+1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667
	10	+1	-1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667
	11	+1	0	+1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667
	12	+1	0	-1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667
	13	+1	0	0	+1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333
	14	+1	0	0	-1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333
n_0	15	+1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667
	16	+1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667
	17	+1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667
	18	+1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667

3.4.2. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu

3.4.2.1. Giải bài toán tối ưu là chi phí năng lượng

Sau khi thực hiện 18 thí nghiệm và đo được các giá trị chi phí năng lượng y_1 ta được bảng 3.8 dưới đây

Bảng 3.8: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là chi phí năng lượng (y_1)

N		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_3^2 - 0,667$	y_1
TYT 2^k	1	1	1	1	1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	10,05
	2	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	10,44
	3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	11,21
	4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	10,54
	5	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	8,32
	6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	8,22
	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	8,24
	8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	8,10
2k	9	1	1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	10,16
	10	1	-1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	8,52
	11	1	0	1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	8,83
	12	1	0	-1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	9,22
	13	1	0	0	1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333	12,34
	14	1	0	0	-1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333	8,18
n_0	15	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	9,66
	16	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	9,44
	17	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	9,78
	18	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	9,20

Từ bảng ma trận thực nghiệm với hàm chi phí năng lượng ta sẽ tiến hành tìm phương trình hồi quy thực nghiệm và giá trị nhỏ nhất của phương trình hồi quy tương ứng với các giá trị x_1, x_2, x_3 .

Phương trình quy hoạch thực nghiệm có dạng:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}(x_1^2 - 2/3) + b_{22}(x_2^2 - 2/3) + b_{33}(x_3^2 - 2/3)$$

Phương trình này tương đương $Y = XB$

$$\text{Với } B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{33} \end{bmatrix}_{10 \times 1} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{18} \end{bmatrix}_{18 \times 1} \quad (3.8)$$

$$\text{Từ (3.8) suy ra: } X^T X B = X^T Y \Rightarrow B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3.9)$$

Với X^T là ma trận chuyển vị của ma trận X

Bảng 3.9: Các giá trị $X^T Y$

$\sum_{i=1}^N x_{0i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{1i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{2i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{3i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1x_2y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1x_3y_i$	$\sum_{i=1}^N x_2x_3y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{1i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{2i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{3i}y_i$
170,44 9	2,82	-1,62	15,25	-1,10	0,06	-1,46	-1,22	-2,48	2,47

Với i : là số thứ tự thí nghiệm; $i = 1 \div N$ ($N=18$)

Bảng 3.10: Các giá trị $X^T X$

$\sum_{i=1}^N x_{0i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{1i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{2i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{3i}^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1x_2)i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1x_3)i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_2x_3)i^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{1i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{2i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{3i})^2$
18	12	12	12	8	8	8	8	8	8

Nhờ trực giao của ma trận quy hoạch, các hệ số hồi quy được xác định độc lập với nhau và tính theo công thức:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}; \quad b_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_j x_l)_i y_i}{\sum_{i=1}^N (x_j x_l)_i^2}; \quad b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N x'_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N (x'_{ji})^2} \quad (3.10)$$

Bảng 3.11: Các giá trị của hệ số b

b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₁	b ₂₂	b ₃₃
9,469	0,235	-0,135	1,271	-0,137	0,007	-0,183	-0,153	-0,311	0,311
Nhận	Nhận	Loại	Nhận	Loại	Loại	Loại	Loại	Nhận	Nhận

y_0 là các giá trị thí nghiệm ở tâm phương án và $\bar{y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0}{n_0} = 9,52$ ($n_0 = 4$)

Phương sai tái hiện: $s_{th}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0 - \bar{y}^2}{n_0 - 1} = 0,065$ (3.11)

Và phương sai s_{bj}^2 của các hệ số b_j được tính:

$$s_{bj} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{b_{jj}} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x'_{ji}^2}} \quad s_{b_{jl}} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N [(x_j x_l)_i]^2}} \quad (3.12)$$

Bảng 3.12: Các giá trị của phương sai

S ² _{b0}	S ² _{b1}	S ² _{b2}	S ² _{b3}	S ² _{b12}	S ² _{b13}	S ² _{b23}	S ² _{b11}	S ² _{b22}	S ² _{b33}
0,0036	0,0055	0,0055	0,0055	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081

Kiểm định ý nghĩa của các hệ số hồi quy: được thể hiện theo tiêu chuẩn Student

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{bj}}$$

Trong đó: b_j : hệ số thứ j trong phương trình hồi quy

s_{bj} : phương sai của hệ số thứ j

Bảng 3.13: Các giá trị của t_i

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
157,716	3,201	1,831	17,282	1,525	0,082	2,032	1,695	3,448	3,443

Ta tính t_{tra} bảng với mức ý nghĩa $p = 0,05$, $f = f_2 = n_0 - 1 = 3$ thì t_{tra} bảng = 3,182

Ta thấy chỉ có $t_0, t_1, t_3, t_{22}, t_{33} > t_{tra}$ bảng nên chỉ có các hệ số b_0, b_1, b_{22}, b_{33} là có ý nghĩa.

Phương trình hồi quy có dạng:

$$y_1 = 9,496 + 0,235x_1 + 1,271x_3 - 0,311x_2^2 + 0,311x_3^2$$

Áp dụng phần mềm xử lý số liệu của EXCEL ta tính được giá trị nhỏ nhất của y_1 – chi phí năng lượng (với điều kiện $-1,414 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1,414$) là 7,34 (KWh/kg) với $x_1 = -1,414, x_2 = 1,414, x_3 = -1,414$.

3.4.2.2. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu là độ ẩm

Sau khi thực hiện 18 thí nghiệm và đo được các giá trị độ ẩm sản phẩm y_2 ta được bảng 3.14 dưới đây.

Bảng 3.14: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là độ ẩm sản phẩm (y_2)

N		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_3^2 - 0,667$	y_2
TYT 2^k	1	1	1	1	1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	4,01
	2	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	4,53
	3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	3,69
	4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	4,23
	5	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	5,05
	6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	4,98
	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	5,59
	8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	5,83
2k	9	1	1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	3,98
	10	1	-1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	4,87
	11	1	0	1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	4,98
	12	1	0	-1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	4,01
	13	1	0	0	1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333	3,75
	14	1	0	0	-1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333	5,07
n_0	15	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	4,17
	16	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	4,35
	17	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	4,09
	18	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	4,08

Từ bảng ma trận thực nghiệm với hàm độ ẩm sản phẩm ta sẽ tiến hành tìm phương trình hồi quy thực nghiệm và giá trị nhỏ nhất của phương trình hồi quy tương ứng với các giá trị x_1, x_2, x_3 .

