BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

PHẠM VĂN KIÊN

NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT SẤY NẤM LINH CHI TẠI VIỆT NAM

Chuyên ngành: Kỹ Thuật Cơ Khí

Mã số: 9.52.01.03

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. Hồ Chí Minh - năm 2019

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

PHẠM VĂN KIÊN

NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT SẤY NẤM LINH CHI TẠI VIỆT NAM

Chuyên ngành: Kỹ Thuật Cơ Khí

Mã số: 9.52.01.03

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Người hướng dẫn khoa học: GS. TS. NGUYỄN HAY

PGS. TS. LÊ ANH ĐỨC

TP. HCM - Năm 2019

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình học tập và nghiên cứu tại trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh, em đã nhận được rất nhiều sự giúp đỡ để hoàn thành nội dung luận án.

Trước hết em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến thầy GS.TS. Nguyễn Hay và thầy PGS.TS. Lê Anh Đức đã tận tình hướng dẫn, truyền đạt những kiến thức, kinh nghiệm cho em trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu đề tài.

Em xin gửi lời cảm ơn đến quý thầy cô Khoa Cơ khí Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh, những người đã truyền đạt kiến thức quý báu và hỗ trợ cho em suốt trong thời gian học tập và nghiên cứu.

Em xin gửi lời cảm ơn đến quý thầy cô Phòng Đào tạo sau đại học đã hỗ trợ và thực hiện các quy trình, hồ sơ học tập nghiên cứu và báo cáo nội dung chuyên đề, luận án các cấp.

Sau cùng xin gửi lời cảm ơn đến gia đình, đồng nghiệp và các anh chị nghiên cứu sinh đã luôn động viên, giúp đỡ em trong quá trình học tập và nghiên cứu luận án.

Một lần nữa, em xin chân thành cảm ơn!

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi

Các số liệu kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Nếu sai tôi sẽ chịu hoàn toàn mọi trách nhiệm.

Nghiên cứu sinh

Phạm Văn Kiên

TÓM TẮT

1. Thông tin đề tài:

- Đề tài: Nghiên cứu kỹ thuật sấy nấm linh chi tại Việt Nam
- Tác giả: Phạm Văn Kiên
- Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí
- Mã số chuyên ngành: 9.52.01.03

2. Mục tiêu đề tài:

Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng radio. Trong đó, mô hình toán được xây dựng nhằm mô phỏng truyền nhiệt truyền ẩm, phân tích lý thuyết động học quá trình sấy và thực nghiệm sấy xác định chế độ sấy cho nấm linh chi.

3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong luận án là phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm.

4. Kết quả nghiên cứu đạt được của luận án:

Kỹ thuật sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được lựa chọn nghiên cứu trong luận án. Mô hình toán học mô tả quá trình TNTA được xây dựng. Trong đó, quá trình TNTA trong quá trình sấy được xem là một chiều có xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt và nguồn sinh nhiệt bên trong VLS do ẩm trong lòng VLS hấp thụ năng lượng sóng RF.

Bằng thực nghiệm đã xây dựng được các phương trình xác định các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi và công suất gia nhiệt của bộ phát RF.

- Khối lượng riêng:

  $\rho = 599{,}9 + 57{,}287.M + 16{,}351.M^2$

- Nhiệt dung riêng:

  $C_p = 3017{,}5 + 541{,}616.\mathrm{Ln}(M)$

- Độ ẩm cân bằng:

  $\omega_e = 0{,}403 - 0{,}069.ln[-(T + 24{,}05)\ln(\varphi)]$

- Ẩn nhiệt hóa hơi:

$$r = 616{,}561.\omega_e^{(-0{,}938+0{,}008.t)} + 3{,}796.t^{(1{,}428-0{,}703.\omega_e)} + 2995{,}509.\omega_e - 2{,}055.t$$

- Hệ số khuếch tán ẩm:

  Tại các mức công suất bộ phát RF (P_{RF}) khác nhau, hàm phụ thuộc của hệ số khuếch tán ẩm như sau:

  + P_{RF} = 0,65 kW: $D_{\text{eff}} = 4{,}376 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2358}{(t_a+273{,}2)}\right)$

  + P_{RF} = 1,3 kW: $D_{\text{eff}} = 3{,}935 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2294}{(t_a+273{,}2)}\right)$

  + P_{RF} = 1,95 kW: $D_{\text{eff}} = 3{,}196 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2198}{(t_a+273{,}2)}\right)$

- Công suất gia nhiệt của bộ phát RF:

$$q_{RF} = 4{,}171 - 4{,}132.\text{M}^2 + 3{,}213.P_{RF}^2 + 13{,}979.\text{M} - 0{,}737.P_{RF} + 5{,}330.\text{M}.P_{RF}$$

Hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm (HPTTNTA) được giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn dựa trên thuật toán sử dụng ngôn ngữ lập trình Matlab.

Kết quả giải HPTTNTA được sử dụng để mô phỏng và phân tích lý thuyết động học quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio. Trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio, khi tăng công suất bộ phát RF và nhiệt độ TNS sẽ giúp tăng tốc độ sấy đáng kể.

Kết quả giải HPTTNTA cũng được sử dụng để so sánh kiểm chứng mức độ phù hợp của mô hình toán được đề xuất trong luận án với kết quả thực nghiệm sấy nấm linh chi. Kết quả cho thấy sự thay đổi về độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS theo thời gian sấy dựa trên kết quả giải HPTTNTA theo mô hình toán được thiết lập có biên dạng và xu hướng phù hợp với diễn biến trong suốt quá trình sấy thực tế.

Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm dựa trên kết quả thực nghiệm đã xác định được mô hình hồi quy biểu diễn sự phụ thuộc của hàm thời gian sấy (TGS) và hàm hàm lượng Polysaccharide (PA) theo các thông số đầu vào là nhiệt độ TNS (t_a), vận tốc TNS (v_a) và công suất bộ phát RF (P_{RF}).

Dựa trên cơ sở quy hoạch thực nghiệm và giải quyết các bài toán tối ưu nhằm đạt chất lượng sản phẩm và hiệu quả về tốc độ sấy của thiết bị là cao nhất. Khi đó giá trị các thông số đầu ra như hàm lượng Polysaccharide cần đạt mức cao nhất và thời gian sấy cần đạt mức thấp nhất. Kết quả đã xác định được chế độ sấy phù hợp đối với phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF cho nấm linh chi. Trong đó, giá trị các thông số đầu vào của chế độ sấy phù hợp được xác định như sau:

+ Nhiệt độ TNS: $t_a = 47^oC$

+ Vận tốc TNS: $v_a = 1,53$ m/s

+ Công suất bộ phát RF: $P_{RF} = 1,61$ kW.

SUMMARY

1. General information:

- Doctoral dissertation title : Research on drying technique of Ganoderma lucidum in Vietnam
- PhD student: Pham Van Kien
- Major: Mechanical Engineering
- Codes: 9.52.01.03

2. Objective:

Study on the heat and mass transfer during the drying process of Ganoderma lucidum by heat pump combined with radio frequency drying method. In which, mathematical model is developed to simulate the heat and mass transfer which is used for analyzing the theory of drying kinetics. Besides, the drying experiments are conducted to determine the drying modes for Ganoderma lucidum.

3. Research methods

The research method used in the dissertation is the method of theoretical research combined with experiment.

4. Research results of the thesis:

Ganoderma lucidum drying technique by heat pump combined with RF was selected for researching in the dissertation. The mathematical model that describes the heat and mass transfer process was established. In particular, the heat and mass transfer in drying process was considered to be one dimension and the effect of moisture diffusion on the heat transfer and the heat generation inside the drying material due to RF energy absorbed by moisture within the drying material were considered.

The thermal - physical parameters of Ganoderma lucidum and the heating capacity of the RF operator were determined by experiments.

- Density:

$\rho = 599{,}9 + 57{,}287.M + 16{,}351.M^2$

- Specific heat:

$C_p = 3017{,}5 + 541{,}616.\mathrm{Ln(M)}$

- Equilibrium moisture content:

$\omega_e = 0{,}403 - 0{,}069.ln[-(T + 24{,}05)\ln(\varphi)]$

- Latent heat for vaporization:

$r = 616{,}561.\omega_e{}^{(-0{,}938+0{,}008.t)} + 3{,}796.t^{(1{,}428-0{,}703.\omega_e)} + 2995{,}509.\omega_e - 2{,}055.t$

- Moisture diffusion coefficient:

+ At P_{RF} = 0,65 kW: $D_{\text{eff}} = 4{,}376 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2358}{(t_a+273{,}2)}\right)$

+ At P_{RF} = 1,3 kW: $D_{\text{eff}} = 3{,}935 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2294}{(t_a+273{,}2)}\right)$

+ At P_{RF} = 1,95 kW: $D_{\text{eff}} = 3{,}196 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2198}{(t_a+273{,}2)}\right)$

In which, P_{RF} is RF power of RF operator.