Phương trình quy hoạch thực nghiệm có dạng:

$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}(x_1^2 - 2/3) + b_{22}(x_2^2 - 2/3) + b_{33}(x_3^2 - 2/3)$$

Phương trình này tương đương $Y = XB$

$$\text{Với } B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{33} \end{bmatrix}_{10 \times 1} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{18} \end{bmatrix}_{18 \times 1} \quad (3.13)$$

$$\text{Từ (3.13) suy ra: } X^T X B = X^T Y \Rightarrow B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3.14)$$

Với X^T là ma trận chuyển vị của ma trận X

Bảng 3.15: Các giá trị $X^T Y$

$\sum_{i=1}^N x_{0i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{1i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{2i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{3i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1 x_3 y_i$	$\sum_{i=1}^N x_2 x_3 y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{1i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{2i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{3i} y_i$
81,26	-2,488	0,602	-6,856	0,33	-0,89	2,01	1,410	1,690	1,350

Với i : là số thứ tự thí nghiệm; $i = 1 \div N$ ($N=18$)

Bảng 3.16: Các giá trị $X^T X$

$\sum_{i=1}^N x_{0i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{1i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{2i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{3i}^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1 x_3)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_2 x_3)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{1i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{2i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{3i})^2$
18	12	12	12	8	8	8	8	8	8

Nhờ trực giao của ma trận quy hoạch, các hệ số hồi quy được xác định độc lập với nhau và tính theo công thức:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}; \quad b_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_j x_l)_i y_i}{\sum_{i=1}^N (x_j x_l)_i^2}; \quad b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N x'_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N (x'_{ji})^2} \quad (3.15)$$

Bảng 3.17: Các giá trị của hệ số b

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
4,514	-0,207	0,050	-0,571	0,041	-0,111	0,251	0,177	0,212	0,170
Nhận	Nhận	Loại	Nhận	Loại	Loại	Nhận	Nhận	Nhận	Nhận

y_0 là các giá trị thí nghiệm ở tâm phương án và $\bar{y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0}{n_0} = 4,1725$ ($n_0 = 4$)

$$\text{Phương sai tái hiện: } s_{\text{th}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0 - \bar{y}^2}{n_0 - 1} = 0,016 \quad (3.16)$$

Và phương sai $s_{b_j}^2$ của các hệ số b_j được tính:

$$s_{b_j} = \sqrt{\frac{s_{\text{th}}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{b_{jj}} = \sqrt{\frac{s_{\text{th}}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{b_{jl}} = \sqrt{\frac{s_{\text{th}}^2}{\sum_{i=1}^N [(x_{j,x_1})_i]^2}} \quad (3.17)$$

Bảng 3.18: Các giá trị của phương sai

$S_{b_0}^2$	$S_{b_1}^2$	$S_{b_2}^2$	$S_{b_3}^2$	$S_{b_{12}}^2$	$S_{b_{13}}^2$	$S_{b_{23}}^2$	$S_{b_{11}}^2$	$S_{b_{22}}^2$	$S_{b_{33}}^2$
0,0084	0,0013	0,0013	0,0013	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019

Kiểm định ý nghĩa của các hệ số hồi quy: được thể hiện theo tiêu chuẩn Student

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}}$$

Trong đó: b_j : hệ số thứ j trong phương trình hồi quy

s_{b_j} : phương sai của hệ số thứ j

Bảng 3.19: Các giá trị của t_i

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
153,225	5,747	1,389	15,834	0,933	2,517	5,685	3,997	4,791	3,827

Ta tính $t_{\text{tra bảng}}$ với mức ý nghĩa $p = 0,05$, $f = f_2 = n_0 - 1 = 3$ thì $t_{\text{tra bảng}} = 3,182$

Ta thấy chỉ có $t_0, t_1, t_3, t_{23}, t_{11}, t_{22}, t_{33} > t_{\text{tra}}$ bảng nên chỉ có các hệ số $b_0, b_1, b_3, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ là có ý nghĩa.

Phương trình hồi quy có dạng:

$$y_2 = 2,138 - 0,207x_1 - 0,571x_3 + 0,251x_2x_3 + 0,177x_1^2 + 0,212x_2^2 + 0,170x_3^2$$

Áp dụng phần mềm xử lý số liệu của EXCEL ta tính được giá trị nhỏ nhất của y_2 – độ ẩm sản phẩm (với điều kiện $-1,414 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1,414$) là 3,465 (%) với $x_1 = 0,585, x_2 = -0,837, x_3 = 1,414$.

3.4.2.3. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu là lượng protein tồn thất

Sau khi thực hiện 18 thí nghiệm và đo được các giá trị protein sản phẩm y_3 ta được bảng 3.20 dưới đây:

Bảng 3.20: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là lượng protein tồn thất (y_3)

N		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_3^2 - 0,667$	y_3
TYT 2^k	1	1	1	1	1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	3,13
	2	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	3,02
	3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	2,71
	4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	2,62
	5	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	2,56
	6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	2,87
	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	3,23
	8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	2,34
2k	9	1	1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	3,04
	10	1	-1,414	0	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	2,13
	11	1	0	1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	2,43
	12	1	0	-1,414	0	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	2,28
	13	1	0	0	1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333	2,47
	14	1	0	0	-1,414	0	0	0	-0,667	-0,667	1,333	2,34
n ₀	15	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	2,17
	16	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	2,35
	17	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	2,41
	18	1	0	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	2,12

Từ bảng ma trận thực nghiệm với lượng tổn thất protein sản phẩm ta sẽ tiến hành tìm phương trình hồi quy thực nghiệm và giá trị nhỏ nhất của phương trình hồi quy tương ứng với các giá trị x_1, x_2, x_3 .

Phương trình quy hoạch thực nghiệm có dạng:

$$y_3 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}(x_1^2 - 2/3) + b_{22}(x_2^2 - 2/3) + b_{33}(x_3^2 - 2/3)$$

Phương trình này tương đương $Y = XB$

$$\text{Với } B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{33} \end{bmatrix}_{10 \times 1} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{18} \end{bmatrix}_{18 \times 1} \quad (3.18)$$

$$\text{Từ (3.18) suy ra: } X^T X B = X^T Y \Rightarrow B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3.19)$$

Với X^T là ma trận chuyển vị của ma trận X

Bảng 3.21: Các giá trị $X^T Y$

$\sum_{i=1}^N x_{0i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{1i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{2i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{3i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1 x_3 y_i$	$\sum_{i=1}^N x_2 x_3 y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{1i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{2i} y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{3i} y_i$
46,220	2,07	0,89	0,66	-1,18	-0,38	0,96	1,99	1,07	1,27

Với i : là số thứ tự thí nghiệm; $i = 1 \div N$ ($N=18$)

Bảng 3.22: Các giá trị $X^T X$

$\sum_{i=1}^N x_{0i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{1i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{2i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{3i}^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1 x_3)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_2 x_3)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{1i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{2i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{3i})^2$
18	12	12	12	8	8	8	8	8	8

Nhờ trực giao của ma trận quy hoạch, các hệ số hồi quy được xác định độc lập với nhau và tính theo công thức:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}; \quad b_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_j x_l)_i y_i}{\sum_{i=1}^N (x_j x_l)_i^2}; \quad b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N x'_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N (x'_{ji})^2} \quad (3.20)$$