- Heating capacity of the RF operator:

$q_{RF} = 4{,}171 - 4{,}132.\mathrm{M}^2 + 3{,}213.P_{RF}^2 + 13{,}979.\mathrm{M} - 0{,}737.P_{RF} + 5{,}330.\mathrm{M}.P_{RF}$

The heat and mass transfer equations were solved by the finite difference method based on the algorithm using Matlab programming language.

The heat and mass equations solving results were used to simulate and analyze the theory of drying kinetics during the drying process of Ganoderma lucidum by heat pump combined with radio frequency drying method. In which, increase in RF power and drying air temperature increased the drying rate considerably.

The heat and mass equations solving results were also used to compare and verify the relevance of the mathematical model proposed in the dissertation with the results of the experimental drying process of Ganoderma lucidum by heat pump combined with radio frequency drying method. The results showed that changes in moisture content and temperature of drying material according to drying time had the profile and trend consistent with the changes throughout the real drying process.

Using experimental design method based on the experimental results, regression models have been built to represent dependence of output parameters as: drying time (TGS) and Polysaccharide (PA) on the input parameters as: drying air temperature (t_a), drying air velocity (v_a) and RF power (P_{RF}).

Based on the experimental regression solving and solving the optimal problems to achieve the highest efficiency of drying product quality and drying rate. The requirement for the optimal problems was that Polysaccharide content within the drying product should reach the highest level and the drying time should reach the lowest level. The results have determined the suitable drying mode for heat pump combined with RF drying of Ganoderma lucidum. In particular, the value of the input parameters of the appropriate drying mode was determined as below:

- Drying air temperature: $t_a = 47^oC$
- Drying air velocity : $v_a = 1,53$ m/s
- RF power: $P_{RF} = 1,61$ kW.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

1. Phạm Văn Kiên, Lê Anh Đức, Nguyễn Hay, 2018. Nghiên cứu tính chất nhiệt - vật lý của nấm linh chi. *Tạp chí Năng lượng nhiệt*, 142: 11 – 15.

2. Nguyen Hay, Le Anh Duc, Pham Van Kien, 2018. Study on Designing and Manufacturing a Radio Frequency Generator Using in Drying Technology. *IEEE, (2018) ISBN: 978-1-5386-5125-4, DOI: 10.1109/GTSD.2018.8595618*, pp. 416 - 422.

3. Pham Van Kien, Nguyen Hay, Le Anh Duc, 2019. Equilibrium Moisture Content of Ganoderma Lucidum. *Journal of Applied Mechanics and Materials* 889: 266-274.

4. Nguyen Hay, Le Anh Duc, Pham Van Kien, 2019. Book Chapter: "Study On Designing And Manufacturing A Radio Frequency Generator Using In Drying Technology and Efficiency Of A Radio Frequency Assisted Heat Pump Dryer In Drying of Ganoderma Lucidum". *In Green Technologies ISBN: 978-1-83880-050-5, DOI: 10.5772/intechopen.88825*. IntechOpen, The Shard, 32 London Bridge Street, London SE1 9SG, United Kingdom.`

MỤC LỤC

Trang

Lời cảm ơn i
Lời cam đoan.....ii
Tóm tắt iii
Danh mục các công trình của tác giả đã công bố liên quan đến đề tài luận án.....ix
Mục lục.....x
Danh sách các hình.....xv
Danh sách các bảng.....xvii
Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt xix
MỞ ĐẦU.....1
1. Tính cấp thiết của đề tài 1
2. Mục tiêu của đề tài 2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....3
4. Nội dung khoa học của đề tài.....3
5. Điểm mới của đề tài 3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu 4
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....5
1.1. Tổng quan về nấm linh chi.....5
1.1.1. Khái niệm về nấm linh chi 5
1.1.2. Nguồn gốc nấm linh chi 6
1.1.3. Thành phần các hoạt tính của nấm linh Chi.....6
1.1.4. Công dụng của nấm linh Chi.....7
1.2. Tổng quan về ứng dụng phương pháp sấy bơm nhiệt cho nông sản, thực phẩm.8
1.3. Tổng quan về công nghệ sấy ứng dụng sóng radio.....11
1.3.1. Nguyên lý gia nhiệt bằng sóng radio 11

1.3.2. Ứng dụng của sóng radio 13
1.3.2.1. Ứng dụng sóng radio trong kỹ thuật sấy 13
1.3.2.2. Ứng dụng sóng radio trong ngành nông nghiệp và gia nhiệt thực phẩm 14
1.4. Tổng quan về công nghệ làm khô nấm linh chi ở Việt Nam và trên thế giới 16
1.4.1. Công nghệ làm khô nấm linh chi trên thế giới 16
1.4.2. Công nghệ làm khô nấm linh chi ở Việt Nam 19
1.5. Thảo luận và đề xuất phương án sấy nấm linh chi 22
1.6. Lý thuyết truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy 24
1.6.1. Quy luật dịch chuyển nhiệt - ẩm trong lòng vật liệu sấy 24
1.6.2. Mô hình toán về truyền nhiệt truyền ẩm 25
1.7. Kết luận chương 1 28
CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU 29
2.1. Vật liệu nghiên cứu 29
2.2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết 30
2.2.1. Phương pháp xây dựng hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm 30
2.2.2. Lý thuyết giải hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm 30
2.2.3. Nghiên cứu các thông số nhiệt - vật lý của tác nhân sấy và vật liệu sấy 31
2.2.3.1. Xác định các thông số nhiệt - vật lý của tác nhân sấy 31
2.2.3.2. Xác định các thông số nhiệt - vật lý của vật liệu sấy 31
2.2.4. Nghiên cứu thông số công suất nhiệt của bộ phát sóng radio 34
2.3. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm 35
2.3.1. Thiết bị thực nghiệm 35
2.3.1.1. Thiết bị thực nghiệm sấy nấm linh chi kiểu bơm nhiệt kết hợp sóng radio .35
2.3.1.2. Thiết bị đo đạc 38

2.3.2. Phương pháp thực nghiệm 41
2.3.2.1. Phương pháp xác định độ ẩm của VLS.....41
2.3.2.2. Phương pháp xử lý số liệu thực nghiệm 41
2.3.2.3 . Phương pháp phân tích và so sánh hai tổ hợp số liệu 42
2.3.3. Phương pháp thực nghiệm kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF.....42
2.3.4. Phương pháp thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp.....43
2.3.4.1. Xác định các thông số đầu ra và đầu vào cho quá trình thực nghiệm sấy ...43
2.3.4.2. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm.....47
2.3.4.3. Quy trình thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp đối với nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF.....48
2.4. Kết luận chương 2 49
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT.....50
3.1. Mô hình toán của quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio.....50
3.1.1. Sơ đồ mô hình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio.....50
3.1.2. Mô hình toán truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF 51
3.2. Xác định các thông số nhiệt vật lý của tác nhân sấy.....59
3.3. Kết quả xác định các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi 60
3.3.1. Khối lượng riêng của nấm linh chi.....60
3.3.2. Nhiệt dung riêng của nấm linh chi 63
3.3.3. Ẩm độ cân bằng của nấm linh chi.....65
3.3.4. Ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi.....69
3.3.5. Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của nấm linh chi.....72

3.3.6. Hệ số dẫn nhiệt của nấm linh chi 75
3.3.7. Công suất gia nhiệt của bộ phát sóng RF.....76
3.4. Lý thuyết giải phương trình vi phân truyền nhiệt truyền chất trong sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio. 79
3.5. Phân tích lý thuyết động học quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio 81
3.5.1. Phân tích ảnh hưởng của thông số công suất bộ phát RF 81
3.5.1.1. Đường cong sấy 81
3.5.1.2. Đường cong nhiệt độ sấy 82
3.5.1.3. Đường cong tốc độ sấy.....84
3.5.2. Phân tích ảnh hưởng của thông số nhiệt độ tác nhân sấy.....84
3.5.3. Phân tích ảnh hưởng của thông số vận tốc tác nhân sấy.....85
3.6. Kết luận chương 3 86
CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM.....88
4.1. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF 88
4.2. Kết quả thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp đối với nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF.....97
4.2.1. Bài toán hộp đen.....97
4.2.2. Xác định vùng nghiên cứu 97
4.2.3. Lập ma trận thực nghiệm 98
4.2.4. Kết quả phân tích phương sai.....99
4.2.4.1. Hàm hàm lượng Polysaccharides.....99
4.2.4.2. Hàm thời gian sấy 101

4.2.5. Xác định các thông số chỉ tiêu thích hợp cho thiết bị sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF.....102
4.3. Kết luận chương 4.....103
KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ.....105
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....107
PHỤ LỤC.....121

DANH MỤC CÁC HÌNH

Trang

Hình 1.1: Nấm linh Chi.....5

Hình 1.2. Dải tần số hoạt động của sóng RF 12

Hình 1.3: Phân cực lưỡng cực và phân cực điện tích trong điện trường thay đổi của sóng radio 12

Hình 1.4. Nấm linh chi được phơi nắng và sấy bằng tủ sấy đối lưu không khí nóng tại một số nơi ở Trung Quốc 18

Hình 1.5. Tủ sấy nấm linh chi tại Hàn Quốc 18

Hình 1.6. Nấm linh chi được làm khô bằng thiết bị tận dụng năng lượng mặt trời và sấy thăng hoa tại CHLB Đức 19

Hình 1.7. Nấm linh chi được phơi nắng ngoài trời tại Việt Nam 19

Hình 1.8. Nấm linh chi được phơi khô tại Trung tâm Ứng dụng Tiến bộ Khoa học và Công nghệ Bến Tre.....20

Hình 1.9. Máy sấy đối lưu tại Viện Nghiên cứu Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm TP HCM. 21

Hình 1.10. Một số thiết bị sấy nấm linh chi trên thị trường tại Việt Nam.....21

Hình 2.1. Nấm linh chi đỏ sử dụng cho thực nghiệm.....29

Hình 2.2. Mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp RF 36

Hình 2.3. Sơ đồ mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp RF.....36

Hình 2.4. Sơ đồ bố trí thiết bị đo trên thiết bị sấy.....38

Hình 3.1. Mô hình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF 50

Hình 3.2. Sơ đồ truyền nhiệt truyền ẩm.....51

Hình 3.3. Mô hình vật lý quá trình sấy nấm linh chi 51

Hình 3.4. Mô hình tấm phẳng của VLS.....54

Hình 3.5. Cân bằng nhiệt xét trên một phần tử vô cùng nhỏ 55

Hình 3.7. Sơ đồ thực nghiệm xác định nhiệt dung riêng của nấm linh chi.....64

Hình 3.8. Sơ đồ thực nghiệm xác định ẩm độ cân bằng của nấm linh chi.....67

Hình 3.9. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi theo nhiệt độ TNS và độ ẩm cân bằng của nấm linh chi 71

Hình 3.10. Đồ thị quan hệ giữa Ln(D) và $1/T_a$ 74

Hình 3.11. Thiết bị thực nghiệm xác định công suất bộ phát RF 77

Hình 3.12. Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF.....82

Hình 3.13. Đường cong nhiệt độ TB VLS tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF 83

Hình 3.14. Đường cong tốc độ sấy tương ứng với chế độ xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF.....84

Hình 3.15. Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ tác nhân sấy 85

Hình 3.16. Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của vận tốc TNS 86

Hình 4.1. Đường cong sấy kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát 90

Hình 4.2. Đường cong tốc độ sấy kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát 92

Hình 4.3. Đường cong nhiệt độ TB VLS kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát 94

Hình 4.4. Kết quả phân tích phương sai hàm hàm lượng Polysaccharide lần 2 100

Hình 4.5. Kết quả phân tích phương sai hàm thời gian sấy lần 2 101

DANH MỤC CÁC BẢNG

Trang

Bảng 1.1. Thành phần các chiết chất hoạt tính ở nấm linh Chi 6

Bảng 2.1. Thông số kỹ thuật cơ bản của các bộ phận chính của máy sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF 37

Bảng 2.2. Thông số kỹ thuật cơ bản của các thiết bị đo 39

Bảng 3.1. Giá trị khối lượng riêng của nấm linh chi theo ẩm độ.....62

Bảng 3.2. Giá trị nhiệt dung riêng của nấm linh chi theo ẩm độ 65

Bảng 3.3. Số liệu thực nghiệm về ẩm độ cân bằng của nấm linh chi 68

Bảng 3.4. Các thông số quy hoạch thực nghiệm cho ẩm độ cân bằng của nấm linh chi 68

Bảng 3.5. Giá trị ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi 71

Bảng 3.6. Giá trị hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả và hoạt độ năng lượng.....74

Bảng 3.7. Hàm hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả theo chế độ sấy 74

Bảng 3.8. Thành phần phần trăm ban đầu của các thành phần chất 76

trong nấm linh chi 76

Bảng 3.9. Giá trị công suất gia nhiệt của bộ phát RF theo ẩm độ của vật liệu và công suất bộ phát RF.....78

Bảng 4.1. Kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết về độ chứa ẩm TB VLS tại chế độ sấy xét đến sự thay đổi công suất bộ phát RF 88

Bảng 4.2. Kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết về nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát RF 92

Bảng 4.3. Giá trị các thông số so sánh hai tổ hợp số liệu về độ chứa ẩm TB VLS giữa thực nghiệm và lý thuyết.....96

Bảng 4.4. Giá trị các thông số so sánh hai tổ hợp số liệu về nhiệt độ TB VLS giữa thực nghiệm và lý thuyết.....96

Bảng 4.5. Ma trận thực nghiệm và kết quả thực nghiệm ở dạng mã hóa 98

Bảng 4.6. Ma trận thực nghiệm và kết quả thực nghiệm ở dạng thực 99

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Tên gọi	Đơn vị
A	Hệ số thực nghiệm	
B	Hệ số thực nghiệm	
C	Hệ số thực nghiệm	
C_p	Nhiệt dung riêng đẳng áp	J/kg.^oC
C_s	Nhiệt dung riêng của mẩu thực nghiệm nấm Linh chi	J/kg.^oC
C_c	Nhiệt dung riêng của chất làm nhiệt lượng kế	J/kg.^oC
C_w	Nhiệt dung riêng của nước	J/kg.^oC
$D_{â}$	Hệ số khuếch tán hơi ẩm vào không khí	m^2/s
D	Hệ số khuếch tán ẩm	m^2/s
df	Góc xoay tự do	
E	Hệ số thực nghiệm	
F	Hệ số thực nghiệm	
h	Ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do	J/kg
Lu	Tiêu chuẩn đồng dang Luikov	
L	Nửa độ dày của lớp VLS	m
m	khối lượng của vật liệu	kg
m_L	khối lượng của lọ thủy tinh	kg
M	Độ chứa ẩm trung bình vật liệu sấy	kgÂ/kg VLK
M_e	Độ chứa ẩm cân bằng của vật liệu	kgÂ/kg VLK
MR	Tốc độ giảm ẩm không thứ nguyên	
Nu	Tiêu chuẩn đồng dạng Nusselt	
n	Số dữ liệu thực nghiệm	
P_{vs}	Áp suất hơi bão hòa	kPa
Pr	Tiêu chuẩn đồng dạng Prandtl	
P_{RF}	Công suất bộ phát RF	kW
q_{RF}	Công suất gia nhiệt bộ phát RF	W/m^3
Q_u	Độ biến thiên nội năng	W

Q_1	Nhiệt lượng đưa vào phần tử thể tích	W
Q_2	Nhiệt lượng tỏa ra trong phần tử thể tích	W
q_{Conv}	nhiệt lượng do truyền nhiệt đối lưu	W
q_{evap}	Nhiệt lượng cần thiết làm hóa hơi lượng ẩm trong VLS	W
q_{s_evap}	Nhiệt lượng cần thiết làm hóa hơi lượng ẩm tại bề mặt VLS	W
r	Ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong vật liệu	J/kg
Re	Tiêu chuẩn đồng dạng Reynolds	
R^2	Hệ số tương quan	
Sc	Tiêu chuẩn đồng dạng Schmidt	
Sh	Tiêu chuẩn đồng dạng Sherwood	
St	Tiêu chuẩn đồng dạng Stanton	
T	Nhiệt độ tuyệt đối	K
T_a	Nhiệt độ tuyệt đối TNS	K
t	Nhiệt độ bách phân	^oC
t_a	Nhiệt độ TNS	^oC
v	Vận tốc	m/s
v_a	Vận tốc TNS	m/s
V	Thể tích của vật liệu	m^3
V_L	Thể tích của lọ thủy tinh	m^3

Ký tự Hy lạp

α	Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu trung bình	$W/m^2.^oC$
β_M	Hệ số trao đổi ẩm đối lưu trung bình	m/s
δ	Chiều dày tấm phẳng	m
δ_t	Hệ số gradient nhiệt độ	
Δ	Độ chênh giá trị	
∇	Gradient	
ω	Độ ẩm tương đối	%