Bảng 3.23: Các giá trị của hệ số b

b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₁	b ₂₂	b ₃₃
2,568	0,172	0,074	0,055	-0,148	-0,048	0,120	0,250	0,135	0,160
Nhận	Nhận	Loại	Loại	Loại	Loại	Loại	Nhận	Loại	Nhận

y_0 là các giá trị thí nghiệm ở tâm phương án và $\bar{y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0}{n_0} = 2,26$ ($n_0 = 4$) (3.21)

Phương sai tái hiện: $s_{th}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0 - \bar{y}^2}{n_0 - 1} = 0,019$ (3.22)

Và phương sai s_{bj}^2 của các hệ số b_j được tính:

$$s_{bj} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{bjj} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{bjl} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N [(x_{ji} x_{li})_i]^2}} \quad (3.23)$$

Bảng 3.24: Các giá trị của phương sai

S ² _{b0}	S ² _{b1}	S ² _{b2}	S ² _{b3}	S ² _{b12}	S ² _{b13}	S ² _{b23}	S ² _{b11}	S ² _{b22}	S ² _{b33}
0,0011	0,0016	0,0016	0,0016	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024

Kiểm định ý nghĩa của các hệ số hồi quy: được thể hiện theo tiêu chuẩn Student

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{bj}} \quad (3.24)$$

Trong đó: b_j : hệ số thứ j trong phương trình hồi quy
 s_{bj} : phương sai của hệ số thứ j

Bảng 3.25: Các giá trị của t_i

t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₁₂	t ₁₃	t ₂₃	t ₁₁	t ₂₂	t ₃₃
78,165	4,281	1,848	1,375	2,993	0,964	2,435	5,064	2,724	3,233

Ta tính t_{tra} bảng với mức ý nghĩa $p = 0,05$, $f = f_2 = n_0 - 1 = 3$ thì t_{tra} bảng = 3,182

Ta thấy chỉ có $t_0, t_1, t_{11}, t_{33} > t_{tra}$ bảng nên chỉ có các hệ số b_0, b_1, b_{11}, b_{33} là có ý nghĩa.

Phương trình hồi quy có dạng:

$$y_3 = 1,235 + 0,172x_1 + 0,25x_1^2 + 0,16x_3^2$$

Áp dụng phần mềm xử lý số liệu của EXCEL ta tính được giá trị nhỏ nhất của y_3 – lượng protein tổn thất (với điều kiện $-1,414 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1,414$) là 2,27 (%) với $x_1 = -0,344$, $x_2 = 1,414$, $x_3 = 0$.

3.4.2.4. Giải bài toán tối ưu một mục tiêu là khả năng không hoàn nguyên

Sau khi thực hiện 18 thí nghiệm và đo được các giá trị khả năng không hoàn nguyên sản phẩm y_4 ta được bảng 3.26 dưới đây.

Bảng 3.26: Ma trận thực nghiệm với hàm mục tiêu là khả năng không hoàn nguyên (y_4)

N	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_3^2 - 0,667$	y_4	
TYT 2^k	1	1	1	1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	10,05	
	2	1	-1	1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	9,34	
	3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	11,1
	4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	6,45
	5	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,333	0,333	0,333	9,06
	6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,333	0,333	0,333	5,78
	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,333	0,333	0,333	8,15
	8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	5,98
2k	9	1	1,414	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	11,08	
	10	1	-1,414	0	0	0	0	1,333	-0,667	-0,667	6,04	
	11	1	0	1,414	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	7,12	
	12	1	0	-1,414	0	0	0	-0,667	1,333	-0,667	7,89	
	13	1	0	0	1,414	0	0	-0,667	-0,667	1,333	10,81	
	14	1	0	0	-1,414	0	0	-0,667	-0,667	1,333	6,12	
n_0	15	1	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	6,45	
	16	1	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	6,14	
	17	1	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	6,78	
	18	1	0	0	0	0	0	-0,667	-0,667	-0,667	6,89	

Từ bảng ma trận thực nghiệm với hàm khả năng không hoàn nguyên của sản phẩm ta sẽ tiến hành tìm phương trình hồi quy thực nghiệm và giá trị nhỏ nhất của phương trình hồi quy tương ứng với các giá trị x_1, x_2, x_3 .

Phương trình quy hoạch thực nghiệm có dạng:

$$y_4 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}(x_1^2 - 2/3) + b_{22}(x_2^2 - 2/3) + b_{33}(x_3^2 - 2/3)$$

Phương trình này tương đương $Y = XB$

$$\text{Với } B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{33} \end{bmatrix}_{10 \times 1} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{18} \end{bmatrix}_{18 \times 1} \quad (3.25)$$

$$\text{Từ (3.25) suy ra: } X^T X B = X^T Y \Rightarrow B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3.26)$$

Với X^T là ma trận chuyển vị của ma trận X

Bảng 3.27: Các giá trị $X^T Y$

$\sum_{i=1}^N x_{0i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{1i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{2i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_{3i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1x_2y_i$	$\sum_{i=1}^N x_1x_3y_i$	$\sum_{i=1}^N x_2x_3y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{1i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{2i}y_i$	$\sum_{i=1}^N x'_{3i}y_i$
141,23	17,936	1,461	14,602	-2,83	-0,09	1,13	5,950	1,730	5,570

Với i : là số thứ tự thí nghiệm; $i = 1 \div N$ ($N=18$)

Bảng 3.28: Các giá trị $X^T X$

$\sum_{i=1}^N x_{0i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{1i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{2i}^2$	$\sum_{i=1}^N x_{3i}^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1x_2)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_1x_3)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x_2x_3)_i^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{1i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{2i})^2$	$\sum_{i=1}^N (x'_{3i})^2$
18	12	12	12	8	8	8	8	8	8

Nhờ trực giao của ma trận quy hoạch, các hệ số hồi quy được xác định độc lập với nhau và tính theo công thức:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji}y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}; \quad b_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_jx_l)_i y_i}{\sum_{i=1}^N (x_jx_l)_i^2}; \quad b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N x'_{ji}y_i}{\sum_{i=1}^N (x'_{ji})^2}$$

Bảng 3.29: Các giá trị của hệ số b

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
7,846	1,495	0,122	1,217	-0,354	-0,011	0,141	0,747	0,217	0,700
Nhận	Nhận	Loại	Nhận	Loại	Loại	Loại	Nhận	Loại	Nhận

y_0 là các giá trị thí nghiệm ở tâm phương án và $\bar{y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0}{n_0} = 6,565$ ($n_0 = 4$) (3.27)

Phương sai tái hiện: $s_{th}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0 - \bar{y}^2}{n_0 - 1} = 0,115$ (3.28)

Và phương sai s_{bj}^2 của các hệ số b_j được tính:

$$s_{bj} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{bjj} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}} \quad s_{bjl} = \sqrt{\frac{s_{th}^2}{\sum_{i=1}^N [(x_{j,x_1})_i]^2}}$$

Bảng 3.30: Các giá trị của phương sai

S_{b0}^2	S_{b1}^2	S_{b2}^2	S_{b3}^2	S_{b12}^2	S_{b13}^2	S_{b23}^2	S_{b11}^2	S_{b22}^2	S_{b33}^2
0,0064	0,0096	0,0096	0,0096	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014

Kiểm định ý nghĩa của các hệ số hồi quy: được thể hiện theo tiêu chuẩn Student

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{bj}} \quad (3.29)$$

Trong đó: b_j : hệ số thứ j trong phương trình hồi quy

s_{bj} : phương sai của hệ số thứ j

Bảng 3.31: Các giá trị của t_i

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
98,062	15,253	1,243	12,417	2,947	0,094	1,177	6,212	1,806	5,815

Ta tính t_{tra} bảng với mức ý nghĩa $p = 0,05$, $f = f_2 = n_0 - 1 = 3$ thì t_{tra} bảng = 3,182

Ta thấy chỉ có $t_0, t_1, t_3, t_{11}, t_{33} > t_{tra}$ bảng nên chỉ có các hệ số $b_0, b_1, b_3, b_{11}, b_{33}$ là có ý nghĩa.