ω_k	Độ ẩm tuyệt đối	% cơ sở khô
ω_e	Độ ẩm cân bằng của VLS	% cơ sở khô
φ	Độ ẩm tương đối của môi trường thực nghiệm	%
φ_a	Độ ẩm tương đối TNS	%
λ	Hệ số dẫn nhiệt	W/m.^{o}C
μ	Hệ số nhớt động học	kg/m.s
ρ	Khối lượng riêng	kg/m^3
ρ_t	tỷ trọng của dung môi Toluen	kg/m^3
τ	Thời gian	

Ký hiệu chân	**Ý nghĩa**
a	Không khí ẩm
ASH	Thành phần tro
CHO	Thành phần Cacbonhydrate
e	Trạng thái cân bằng
end	Trạng thái cuối
0	Tại thời điểm đầu
exp	Thực nghiệm
F	Thành phần chất béo
F_i	Thành phần thớ sợi
kkâ	Không khí ẩm
pre	Dự đoán
P	Thành phần đạm
W	Thành phần nước

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Các chữ viết tắt	Ý nghĩa
HP	Bơm nhiệt (Heatpump)
MR	Tốc độ giảm ẩm
PA	Hàm lượng Polysaccharides
MAE	Sai số tuyệt đối trung bình
MSLf	Phương sai không tương thích
MSEp	Phương sai sai số ngẫu nhiên
QTS	Quá trình sấy
RF	Sóng cao tần tần số Radio (sóng Radio)
RSS	Tổng bình phương sai số
RMSE	Sai số bình phương trung bình
SEE	Sai số của trung bình
TB	Trung bình
TBS	Thiết bị sấy
TGS	Thời gian sấy
TNS	Tác nhân sấy
VLS	Vật liệu sấy
PT	Phương trình truyền nhiệt truyền ẩm
HPT	Hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm
TNTA	Truyền nhiệt truyền ẩm

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Sấy khô là một phương pháp ngày càng được ứng dụng rộng rãi và phổ biến trong công nghệ thực phẩm và chế biến nông sản. Trong quá trình sơ chế và chế biến, công đoạn sấy khô có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng sản phẩm và thời gian bảo quản. Nếu công nghệ và thiết bị sấy không phù hợp sẽ làm suy giảm nghiêm trọng các thành phần dược học và dinh dưỡng vốn có trong sản phẩm tươi. Chế độ sấy hợp lý là chế độ sấy tăng cường được cường độ bốc hơi nước trong sản phẩm là cao nhất nhằm giảm thiểu năng lượng tiêu thụ nhưng phải duy trì được chất lượng sản phẩm của VLS. Thực tế cho thấy quá trình sấy không chỉ làm giảm lượng nước trong sản phẩm mà còn ảnh hưởng đến sự thay đổi hình dạng, màu sắc, mùi vị và thành phần chất dinh dưỡng của sản phẩm sau khi sấy. Hiện nay, việc kết hợp nhiều phương pháp sấy hoặc sấy nhiều giai đoạn để tăng tốc độ thoát ẩm, đảm bảo chất lượng sản phẩm và giảm năng lượng tiêu thụ đang được các nhà nghiên cứu quan tâm.

Nông sản thực phẩm sẽ kéo dài được thời gian bảo quản sau khi được sấy khô. Vì vậy, việc lựa chọn một phương pháp sấy phù hợp là hết sức quan trọng để duy trì được chất lượng sản phẩm sấy cả về cảm quan và dinh dưỡng. Bên cạnh đó, một số loại nông sản cao cấp như các loại dược phẩm quý thì tiêu chí quan trọng nhất khi sấy là phải đảm bảo giá trị dinh dưỡng và hàm lượng dược chất của sản phẩm sấy.

Hiện nay, trên thế giới và ở Việt Nam đã ứng dụng nhiều các phương pháp sấy khác nhau cho các sản phẩm nông nghiệp và trong lĩnh vực công nghệ thực phẩm. Các phương pháp sấy được ứng dụng bao gồm sấy đối lưu bằng không khí nóng, sấy bơm nhiệt, sấy chân không, sấy bằng sóng hồng ngoại, sấy bằng vi sóng và sấy bằng sóng radio (RF). Trong đó, sấy bằng sóng RF là một công nghệ sấy đã được các nhà khoa học nghiên cứu và phát triển vì một số các ưu điểm nổi bật như: i) cơ chế gia nhiệt thể tích trên toàn bộ thể tích vật liệu sấy nên tốc độ gia nhiệt nhanh; ii) nhiệt độ và ẩm độ phân bố đồng đều trên toàn bộ thể tích vật liệu sấy; iii) gradient

nhiệt độ và gradient ẩm cùng chiều nên thuận lợi cho quá trình khuếch tán ẩm trong vật liệu sấy giúp tăng tốc độ sấy [1].

Nấm linh chi là một loại dược phẩm thuộc nhóm sản phẩm nông nghiệp có một số tính chất như: chứa nhiều dược chất nhạy nhiệt, có cấu tạo dạng thân gỗ, xốp, hệ số dẫn nhiệt thấp [2, 3]. Do đó, để bảo toàn được hàm lượng các dược chất nhạy nhiệt cũng như màu sắc và mùi vị của nấm linh chi cần sấy ở nhiệt độ thấp. Tuy nhiên, khi sấy ở nhiệt độ thấp thì thời gian sấy sẽ kéo dài. Bên cạnh đó, nấm linh chi có hàm lượng nước cao, hệ số dẫn nhiệt thấp nên trong quá trình sấy đối lưu, khả năng truyền nhiệt sẽ không hiệu quả. Vì vậy, phương pháp sấy phù hợp là phải sấy ở nhiệt độ thấp nhằm giữ được các dược chất nhưng phải có biện pháp để tăng tốc độ sấy. Vấn đề này có thể giải quyết được bằng cách kết hợp gia nhiệt ứng dụng các phương pháp khác như gia nhiệt bằng sóng RF.

Trên thế giới và tại Việt Nam cũng đã có một số nghiên cứu và ứng dụng các phương pháp sấy vào kỹ thuật sấy nấm linh chi như sấy đối lưu sử dụng không khí nóng, sấy bơm nhiệt và sấy chân không với kết quả đạt được là rất khả quan. Tuy nhiên, hầu như không có công trình nghiên cứu nào về sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF. Trong đó, nguyên lý sấy bằng bơm nhiệt với tác nhân sấy tuần hoàn ở nhiệt độ thấp có thể đảm bảo duy trì được hàm lượng cao các dược chất nhạy nhiệt của nấm linh chi, đồng thời có thể giữ lại được mùi vị, màu sắc đặc trưng của nấm. Cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF là cơ chế gia nhiệt thể tích trên toàn bộ VLS sẽ giúp tăng tốc độ gia nhiệt, nhiệt độ phân bố đều trên toàn bộ thể tích vật liệu giúp cho quá trình khuếch tán ẩm diễn ra nhanh hơn trong quá trình sấy và rút ngắn thời gian sấy.

Luận án lựa chọn phương pháp sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF để thực hiện nghiên cứu kỹ thuật sấy nấm linh chi tại Việt Nam.

2. Mục tiêu của đề tài

Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng radio. Trong đó, mô hình toán được xây dựng nhằm mô phỏng truyền nhiệt truyền ẩm, phân tích lý thuyết động học quá trình sấy và thực nghiệm sấy xác định chế độ sấy cho nấm linh chi.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu kỹ thuật sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng cao tần tần số radio.

4. Nội dung khoa học của đề tài

- Tìm hiểu tổng quan các công trình nghiên cứu trong nước và trên thế giới về nấm linh chi và công nghệ gia nhiệt bằng sóng RF. Trong đó, kỹ thuật sấy nấm linh chi là cơ sở cho việc phân tích đánh giá đề xuất phương án sấy nấm linh chi phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam.
- Nghiên cứu thực nghiệm xác định các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi Việt Nam.
- Nghiên cứu thực nghiệm xác định thông số công suất gia nhiệt của bộ phát RF trong quá trình sấy nấm linh chi.
- Xây dựng mô hình toán mô tả quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF với hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm được thiết lập.
- Phân tích lý thuyết động học quá trình sấy dựa trên kết quả mô phỏng truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Nghiên cứu thực nghiệm kiểm chứng mức độ phù hợp của mô hình toán mô tả quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Nghiên cứu thực nghiệm sấy nấm linh chi nhằm xác định chế độ sấy phù hợp dựa trên tiêu chí hiệu quả về tốc độ sấy của hệ thống sấy và chất lượng sản phẩm sấy thực tế cho nấm linh chi tại Việt Nam bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.

5. Điểm mới của đề tài

- Xác định được các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi Việt Nam bằng thực nghiệm. Các thông số bao gồm: khối lượng riêng, nhiệt dung riêng, ẩm độ cân bằng, ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong vật liệu, hệ số khuếch tán ẩm và hệ số dẫn nhiệt.