Phương trình hồi quy có dạng:

$$y_4 = 6,513 + 1,495x_1 + 1,217x_3 + 0,747x_1^2 + 0,7x_3^2$$

Áp dụng phần mềm xử lý số liệu của EXCEL ta tính được giá trị nhỏ nhất của y_4 – khả năng không hoàn nguyên (với điều kiện $-1,414 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1,414$) là 5,604 (%) với $x_1 = -1,001, x_2 = 0, x_3 = -0,869$.

3.4.3. Giải bài toán tối ưu đa mục tiêu

Như vậy, sử dụng phần mềm EXCEL đã tìm được giá trị nhỏ nhất của các hàm mục tiêu là độ ẩm, sản phẩm, khả năng hoàn nguyên và lượng protein tồn thất, xem bảng

Bảng 3.32: Giá trị x_1, x_2, x_3 và giá trị nhỏ nhất của hàm hồi quy y_i

x_1	x_2	x_3	Giá trị nhỏ nhất y_i
-1,414	1,414	-1,414	$y_1 = 7,340$
0,585	-0,837	1,414	$y_2 = 3,465$
-0,344	1,414	0	$y_3 = 2,270$
-1,001	0	-0,869	$y_4 = 5,604$

Sau khi đã tìm được hàm hồi quy thực nghiệm và giá trị nhỏ nhất của nó, xem bảng có thể thấy rằng không tồn tại nghiệm chung để thỏa mãn các mục tiêu đặt ra nhưng điểm không tương $y^{UT} = (y_{1min}, y_{2min}, y_{3min})$ vẫn tồn tại.

Theo phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tổ hợp S, ta có:

$$S_{min} = S(ZS) = \min S(Z) = \min \left[\sum_{j=1}^m (f_j(Z) - f_{jmin})^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \text{ với } j = 1 \div m$$

Sử dụng phần mềm Excel – Solver để tính toán ta tìm được các giá trị x_1, x_2, x_3 để S_{min}

x_1	x_2	x_3	S_{min}
-0,391	-1,414	-0,827	1,453

Trong đó S_{min} là khoảng cách ngắn nhất mong muốn đạt được.

Các giá trị x_1, x_2, x_3 tối ưu là nghiệm của bài toán đa mục tiêu cần tìm.

Từ các giá trị x_1, x_2, x_3 ta thực hiện phép toán chuyển biến mã hóa thành các biến thực z_1, z_2, z_3 bằng cách chuyển trục tọa độ. Việc tính toán này được thực hiện nhờ áp dụng công thức:

$$X_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}; j = 1 \div k$$

Ta tính được:

$$Z_1 = -0,391.7 + 30 = 27,263 [^{\circ}\text{C}]$$

$$Z_2 = -1,414.0,2065 + 0.3 = 0,008 [\text{mmHg}]$$

$$Z_3 = -0,827.2 + 20 = 18,346 [\text{h}]$$

Thế các giá trị x_1, x_2, x_3 vào các phương trình hồi quy y_1, y_2, y_3, y_4 ta tính được các giá trị mục tiêu của phương trình:

$$y_1 = 7,944 [\text{KWh}]/1\text{kg sản phẩm}$$

$$y_2 = 3,552 \%$$

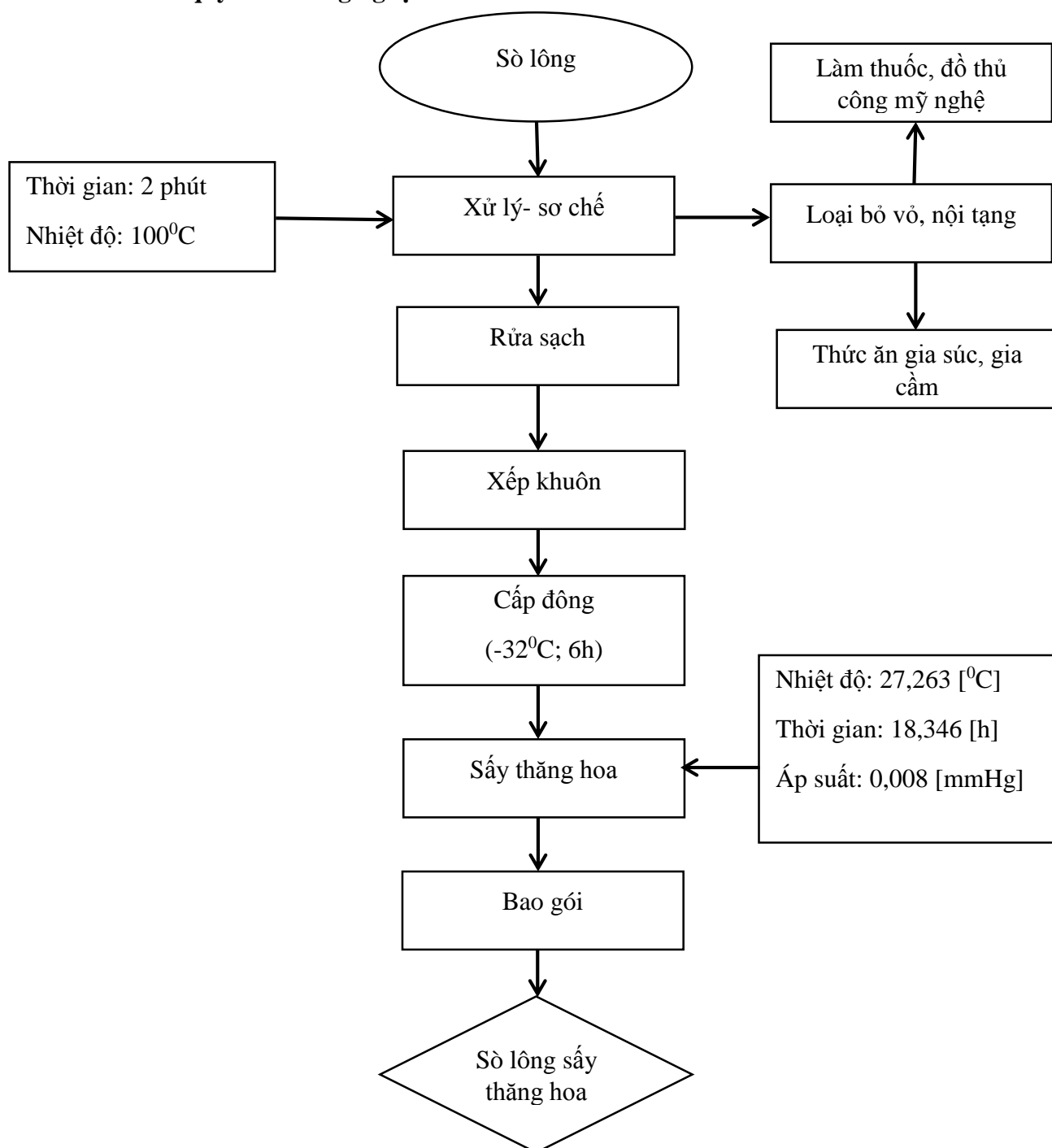
$$y_3 = 1,315 \%$$

$$y_4 = 5,515 \%$$

Vậy sản phẩm sò lông sấy thăng hoa được tối ưu hóa hàm đa mục tiêu ta tính được nhiệt độ sấy thăng hoa $27,263 [^{\circ}\text{C}]$, áp suất $0,008 [\text{mmHg}]$ và thời gian sấy là $18,346 [\text{h}]$. Tại điểm tối ưu chi phí năng lượng là $7,944 [\text{KWh}]/1\text{kg sản phẩm}$, độ ẩm là $3,552\%$, lượng tổn thất protein là $1,315\%$, khả năng không hoàn nguyên tối ưu là $5,515 \%$ tương đương khả năng hoàn nguyên tối ưu của sò lông là $94,485\%$. Với các thông số công nghệ như trên thì quá trình sấy tối ưu nhất nhưng vẫn giữ được các tính chất tốt của nguyên liệu như màu sắc, protein...

3.5. Quy trình công nghệ sấy thăng hoa sò lông

3.5.1. Sơ đồ quy trình công nghệ:



Hình 3.2: Sơ đồ quy trình công nghệ sấy thăng hoa sò lông

3.5.2. Giải thích quy trình

- Nguyên liệu: chọn sò còn sống, trạng thái vỏ khép kín, vỏ tự đóng khi chạm vào, không có mùi lạ, cỡ sò từ 18- 22 con/kg.
- Làm sạch sò lông: sau khi lựa chọn nguyên liệu cần phải qua công đoạn xử lý làm sạch. Sò lông được rửa bằng nước sạch để loại bỏ bùn cát và nhằm loại bỏ vi sinh vật gây bệnh bám trên bề mặt vỏ.
- Luộc: Sau khi đã xử lý xong thì sò lông được chuyển đến công đoạn luộc, được luộc theo từng mẻ. Nhiệt độ nước luộc duy trì 100⁰C từ 2- 3 phút. Sò sau khi luộc được đưa đi làm nguội.
- Xử lý: Tách bỏ phần vỏ sò, nội tạng và chỉ lấy phần thịt sò lông
- Xếp khay: xếp sò lông vào từng khay theo vị trí đánh dấu từng khay mẫu. Hạn chế xếp dày trong một khay vì khi sấy sẽ không khô đồng đều.



Hình 3.3: Hình ảnh sò lông được xếp vào khay trước khi sấy

- Cấp đông: Các khay được mang đi cấp đông ở nhiệt độ -32⁰C. Mục đích của quá trình cấp đông là chuyển nước trong nguyên liệu sang thể rắn, tạo thuận lợi cho quá trình sấy thăng hoa. Bên cạnh đó việc cấp đông cũng nhằm bảo quản sò lông nếu như chưa sử dụng cho quá trình sấy.
- Sấy thăng hoa: Những khay sò sau khi cấp đông được đưa vào thiết bị máy sấy DS-3 để các tinh thể đá trực tiếp chuyển sang trạng thái hơi và hơi này được bơm chân không

hút qua hệ thống làm lạnh để ngưng tụ. Nhiệt độ quá trình sấy là 27,263 [°C], áp suất 0,008 [mmHg], thời gian sấy 18,346 [h].



Hình 3.4: Hình ảnh sò lông sau khi sấy

- Đóng gói: Sản phẩm sò lông sấy được lấy ra khỏi khay, sau đó được cho vào bao bì túi zipper và hút chân không. Mục đích của việc hút chân không là làm chậm các biến đổi hóa học của sản phẩm trong quá trình bảo quản. Sau khi bao gói sản phẩm được bảo quản ở nhiệt độ thường, nơi khô ráo thoáng mát.

3.6. Tính chất và chất lượng sản phẩm

Sản phẩm sò lông sấy thăng hoa có thể hoàn nguyên trở lại gần giống như sò lông trước khi sấy, với khả năng hoàn nguyên là gần 95%. Sau khi hoàn nguyên có thể sử dụng để chế biến thành các món ăn như cháo sò lông, sò lông xào sa tế,...mà vẫn thơm ngon và bổ dưỡng như thịt sò lông tươi sống.

❖ Đánh giá chất lượng cảm quan sản phẩm

Bảng 3.35: Chất lượng cảm quan của sản phẩm

STT	Chỉ tiêu	Mẫu sò lông sấy
1	Màu sắc	Màu vàng giống nguyên liệu ban đầu nhưng có màu vàng sẫm, nhìn chung giữ được màu sắc của sò lông trước khi sấy
2	Mùi	Mùi thơm đặc trưng của sò lông, không có mùi lạ.
3	Vị	Vị ngọt tự nhiên, đặc trưng.
4	Trạng thái	Giòn, xốp và có tiếng lạo xạo khi ăn.



Hình 3.5 : sản phẩm sò lông sấy thăng hoa

Sau khi xây dựng quy trình công nghệ, chúng tôi đã tiến hành sấy mẫu trên các điều kiện đã tối ưu và đã thu được sản phẩm đạt độ ẩm 3,5% theo yêu cầu ban đầu. Chế độ sấy này giúp tiết kiệm được chi phí năng lượng và làm giảm tổn thất các thành phần dinh dưỡng xuống đến mức thấp nhất đồng thời khả năng hoàn nguyên trở lại của sản phẩm nghêu sấy thăng hoa cũng cao và tốt hơn hẳn so với các mẫu sấy thường. Với độ ẩm 3,5% sản phẩm có thể được bảo quản trong thời gian dài ở nhiệt độ thường mà không cần đông lạnh nếu được bao gói cẩn thận. Ngoài ra giúp tạo thuận lợi cho quá trình vận chuyển trong thời gian dài, giảm chi phí vận chuyển.

CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở trên, chúng tôi rút ra một số kết luận như sau:

1. Đã xác định được thành phần tỉ lệ khối lượng của sò lông là 62,7% vỏ, nước tự do chiếm 18,3%; phần nước này không được giữ lại trong thịt sò lông mà bị tiết ra ngoài khi gia nhiệt, thịt sò lông chiếm 14,5%; nội tạng chiếm 4,5%. Thành phần dinh dưỡng của thịt sò lông tươi có 80,49% nước; 8,5% protein và 0,35% lipid.