- Xác định được thông số công suất gia nhiệt của bộ phát RF trong quá trình sấy nấm linh chi. Trong đó, giá trị công suất gia nhiệt của bộ phát phụ thuộc vào ẩm độ của nấm linh chi.
- Xây dựng được mô hình toán mô tả quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF trong đó có xét đến nguồn sinh nhiệt bên trong VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF và ảnh hưởng của dòng khuếch tán ẩm đến dòng nhiệt.
- Xây dựng được các đường cong động học quá trình sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Xây dựng được mô hình hồi quy đa yếu tố cho quá trình sấy nấm linh chi Việt Nam bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Xác định được chế độ sấy phù hợp cho nấm Linh chi nhằm đảm bảo được chất lượng của sản phẩm sấy nấm Linh chi trong điều kiện thực tế tại Việt Nam.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu

Về mặt lý thuyết, luận án góp phần làm sáng tỏ cơ chế truyền nhiệt truyền ẩm và nghiên cứu động học quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF trên cơ sở có xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt.

Về mặt thực tiễn, luận án sẽ góp thêm cho các tài liệu về công nghệ sấy, tạo cơ sở cho việc nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật sấy còn tương đối mới tại Việt Nam trong đó cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF được sử dụng nhằm nâng cao hiệu quả sấy mà quan trọng hàng đầu là chất lượng sản phẩm sấy. Bên cạnh đó, luận án cũng sẽ là tiền đề cho việc tính toán thiết kế, chế tạo và cải thiện thiết bị sấy ứng dụng sóng RF.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về nấm linh chi

1.1.1. Khái niệm về nấm linh chi

Linh chi là vị thuốc quý hiếm và rất đắt tiền đã được nghiên cứu và sử dụng từ rất lâu. Nấm linh chi có tên khoa học là Ganoderma lucidum, thuộc họ Nấm Lim (Ganodermataceae).

- Tên Tiếng Nhật : Reishi
- Tên Hàn Quốc : Yeongji
- Tên Trung Quốc : 灵芝 Lingzhi.
- Tên tiếng Anh : Ganoderma lucidum.

Hình 1.1: Nấm linh Chi

Mũ nấm (tai nấm) hóa gỗ, xòe tròn, khi non có hình trứng, lớn dần có hình quạt, hình bầu dục. Trên mặt mũ có vân gạch đồng tâm màu sắc đa dạng như vàng chanh, vàng nghệ, vàng nâu, vàng cam, đỏ nâu, nâu tím, được phủ bởi lớp sắc tố bóng như láng vecni. Mũ nấm có đường kính 120 – 150 mm, dày 12 – 15 mm, phần dính cuống thường gồ lên hoặc hơi lõm. Mặt dưới phẳng, màu trắng hoặc vàng, có nhiều lỗ li ti, là nơi hình thành và phóng thích bào tử nấm. Bào tử nấm dạng trứng cụt với hai lớp vỏ, giữa hai lớp vỏ có nhiều gai nhọn nối từ trong ra ngoài

1.1.2. Nguồn gốc nấm linh chi

Nấm linh chi có nguồn gốc thực vật, thường sống kí sinh trên thân cây gỗ mục rỗng, cây chết hoặc đã chặt hạ hoặc đất có mùn gỗ mục và thường là các loài có hệ Enzim mạnh, phân hủy gỗ cây. Vỏ ngoài của linh Chi khá cứng, nên việc nảy mầm rất khó khăn.

Trước đây, nấm linh chi thường chỉ mọc trong rừng, trên núi cao vào thời điểm nhất định chứ không được gây trồng. Có nhiều tài liệu nói là nấm Linh chi chỉ tìm thấy ở phía tây núi Thái Hàng, Trung Quốc. Hơn thế nữa, nấm tìm được thường không mấy khi nguyên vẹn mà hay bị sâu bọ cắn nát. Bởi vậy nên nấm linh chi càng trở nên quý hiếm.

Trước đây, rất nhiều người đã nghiên cứu tìm cách gây giống và trồng loại nấm này nhưng đều thất bại. Mãi tới năm 1971, hai nhà bác học người Nhật tên là Yukio Naoi và Zenzaburo Kasai, giáo sư của phân khoa nông nghiệp, đại học Kyoto mới thành công trong việc gây giống và người ta mới sản xuất được vị thuốc này một cách qui mô. Từ đó linh chi đã được nuôi trồng và sử dụng trong việc bào chế ngày một phổ biến và lan rộng khắp thế giới.

Ở Việt Nam, nấm linh chi thường được nuôi trồng bằng mạt cưa gỗ cao su và một số thành phần phế phẩm từ nông nghiệp. Phương pháp trồng phổ biến là sử dụng túi nhựa. Quá trình nuôi ủ nấm được thực hiện trên các kệ và dây treo. Ngoài việc tránh nguồn bệnh từ đất, còn tăng được diện tích nuôi trồng.

1.1.3. Thành phần các hoạt tính của nấm linh Chi

Thành phần các hoạt tính của nấm linh chi được thể hiện như trong bảng 1.1 [2].

Bảng 1.1. Thành phần các chiết chất hoạt tính ở nấm linh Chi

Nhóm chất	Hoạt chất	Hoạt tính
Alcaloid	***	Trợ tim
Polysaccharides	b-D-glucan Ganoderan A, B, C D-6	Chống ung thư, tăng tính miễn dịch Hạ đường huyết

		Tăng tổng hợp protein, tăng chuyển hóa acid nucleotic
Steroid	Ganodosteron Lanosporeric acid A Lonosteron	Giảm độc gan Ức chế sinh tổng hợp cholesterol
Triterpenoid	Ganodermic acid Mf, T-O Ganodermic acid R, S Ganodermic acid B, D, F, H, K, S, Y… Ganodermadiol Ganosporelacton A, B Lucidon A Lucidol	Ức chế sinh tổng hợp cholesterol Ức chế giải phóng Histamin Hạ huyết áp, ức chế ACE Chống khối u Bảo vệ gan
Nucleosid	Adenosine dẫn suất	Ức chế kết dính tiểu cầu, thư giãn cơ, giảm đau
Protein	Lingzhi – 8	Chống dị ứng phổ rộng, điều hòa miễn dịch
Acid béo	Oleic acid	Ức chế giải phóng Histamin

1.1.4. Công dụng của nấm linh Chi

Nấm linh chi là một loại dược phẩm quý có công dụng bồi bổ sức khỏe và hỗ trợ điều trị bệnh hiệu quả [3].

➢ **Công dụng đối với hệ miễn dịch**

- Linh chi dùng trong điều trị viêm gan do virut, tăng cường chức năng sản xuất Interferon trong cơ thể, tăng hoạt tính của đại thực bào và Lympho bào.
- Hoạt chất Polysaccharide: beta (1-3D-Glucan) hỗ trợ điều trị bệnh ung thư
- Hoạt chất acid Ganoderic chống dị ứng, chống viêm nhiễm.
- Tác dụng như một chất chống oxy hóa, khử các gốc tự do trong cơ thể. Bảo vệ và chống ảnh hưởng của các tia chiếu xạ. Đặc biệt có thể nâng cao hệ miễn dịch trong điều trị HIV.

➢ **Công dụng đối với hệ tuần hoàn**

- Điều hòa và ổn định huyết áp. Nấm linh chi có tác dụng hỗ trợ giúp giảm huyết áp đối với người huyết áp cao. Đối với người suy nhược cơ thể, huyết áp thấp thì nấm linh chi có tác dụng nâng huyết áp nhờ chức năng hỗ trợ cải thiện và chuyển hoá dinh dưỡng.
- Tác dụng làm giảm cholesterol và chống nhiễm mỡ xơ động mạch và các biến chứng khác.

➢ **Công dụng đối với hệ tiêu hóa và bài tiết**

- Hỗ trợ điều trị loét dạ dày, tá tràng, giúp ăn ngon ngủ tốt.
- Tác dụng hỗ trợ điều trị tiểu đường, giúp ổn định đường huyết.

➢ **Công dụng đối với hệ thần kinh**

- Tác dụng chống suy nhược thần kinh kéo dài, mất ngủ, giúp ngủ tốt.
- Giảm căng thẳng thần kinh.

➢ **Công dụng đối với hệ hô hấp**

- Nấm linh chi có thể hỗ trợ điều trị bệnh về hô hấp rất hiệu nghiệm. Ngay cả trong trường hợp bị viêm phế quản, hen phế quản tới 80% cũng có thể giảm nhẹ bệnh theo hướng khỏi hẳn.
- Ngoài ra nấm linh chi còn có nhiều công dụng khác thông qua tác dụng điều hòa, củng cố và tăng cường sức đề kháng của cơ thể, giúp nâng thể trạng trong những trường hợp mất ổn định, bị tác hại như: nhiễm độc, nhiễm trùng.

Tóm lại, nấm linh chi là một loại dược phẩm quý nếu được sử dụng đúng cách sẽ mang lại hiệu quả cao trong việc bồi bổ sức khỏe, tăng cường sức đề kháng và hỗ trợ điều trị thật sự hiệu quả.

1.2. Tổng quan về ứng dụng phương pháp sấy bơm nhiệt cho nông sản, thực phẩm.

Trên thế giới và tại Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng phương pháp sấy bơm nhiệt cho nông sản thực phẩm.

Nguyễn Đức Lợi và Phạm Văn Tùy [4] đã nghiên cứu chế tạo lần đầu tiên ở Việt Nam HTS bơm nhiệt dùng sấy kẹo Jelly cho Công ty bánh kẹo Hải Hà với

công suất 1100 kg/ngày, khả năng tiết kiệm năng lượng của HTS này khi tách ẩm lên tới khoảng 58% (từ 11,49 kWh/kg xuống còn 4,67 kWh/kg).

Perera [5] đã nghiên cứu sấy táo bằng bơm nhiệt với kết quả cho thấy sản phẩm sấy giữ được màu sắc và hàm lượng vitamin C cao.

Oktay và ctv [6] đã thực nghiệm sấy sợi bằng bơm nhiệt cho hiệu suất tách ẩm cao đạt 0,65–1,75 kg/kWh và hiệu suất vận hành là 2,47–3,95.

Phạm Văn Tùy cùng các cộng sự [7] đã nghiên cứu ứng dụng HTS bơm nhiệt để sấy các loại nông sản như cà rốt, hành tây, củ cải và thì là. Kết quả cho thấy sấy bằng bơm nhiệt đạt chỉ tiêu chất lượng và chỉ tiêu cảm quan đối với tất cả các vật liệu sấy cao hơn so với phương pháp sấy nóng truyền thống trong đó sản phẩm sấy bằng vượt trội hơn hẳn các phương pháp khác về chất lượng cảm quan và có khả năng giữ màu sắc, hương vị tự nhiên và vitamin C tốt hơn.

Kohayakawa và ctv [8] đã nghiên cứu sấy xoài bằng bơm nhiệt với kết quả cho thấy hiệu suất sấy và hiệu suất sử dụng năng lượng được cải thiện hơn đáng kể so với hệ thống sấy sử dụng nhiệt điện trở.

Adapa và Schonenau [9] đã nghiên cứu về hệ thống sấy bơm nhiệt sấy liên tục cho củ sâm và các loại rau thơm. Kết quả cho thấy hiệu suất tách ẩm nằm trong khoảng từ 0,06 – 0,61 kg Â/ kW.h, lượng điện năng tiêu thụ khoảng 190 kW và thời gian sấy khoảng 5 ngày để giảm độ ẩm của củ sâm xuống dưới 10%. Trong khí đó, hệ thống sấy sử dụng điện trở nhiệt phải mất 14 ngày và điện năng tiêu thụ khoảng 244 kW.

Hawlader và ctv [10] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy táo, ổi và khoai tây bằng bơm nhiệt với kết quả cho thấy sản phẩm sấy duy trì được đặc tính lý hóa đặc trưng của vật liệu.

Hawlader, Jahangeer [11] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy đậu xanh bằng bơm nhiệt với kết quả cho thấy hiệu quả sấy cao với hiệu suất vận hành đạt trên 6,0 và hiệu suất tách ẩm đạt trên 0,65. Trong đó, khối lượng sấy là 20 kg/mẻ và tốc độ máy nén là 1200 vòng/ phút.

Chegini và ctv [12] đã nghiên cứu sấy thực nghiệm ổi bằng bơm nhiệt với kết quả cho thấy dải nhiệt độ sấy phù hợp là 70–80 ºC. Hiệu suất tách ẩm riêng cao hơn và tiết kiệm năng lượng hơn đáng kể so với sấy đối lưu sử dụng không khí nóng.

Guochen và ctv [13] đã có nghiên cứu sấy thực nghiệm tôm bằng bơm nhiệt với kết quả cho thấy hệ thống bơm nhiệt với nhiệt độ TNS thấp đã giúp nâng cao chất lượng sản phẩm sấy và chi phí năng lượng thấp.

Nguyễn Mạnh Hùng [14] đã nghiên cứu hệ thống sấy bằng bơm nhiệt hai nhiệt độ sôi, đối tượng sấy là khoai tây thái lát mỏng. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khả năng tiết kiệm năng lượng khi sấy theo phương pháp sấy lạnh gián đoạn kết hợp lên tới gần 30%.

Lê Quang Huy [15] đã nghiên cứu kỹ thuật sấy phấn hoa ở Việt Nam. Kết quả đã đề xuất được thiết bị sấy phấn hoa cho qui mô hộ gia đình ở Việt Nam là TBS bằng bơm nhiệt hồi lưu toàn phần với TNS chuyển động vuông góc với lớp VLS, có cào đảo trộn vật liệu trong quá trình sấy với công nghệ đạt chất lượng và hiệu quả kinh tế phù hợp với thực tế sản xuất phấn hoa tại Việt Nam và xuất khẩu.

Bên cạnh đó, phương pháp sấy bơm nhiệt cũng được nghiên cứu kết hợp với các phương pháp sấy khác để sấy thực phẩm và các loại nông sản với kết quả cho thấy hệ thống sấy kết hợp đạt hiệu quả sấy cao và nâng cao chất lượng sản phẩm sấy.

Aktas và ctv [16] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy táo bằng hệ thống sấy bơm nhiệt kết hợp với năng lượng mặt trời. Kết quả cho thấy hệ thống sấy kết hợp cho hiệu quả sấy cao hơn cả về tốc độ sấy và điện năng tiêu thụ.

Lê Thị Đoan Thùy [17] đã có nghiên cứu chế độ sấy hành lá bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại với kết quả cho thấy khi kết hợp bơm nhiệt và hồng ngoại sẽ giúp tăng tốc độ sấy, nâng cao chất lượng sản phẩm sấy và tiết kiệm năng lượng trong quá trình vận hành thiết bị sấy.

Yue và ctv [18] đã nghiên cứu hiệu quả của phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại cho sấy chuối. Kết quả cho thấy phương pháp sấy kết hợp giúp tăng hiệu quả vận hành của hệ thống, thời gian sấy giảm và sản phẩm sấy vẫn giữ được màu sắc mùi vị và hàm lượng cao các chất dinh dưỡng.

Chien và ctv [19] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy táo cắt lát bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp chân không - vi sóng . Kết quả cho thấy hệ thống sấy kết hợp giúp giảm độ chai cứng bề mặt VLS và nâng cao chất lương sản phẩm sấy cả về dinh dưỡng và cảm quan.

Gokul và ctv [20] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy hạt đậu xanh bằng phương pháp sấy kết hợp bơm nhiệt - tầng sôi. Kết quả cho thấy hệ thống sấy kết hợp giúp nâng cao hiệu quả sấy và giảm đáng kể lượng điện năng tiêu thụ.

❖ ***Thảo luận:***

Với kết quả đạt được của các nghiên cứu ứng dụng bơm nhiệt trong kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm cho thấy sấy bơm nhiệt là phương pháp sấy trong đó nhiệt độ và ẩm độ tương đối của TNS thấp giúp nâng cao hiệu quả sấy cả về hiệu quả tách ẩm và hiệu quả sử dụng năng lượng [4, 6, 8, 9, 11, 12, 16 - 20]. Sấy bằng bơm nhiệt cho hiệu suất tách ẩm cao có thể đạt tới 0,65–1,75 kg/kWh và hiệu suất sử dụng năng lượng được cải thiện hơn đáng kể so với hệ thống sấy khác như sấy đối lưu không khí nóng sử dụng nhiệt điện trở. Khi bơm nhiệt được kết hợp với các phương pháp khác như hệ thống sấy sử dụng năng lượng mặt trời, bức xạ hồng ngoại, chân không - vi sóng và bơm nhiệt - tầng sôi đã giúp nâng cao hiệu quả sấy và giảm đáng kể lượng điện năng tiêu thụ.

Bên cạnh đó, với nhiệt độ TNS thấp có thể giúp nâng cao chất lượng sản phẩm sấy cả về chất lượng cảm quan và chất lượng dinh dưỡng [5, 7, 8, 10, 13 - 15, 17 - 20]. Các sản phẩm sấy vẫn duy trì được màu sắc và mùi vị đặc trưng, giảm được cong vênh và chai cứng bề mặt. Nhiệt độ sấy thấp giúp duy trì được đặc tính lý hóa của vật liệu sấy, hàm lượng vitamin và các chất dinh dưỡng khác trong đó bao gồm cả các thành phần chất dược chất nhạy nhiệt.