2. Tối ưu hóa thực nghiệm cho thấy mối quan hệ giữa toán học và công nghệ trong quá trình sấy thăng hoa. Với các điều kiện tối ưu $T_{bth} = 27,263\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 18,346$ giờ; $P = 0,008$ mmHg thì sản phẩm sấy của chúng tôi đạt những yêu cầu mong muốn, khi đó độ ẩm sản phẩm là 3,552 %; tổn thất protein là 1,315 % và chi phí năng lượng là 7,944 [KWh]/1kg sản phẩm. Do đó, sản phẩm của chúng tôi có thể được bảo quản trong thời gian dài.

3. Đã xây dựng được quy trình công nghệ sản xuất thịt sò lông sấy thăng hoa và tiến hành sản xuất thử. Kết quả đã tạo ra sản phẩm sò lông sấy có màu vàng, mùi thơm đặc trưng của thịt sò lông được lược lên. Sản phẩm này có thể được bảo quản ở nhiệt độ thường trong thời gian dài từ 2 -3 năm nếu được bao gói cẩn thận, đúng quy cách.

4. Khả năng hoàn nguyên tăng ở nhiệt độ 60°C , thời gian 90 phút thì giá trị hoàn nguyên trở lại (HR) lớn nhất khoảng 95%. Sản phẩm sau khi hoàn nguyên sử dụng chế biến thành các món ăn hấp dẫn, thơm ngon và bổ dưỡng như cháo sò lông, sò lông xào sa tế,...

Vậy sau khi tiến hành làm thực nghiệm chúng tôi đã tính toán tìm ra quy trình và các thông số công nghệ để sản xuất sản phẩm sò lông sấy thăng hoa nên sản phẩm này có thể sản xuất ở quy mô công nghiệp.

4.2. Kiến nghị

Do thời gian cứu cũng như điều kiện nghiên cứu còn nhiều hạn chế nên bài luận chỉ giải quyết được một số vấn đề, và vẫn còn tồn tại những vấn đề khác chưa được giải quyết như sau:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày, hình dạng nguyên liệu đến hiệu quả của quá trình sấy thăng hoa và chất lượng của sản phẩm.
- Phát triển thêm một số sản phẩm liên quan đến sản phẩm sò lông sấy thăng hoa.
- Cần nghiên cứu, khảo sát sự biến đổi màu sắc cũng như mùi vị của thịt sò lông sau bảo quản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Minh Trí, (2003). *Xác xuất thống kê và qui hoạch thực nghiệm*, Nhà xuất bản Khoa Học - Kỹ thuật Hà Nội, 247 trang.
2. Chu Chi Thiet and Martin S Kumar, (2008). *Clam (Meretrix lyrata) Hatchery Manual, Aquaculture Research Sub-Institute for North Centre (ARSINC) South Australian Research and Development Institute (SARDI)*, 34 page, page 2-7.
3. Dillon, R; Patel T.R and Marti A.M., (1992). *Microbiological control for fish smoking operations*.
4. Dzung Nguyen Tan et al., (2012). *Building The Mathematical Model To determine The technological Mode For The Freezing Prorocess Of Basa Fillet In ĐBSCL Of VietNam By Experimental Method*, Journal of Engineering Technology and Sustainable Development (GTSD2012).
5. Dzung Nguyen Tan, (2014). *Building the Method and the Mathematical Model to Determine the Rate of Freezing Water inside Royal Jelly in the Freezing Process*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology.
6. Dzung Nguyen Tan - Dzung Nguyen Quoc - Dzung Trinh Van - Hai Le Xuan, (2011). *Application of Multi-Objective Optimization by S and R* Optimal Combination Criteria to Determine the Freeze Dry Mode of Penaeus monodon*. Chemical Engineering & Process Technology. Page 2-9.
7. Đỗ Văn Nhượng,(1998). *Tiềm năng, hiện trạng khai thác và phương hướng quản lý nguồn lợi động vật đáy ở vùng rừng ngập mặn Quảng Ninh, Hà Tĩnh, Cần Giờ - Thành phố Hồ Chí Minh*. Hội thảo quốc gia: Các yếu tố kinh tế, xã hội tác động đến việc sử dụng và bảo tồn tài nguyên đa dạng sinh học ven biển.
8. Đỗ Văn Nhượng, (2000). *Các kết quả bước đầu về nhóm động vật đáy trong hệ sinh thái rừng ngập mặn khu vực Quảng Ninh, Hà Tĩnh và Cần Giờ* . Thông báo khoa học ĐHSP-DHQG, Hà Nội số 7.
9. Hoàng Văn Chúc (1999). *Kỹ Thuật Sấy*. Nhà xuất bản Khoa Học – Kỹ Thuật.
10. Luc Nguyen Tien - Du Le Hoang - Dzung Nguyen Tan et al., (2013). *Optimization of Then Smoking Process of Pangasius Fish Fillet to Increase The Product Quality*, Adv. Journal of Food Science and Technology. United Kingdom, page 206-212.
11. Ludger O.Figura, Arthur a, Teixeira, (2007). *Physical properties – Measurement and Applications (in Freeze - Drying)*, Journal of Food Engineering, Germany.

12. Michael M. Helm and Neil Bourne (FAO Consultant), (2004). *Hatchery culture of bivalves, a practical manual*, FAO fisheries technical paper 471.
13. Nguyễn Cảnh (2004). *Quy hoạch thực nghiệm*. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP.HCM, 117 trang.
14. Nguyen Huu Phung, (1996). *Biology Characterizes and Rearing Technical Meretrix lyrata (Sowerby)*. Science and Technology Information No. 7 and 8, p 13 -21 and 14-18.
15. Nguyễn Minh Tuyên, (1981). *Mô hình hóa và tối ưu hóa trong Công nghệ hóa học*. Nhà xuất bản Đại học Bách khoa Hà Nội, 268 trang.
16. Nguyễn Tác An và Nguyễn Văn Lục, (1994). *Nghiên cứu nguồn lợi hải đặc sản và các điều kiện tự nhiên phục vụ huy hoạch sử dụng hợp lý các thủy vực ven bờ tỉnh Trà Vinh*. Báo cáo Viện thủy dương học.
17. Nguyễn Tấn Dũng, (2005). *Nghiên cứu sấy thăng hoa*. Đề tài Thạc sĩ. Trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM.
18. Nguyễn Tấn Dũng, (2007). *Nghiên cứu tính toán thiết kế, chế tạo hệ thống sấy thăng hoa công nghiệp DS-3 phục vụ cho sản xuất các loại thực phẩm cao cấp*. Tạp chí Giáo dục khoa học Kỹ thuật, số 3 (1), trang 7-12.
19. Nguyễn Tấn Dũng, (2008). *Nghiên cứu phương pháp xác định tỷ lệ nước đóng băng bên trong thực phẩm theo nhiệt độ lạnh đông*. Science & Technology Development, Voll 11, No.09.
20. Nguyễn Tấn Dũng – Trịnh Văn Dũng – Trần Đức Ba, (2008). *Xây dựng và giải mô hình toán truyền nhiệt lạnh đông ở giai đoạn 1 trong sấy thăng hoa*, Tạp chí phát triển khoa học và công nghệ Đại Học Quốc Gia TP.HCM, tập 11, số 8.
21. Nguyễn Tấn Dũng – Trịnh Văn Dũng – Trần Đức Ba, (2009). *Nghiên cứu thiết lập mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thăng hoa*, Tạp chí phát triển Khoa học và công nghệ Đại Học Quốc Gia TP.HCM, tập 11, số 9.
22. Nguyễn Tấn Dũng cùng cộng sự, (2010). *Tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S ứng dụng xác lập chế độ công nghệ sấy thăng hoa cho thủy sản nhóm giáp xác đại diện là tôm sú*. Tạp chí phát triển Khoa Học Và Công Nghệ, tập 13, số K3 – 2010, trang 59 – 69.
23. Nguyễn Tấn Dũng, (2011). *Nghiên cứu ứng dụng sấy thăng hoa trong bảo quản sản phẩm thủy sản nhóm Giáp xác (Tôm sú, tôm bạc, tôm thẻ) được nuôi thương phẩm ở*