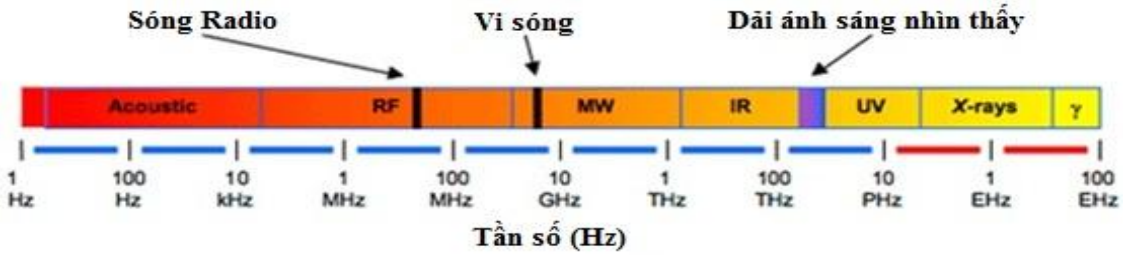
1.3. Tổng quan về công nghệ sấy ứng dụng sóng radio

1.3.1. Nguyên lý gia nhiệt bằng sóng radio

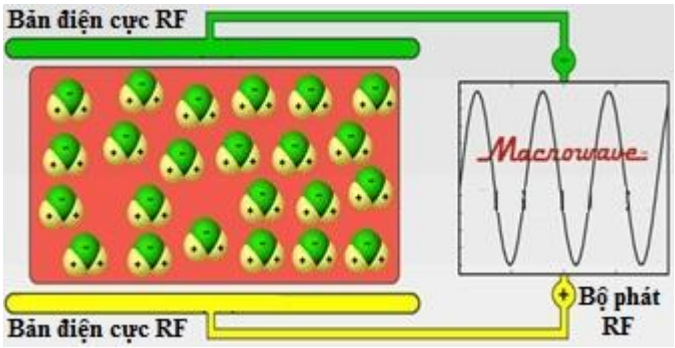
Sóng RF có tần số hoạt động trong dải từ 3 MHz đến 300 MHz như trình bày trong hình 1.2. Trong đó có ba giá trị tần số hoạt động được ứng dụng trong công nghiệp là 13 MHz, 27 MHz và 40 MHz [21].

Hệ thống sấy dùng năng lượng điện từ trường gọi là hệ thống sấy dùng dòng điện cao tần [54]. Trong hệ thống sấy ứng dụng sóng RF, bộ phát sóng RF sẽ tạo ra một điện trường thay đổi giữa hai bản điện cực. Vật liệu ẩm vừa có tính điện phân và tính bán dẫn và bên trong vật liệu ẩm luôn tồn tại các ion dương, ion âm, điện tử và các phân tử phân cực. Do đó, khi vật liệu ẩm được đặt giữa hai bản điện cực RF thì điện trường thay đổi giữa hai bản điện cực sẽ tác dụng khiến các ion và các điện tử liên tục đổi chiều chuyển động trong khi các phân tử phân cực liên tục đổi chiều quay. Hiện tượng này đã tiêu tốn một năng lượng nhất định của điện trường sinh ra bởi sóng RF và biến năng lượng này thành nhiệt năng làm cho vật liệu ẩm nóng lên nhanh chóng trên toàn bộ vật liệu.

Cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF là cơ chế gia nhiệt thể tích trên toàn bộ VLS sẽ giúp tăng tốc độ gia nhiệt, nhiệt độ phân bố đều trên toàn bộ thể tích vật liệu giúp cho quá trình khuếch tán ẩm diễn ra nhanh hơn trong quá trình sấy giúp rút ngắn thời gian sấy [1].



Hình 1.2. Dải tần số hoạt động của sóng RF



Hình 1.3: Phân cực lưỡng cực và phân cực điện tích trong điện trường thay đổi của sóng radio

1.3.2. Ứng dụng của sóng radio

1.3.2.1. Ứng dụng sóng radio trong kỹ thuật sấy

Zhou và Avramidis [22] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy gỗ sồi đỏ bằng sấy chân không kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF. Kết quả cho thấy ẩm độ, nhiệt độ, cường độ điện trường và chủng loại gỗ ảnh hưởng rất lớn đến công suất gia nhiệt. Số liệu thực nghiệm cũng đã kiểm chứng đúng công thức tính toán hệ số tổn thất điện môi và độ sâu thẩm thấu năng lượng RF.

Balakrishnan và ctv [23] đã nghiên cứu ứng dụng RF trong sấy các loại da tổng hợp với kết quả cho tốc độ gia nhiệt nhanh và đều trên toàn bộ vật liệu sấy.

Jumah [24] đã nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng lý thuyết quá trình sấy tầng sôi kết hợp RF cho hạt ngũ cốc. Mô hình có thể dự đoán được đường cong sấy và kết quả thực nghiệm cho thấy khi kết hợp với RF, hiệu quả sấy và chất lượng sản phẩm được cải thiện đáng kể.

Yunyang Wang và ctv [25] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy hạt Mắc ca bằng vi sóng và sóng RF. Kết quả cho thấy tốc độ sấy nhanh hơn, nhiệt độ và ẩm độ phân bố đều trên toàn bộ vật liệu sấy.

Piyachat Akaranuchat, Wolfgang Lucke [26] đã nghiên cứu về phương pháp sấy gạo bằng đối lưu không khí nóng kết hợp với sóng RF. Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện với tần số RF là 27.12 MHz và nhiệt độ không khí nóng có giá trị 65^{o}C, 75 ^{o}C và 85^{o}C. Kết quả cho thấy so với sấy đối lưu không khí nóng thì phương pháp kết hợp với gia nhiệt bằng sóng RF giúp tăng tốc độ sấy, chất lượng gạo tốt hơn, ẩm độ giảm nhanh và đều trên toàn bộ vật liệu (có thể đạt tới 14%), tiêu diệt và ngăn ngừa hoàn toàn sự tái sinh của vi khuẩn có hại trong gạo.

Yunyang Wang và ctv [27] đã nghiên cứu về hệ thống sấy quả Hạnh Nhân bằng không khí nóng kết hợp với năng lượng sóng RF (tần số 27.12 MHz, công suất 6 kW). Kết quả cho thấy hiệu suất sấy cao, nhiệt độ sấy ổn định và đều trên toàn bộ vật liệu. Đường cong sấy là đường cong hàm cấp số mũ và thời gian sấy khoảng 360 phút để đạt được ẩm độ là 0,03 kg ẩm/ kg VLK.

Wang và ctv [28] đã thực nghiệm sấy không khí nóng kết hợp sóng RF cho quả Mắc ca với kết quả cho thấy tốc độ gia nhiệt tăng và nhiệt độ được phân bố đều hơn.

Wang và ctv [29] đã có nghiên cứu so sánh hiệu quả sấy của hai phương pháp sấy hạt Mắc ca trong đó sử dụng không khí nóng có kết hợp sóng RF và không kết hợp sóng RF. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi kết hợp với sóng RF sẽ giúp giảm thời gian sấy đến 50% và chất lượng sản phẩm được cải thiện hơn đáng kể.

Jiao và ctv [30] đã thực nghiệm sấy đậu phụng bằng không khí nóng kết hợp sóng RF. Kết quả cho thấy sóng RF giúp tăng hiệu suất sấy, cải thiện được chất lượng và tăng thời gian bảo quản sản phẩm sấy.

Zhou và ctv [31] đã thực nghiệm so sánh ba phương pháp sấy quả óc chó bằng sóng RF, sấy chân không và sấy đối lưu sử dụng không khí nóng. Kết quả cho thấy trong sấy bằng sóng RF, tốc độ gia nhiệt và tốc độ sấy tăng đáng kể so với sấy chân không và sấy đối lưu sử dụng không khí nóng.

1.3.2.2. Ứng dụng sóng radio trong ngành nông nghiệp và gia nhiệt thực phẩm

Kora [32] đã thực nghiệm gia nhiệt bằng sóng RF cho quá trình tiền xử lý bánh ngọt với kết quả cho thấy bánh không bị mất đi màu sắc, mùi vị và không bị cong vênh.

Luechapattanaporn và ctv [33] đã thực nghiệm gia nhiệt bằng sóng RF nhằm diệt khuẩn cho thực phẩm với kết quả cho thấy tốc độ gia nhiệt nhanh và đồng đều trên toàn bộ thể tích vật liệu.