- Đồng Bằng sông Cửu Long*. Báo cáo tổng kết khoa học và Công nghệ cấp cơ sở, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, 73 trang.
24. Nguyen Tan Dzung, (2016). *Study of determining the technological mode in the freeze drying process of royal jelly in Viet Nam*, Carpathian Journal of Food Science and Technology 2016, 8(2): trang 38-46.
 25. Nguyen Tan Dzung et, (2015). *Study Technological Factors Effect on the Loss of Protein, Carbohydrate and Lipid inside Royal Jelly in the Freeze Drying Process*. Current Research Journal of Biological Sciences, 7(2): 22-30.
 26. Nguyen Tan Dzung., (2014). *Building the Method and the Mathematical Model to Determine the Rate of Freezing Water inside Royal Jelly in the Freezing Process*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 7(2): trang 403-412.
 27. Nguyen Tan Dzung, (2012), *Optimization The Freeze Drying Process of Penaeus Monodon to Determine The Technological Mode*, International Journal of Chemical Engineering and Application, 3, No.3, June 2012, p.187
 28. Nguyen Tan Dzung et al, (2011). *Application of Multi-Objective Optimization to Determine the Freeze Drying Mode of Penaeus Monodon*, Journal of Chemical Engineering and Process Technology, USA, 2:107. DOI 10.4172/2157-7048.1000107.
 29. Nguyễn Tấn Dũng & Cộng sự, (2010). *Xây dựng mô hình toán truyền nhiệt lạnh đông, xác định tỉ lệ nước đóng băng và nhiệt độ lạnh đông tối ưu của VLA dạng hình trụ hữu hạn, ở giai đoạn 1 trong sấy thăng hoa*, Tạp chí phát triển khoa học và công nghệ Đại Học Quốc Gia Tp.HCM, Vol.13, No.K5, 83-98.
 30. Nguyễn Tấn Dũng & Cộng sự, (2010). *Tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S ứng dụng xác lập chế độ công nghệ sấy thăng hoa cho thủy sản nhóm giáp xác: đại diện là tôm sú*, Tạp chí phát triển khoa học và công nghệ ĐHQG Tp.HCM, Vol. 13, No.K3.
 31. Nguyễn Tấn Dũng & Cộng sự, (2010). *Tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp R ứng dụng xác lập chế độ công nghệ sấy thăng hoa tôm bạc*, Tạp chí phát triển khoa học và công nghệ Đại Học Quốc Gia Tp.HCM, Vol.13, No.K2.
 32. Nguyễn Tấn Dũng & Cộng sự, (2010). *Xây dựng và giải mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thăng hoa bằng phương pháp phần tử hữu hạn*, Tạp chí Khoa học Công nghệ, Vol.48, No.6A, 23-35.

33. Nguyễn Tấn Dũng & Cộng sự, (2009). *Building a mathematical model to determine the relationship between heat emission coefficient and pressure of the freeze drying environment of solid materials*, Proceedings of the 11th Conference on Science and Technology, VNU-HCMC, 21–23/10/2009.
34. Nguyễn Tấn Dũng & Cộng sự, (2009). *Nghiên cứu thiết lập mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thăng hoa*, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ Đại Học Quốc Gia Tp.HCM, 08/2009, Vol.12.
35. Nguyen Tan Dzung, (2017). *Study dynamics of the freeze drying process of royal Jelly in Viet Nam*, Carpathian Journal of Food Science and Technology 2017, 9(3), 35-46
36. Nguyễn Tấn Dũng, (2008). *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống sấy thăng hoa năng suất nhỏ có giai đoạn cấp đông ngay trong buồng thăng hoa*, Tạp chí Giáo Dục Khoa Học Kỹ Thuật, số 10(4), trang 14-25.
37. Nguyễn Tấn Dũng, *Quá trình và Thiết bị trong công nghệ hóa học và thực phẩm, Kỹ thuật và Công nghệ sấy thăng hoa*, Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Tp.HCM, 2016.
38. Nguyễn Tấn Dung, (2005). *Nghiên cứu công nghệ sấy thăng hoa sữa ong chúa*, Viên công nghệ thực phẩm, Hà Nội, 138 trang.
39. Nguyễn Thị Mỹ Hương, Đặng Thị Thu Hương. *Nghiên Cứu Thủy Phân Sò Lông (Anadara Antiquata) Bằng Sự Kết Hợp Enzyme Protamex Và Flavourzyme*. Tạp chí khoa học- công nghệ thủy sản.
40. Nguyễn Tiến Lực, (2016). *Công nghệ chế biến thịt và thủy sản*. Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia TP.HCM, 427 trang
41. Nguyễn Tiến Lực, (2003). *Thành phần hóa học và giá trị thực phẩm*. Tạp chí thủy sản số 4, trang 14-16.
42. Nguyễn Văn May, (2007). *Giáo trình Kỹ thuật Sấy nông sản thực phẩm*, Nhà xuất bản Khoa học – Kỹ thuật.
43. Trần Đức Ba, Nguyễn Tấn Dũng, Trần Ngọc Hào, (2013). *Nghiên cứu công nghệ sấy thăng hoa*. Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần 9, trang 1-6.
44. Trần Đức Ba (2000). *Lạnh đông rau quả xuất khẩu*. NXB Nông nghiệp, 334 trang
45. Trương Quốc Phú, (2006). *Hình thái và giải phẫu động vật thân mềm (mollusca)*. NXB nông nghiệp.
46. Truong Quoc Phu, (1996). *Clam farming in the Mekong Delta, Vietnam*. The ICLARM Quarterly October. Vol. 19. No. 4, page 60 – 62.

47. Trần Văn Phú, (2002). *Tính toán và thiết kế hệ thống sấy*, NXB Giáo dục.
48. Trần Tuấn, Nguyễn Hữu Chí, (2003). *Kỹ thuật sấy thăng hoa*, NXB ĐHQG TP.HCM, 158 trang.
49. https://vi.wikipedia.org/wiki/S%C3%B2_1%C3%B4ng
50. <http://saythanghoa.asia/thiet-bi-say-thang-hoa>
51. www.vca.org.vn

PHỤ LỤC

Bảng phụ lục 1: Kích thước sò lông loại lớn

STT	Chiều dài (cm)			Chiều rộng (cm)		
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 1	Lần 2	Lần 3
1						
2	6,5	6,7	6	5	4,3	4,4
3	6,5	6,4	6,1	4,8	4,6	4,6
4	6,2	6,2	6,4	5,5	5,5	5
5	6,7	6,7	5,9	5,5	5,5	5
6	6,3	6,1	6,8	4,3	5,2	5,4
7	6,7	5,9	6,5	4,8	5,3	5,3
8	6	6,3	6,7	4,7	5,6	5,7
9	6,8	6	6,3	4,6	5,2	5,4
10	6	6,5	6	5,6	5,3	5,1
11	6,1	6,7	6,7	5,3	4,9	4,5
12	6,5	6,2	6	5	4,6	5,4
13	6,4	6,1	7,3	4,7	5	5
14	6,3	6,4	6,2	4,9	4,8	5,3
15	6,7	6,5	6,6	5,3	4,5	5,3
16	6,3	6,7	6,1	5,6	4,3	5
17	6	6,8	6,4	5,3	5	5,2
18	6,1	5,8	6	5	5,3	5,1
19	6,5	6,7	6,7	5,2	5,5	5,6
20	6,6	6,1	6	5,1	5,1	5,2
21	6,7	6,4	6,5	4,6	5,3	5,4
22	6,2	6,1	6,5	4,8	4,6	4,9
23	6,5	6,4	6,3	5,5	4,3	4,6
24	6	6,5	6,2	5,2	4,6	4,8
25	6,3	6,3	6	5,4	4,1	5,4
26	6,3	6,7	6,6	5,3	5,3	5
27	6,5	6	6,4	5	5,4	5

28	6,1	6,2	6,2	4,5	5,5	4,6
29	6,2	6,3	6,5	5,5	5,4	4,8
30	6	6,5	6	5,2	5	5

Bảng phụ lục 2: Kích thước sò lông loại trung bình

STT	Chiều dài (cm)			Chiều rộng (cm)		
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 1	Lần 2	Lần 3
1	4,6	4,6	4,8	3,8	3,6	3,6
2	4,4	4,3	4,3	3,5	3,7	3,7
3	4,8	5	4,6	3,6	3,7	3,7
4	4,3	4,2	4,5	3,9	3,8	3,8
5	4,6	4,9	5	3,4	3,9	3,9
6	4,5	4,6	4,2	3,7	3,8	3,7
7	5	5	5,3	3,6	3,5	3,8
8	4,2	4,8	5	3,7	3,6	3,6
9	5,3	4,5	4,6	3,8	3,9	3,6
10	5	4,3	4,3	3,6	3,4	3,8
11	5,2	5	4,6	3,6	3,7	3,5
12	4,3	5,3	4,1	3,7	3,6	3,6
13	4,9	5,5	5,1	3,7	3,7	3,9
14	4,6	5,1	5	3,8	3,6	3,4
15	5	4,3	4,2	3,9	3,7	3,7
16	4,8	4,5	4,9	3,6	3,8	3,6
17	4,5	4,6	4,6	3,5	3,6	3,5
18	4,3	4,3	5	3,5	3,6	3,5
19	5	4,6	4,8	3,6	3,4	3,4
20	5,3	4,1	4,5	3,8	3,7	3,6
21	4,5	4,5	4,3	3,7	3,6	3,2
22	5,1	4,2	5	3,7	3,5	3,6
23	5,3	4,9	4,8	3,6	3,5	3,7
24	4,6	4,6	4,5	3,3	3,7	3,7
25	4,3	5	4,3	3,7	3,6	3,8
26	4,6	4,8	5	3,6	3,7	3,9
27	4,1	4,5	5,3	3,8	3,8	3,4
28	5,1	4,3	5,5	3,5	3,6	3,7
29	5	4,4	5,1	3,5	3,6	3,6
30						

Bảng phụ lục 3: Kích thước sò lông loại nhỏ

STT	Chiều dài (cm)			Chiều rộng (cm)		
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 1	Lần 2	Lần 3
1	3,4	3,2	3,8	2,2	2,4	2,3
2	3,1	3,3	3,5	2,5	2,3	2,5
3	3,2	3,6	3,6	2,6	2,5	2,6
4	3,6	3,4	3,2	2,4	2,5	2,4
5	3,3	3,4	3,4	2,7	2,6	2,7
6	3,2	3,1	3,7	2,6	2,4	2,6
7	3,4	3,6	3,6	2,7	2,7	2,7
8	3,5	3,1	3,7	2,4	2,6	2,4
9	3,4	3,1	3,6	2,5	2,7	2,5
10	3,7	3,5	3,2	2,6	2,4	2,6
11	3,8	3,6	3,6	2,3	2,5	2,3
12	3,5	3,2	3,7	2,4	2,6	2,4
13	3,6	3,4	3,7	2,2	2,3	2,2
14	3,6	3,7	3,4	2,6	2,4	2,6
15	3,4	3,6	3,2	2,2	2,2	2,2
16	3,7	3,3	3,4	2,4	2,6	2,4
17	3,6	3,7	3,1	2,5	2,2	2,5
18	3,7	3,3	3,1	2,6	2,4	2,6
19	3,4	3,3	3,5	2,3	2,5	2,4
20	3,5	3,4	3,6	2,4	2,6	2,7
21	3,6	3,4	3,4	2,2	2,5	2,6
22	3,3	3,4	3,4	2,6	2,6	2,7
23	3,4	3,4	3,7	2,2	2,4	2,4
24	3,2	3,5	3,2	2,4	2,7	2,5
25	3,6	3,6	3,2	2,5	2,6	2,6
26	3,2	3,4	3,4	2,6	2,2	2,3
27	3,4	3,4	3,5	2,2	2,4	2,4
28	3,5	3,4	3,6	2,4	2,5	2,2
29	3,6	3,6	3,4	2,5	2,6	2,6
30						

Bảng phụ lục 4: Thành phần khối lượng trong 1 kg của sò lông loại lớn

Khối lượng (g) Số lần thí nghiệm	Vỏ sò	Thịt sò lông	Nội tạng
Lần 1	590,67	141,78	46,02
Lần 2	640,32	143,91	44,78
Lần 3	627,89	142,56	44,98

Bảng phụ lục 5: Thành phần khối lượng trong 1 kg của sò lông loại trung bình

Khối lượng (g) Số lần thí nghiệm	Vỏ sò	Thịt sò lông	Nội tạng
Lần 1	728,12	130,23	38,96
Lần 2	701,03	129,78	39,02
Lần 3	719,89	122,09	27,91

Bảng phụ lục 6: Thành phần khối lượng trong 1 kg của sò lông loại nhỏ

Khối lượng (g) Số lần thí nghiệm	Vỏ sò	Thịt sò lông	Nội tạng
Lần 1	778,92	115,92	34,72
Lần 2	761,98	121,03	36,27
Lần 3	705,02	109,87	35,61