Lagunas và ctv [34] đã thực nghiệm gia nhiệt bằng sóng RF nhằm tiêu diệt côn trùng cho nông sản với hiệu quả lên tới 95% mà vẫn giữ được tính năng hiện hữu của nông sản đặc biệt là các loại củ, quả gieo trồng.

Farag và ctv [35] đã thực nghiệm gia nhiệt rã đông thịt bò bằng sóng RF với kết quả cho thấy sóng RF giúp giảm thời gian rã động đáng kể so với phương pháp truyền thống sử dụng không khí nóng. Tính đồng nhất về cấu trúc và thành phần cấu tạo vật liệu cũng được cải thiện.

Manzocco và ctv [36] đã nghiên cứu phương pháp chần táo sử dụng sóng RF với kết quả cho thấy sóng RF có thể vô hiệu hóa các enzyme oxy hóa một cách hiệu

quả và táo được bảo quản lâu hơn, thơm ngọt hơn. Phương pháp chần sử dụng sóng RF tiết kiệm năng lượng, thời gian và giúp giảm chi phí quản lý chất thải.

Farag và ctv [37] đã so sánh hai phương pháp rã đông thịt sử dụng RF và không khí nóng. Kết quả cho thấy RF giúp giảm thời rã động và chất lượng sản phẩm cao hơn, thịt không bị mất đi các vi lượng dinh dưỡng.

Farag và ctv [38] đã nghiên cứu ứng dụng RF để rã đông thực phẩm đông lạnh với thời gian rã đông giảm đáng kể và vẫn giữ được chất lượng của thực phẩm.

KenWatanabe và ctv [39] đã có nghiên cứu thực nghiệm về tốc độ gia nhiệt bằng sóng RF đối với gỗ thông và gỗ sồi đỏ. Kết quả cho thấy tốc độ gia nhiệt nhanh, tỉ lệ thuận với mật độ năng lượng thẩm thấu và tỉ lệ nghịch với mật độ cấu tạo của từng loại gỗ. Thực nghiệm cũng đã kiểm chứng được phương trình lý thuyết về truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình gia nhiệt.

Llave và ctv [40] đã thực nghiệm gia nhiệt cho cá Thu đông lạnh với kết quả cho thấy thời gian xử lý rút ngắn đáng kể và nhiệt độ phân bố đồng đều hơn so với phương pháp gia nhiệt dùng không khí nóng.

Uyar và ctv [41] đã nghiên cứu lý thuyết mô phỏng kết hợp thực nghiệm quá trình gia nhiệt cho thịt đông lạnh. Kết quả đã xây dựng được mô hình có thể dự đoán được phân bố nhiệt độ bên trong thịt trong suốt quá trình gia nhiệt và kết quả thực nghiệm cho tốc độ gia nhiệt nhanh và đều.

Alfaifi và ctv [42] đã nghiên cứu mô hình mô phỏng để cải thiện tính đồng đều trong gia nhiệt nho khô bằng RF. Kết quả gia nhiệt đồng đều trên toàn bộ thể tích vật liệu và sản phẩm giảm cong vênh.

❖ ***Thảo luận về ứng dụng của sóng RF***

Sóng RF đã được nghiên cứu ứng dụng trong kỹ thuật sấy như sấy gỗ, da tổng hợp, ngũ cốc và các loại củ, quả. Kết quả nghiên cứu cho thấy với cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF giúp tăng tốc độ gia nhiệt và giảm đáng kể thời gian sấy [23, 25 - 27]. Sóng RF cũng được ứng dụng kết hợp với phương pháp sấy khác như sấy tầng sôi và sấy đối lưu không khí nóng. Phương pháp sấy kết hợp sóng RF giúp cải thiện được hiệu quả sấy cũng như hiệu quả vận hành của thiết bị [28 - 31] trong đó thời gian sấy có thể giảm đến 50% [29]. Bên cạnh đó, sóng RF cũng giúp cải thiện

được chất lượng sản phẩm sấy cả về cảm quan và dinh dưỡng đồng thời tăng thời gian bảo quản sản phẩm sấy [24, 26, 29, 30].

Sóng RF cũng được nghiên cứu ứng dụng trong ngành nông nghiệp và gia nhiệt thực phẩm như xử lý nhiệt cho bánh ngọt [32], gia nhiệt rã động và diệt khuẩn cho thực phẩm [33, 35, 37, 38, 40, 41], tiêu diệt côn trùng cho nông sản [34]. Kết quả cho thấy cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF giúp tốc độ gia nhiệt nhanh và đồng đều trên toàn bộ thể tích vật liệu. Sản phẩm vẫn giữ được màu sắc mùi vị và các thành phần chất dinh dưỡng.

1.4. Tổng quan về công nghệ làm khô nấm linh chi ở Việt Nam và trên thế giới

1.4.1. Công nghệ làm khô nấm linh chi trên thế giới

Quá trình làm khô nấm linh chi là một quá trình kỹ thuật rất quan trọng, nó có ý nghĩa quyết định đến giá trị dinh dưỡng và cảm quan của nấm linh chi. Ngày nay, trên thế giới thường áp dụng các phương pháp làm khô phổ biến như phương pháp phơi nắng và phương pháp sấy đối lưu sử dụng không khí nóng. Trong đó, phương pháp sấy đối lưu sử dụng không khí nóng ngày càng được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong các cơ sở nuôi trồng và sản xuất nấm linh chi.

Wei Cui và ctv [43] đã nghiên cứu thực nghiệm so sánh sấy nấm linh Chi theo phương pháp sấy đối lưu không khí nóng, sấy chân không và sấy chân không kết hợp vi sóng. Kết quả cho thấy phương pháp tốt nhất cả về thời gian sấy và chất lượng sản phẩm sấy là sấy chân không kết hợp vi sóng. Sản phẩm sấy đạt ẩm độ đến 10% và vẫn giữ được màu sắc mùi vị của nấm.

Christina Vimala Supramaniam và Arun S. Mujumdar [44] đã nghiên cứu về các chế độ sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy đối lưu không khí nóng tuần hoàn. Kết quả cho thấy sấy ở nhiệt độ 60^0C là tốt nhất và đảm bảo được cấu trúc bề mặt nấm đồng thời bảo toàn được lượng dược chất cao nhất đối với các chất như: Polysaccharides, Triterpenoids, Nucleosides và các chất vi sinh khác.

Chin và ctv [45] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng bốn phương pháp: sấy đối lưu không khí nóng, sấy lạnh, sấy chân không và sấy bơm nhiệt. Kết quả cho thấy sấy bơm nhiệt tại nhiệt độ 30^oC duy trì được 88,5% hàm lượng Polysaccharide

và rút ngắn được thời gian sấy đáng kể so với sấy lạnh và sấy chân không. Sấy đối lưu không khí nóng chỉ duy trì được 82% hàm lượng Polysaccharide.

Liuping Fan và ctv [46] đã có nghiên cứu thực nghiệm về sấy nấm linh chi bằng ba phương pháp sấy bằng không khí nóng, sấy chân không và sấy lạnh chân không. Kết quả cho thấy phương pháp sấy lạnh chân không là hiệu quả nhất trong đó nấm linh chi vẫn giữ được các hoạt chất dược tính quan trong như Polysaccharide, hydroxyle và peoxide.

Chin và ctv [47] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy đối lưu không khí nóng với nhiệt độ trong khoảng từ 40 – 80^{o}C, TNS tuần hoàn với vận tốc từ 0,19 – 1,66 m/s, bề dày nấm thái lát từ 0,1 – 0,5 cm. Kết quả thực nghiệm cho thấy chế độ sấy để đạt thời gian sấy thấp nhất và bảo toàn được lượng cao nhất đối với các dược chất như axit Ganoderic và Polysaccharies là sấy với nhiệt độ TNS nằm trong dải từ 50 - 65^{o}C, vận tốc TNS 1,66 m/s, bề dày vật liệu là 0,1 cm.

Bai và ctv [48] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng không khí nóng ở nhiệt độ trong khoảng 55 - 70°C. Kết quả cho thấy hàm lượng Polysaccharide tăng khi nhiệt độ tăng từ 55 - 65°C và giảm khi nhiệt độ đạt trên 65 - 70°C.

Chin và ctv [49] đã nghiên cứu thực nghiệm về phương pháp sấy nấm linh chi quả thể và thái lát theo phương pháp sấy hai giai đoạn (giai đoạn đầu sấy chân không và giai đoạn tiếp theo là sấy bơm nhiệt). Phương pháp sấy hai giai đoạn giúp cải thiện được quá trình động học sấy, cũng như việc bảo toàn cả hai loại dược chất axit Ganoderic và Polysaccharides đồng thời giúp tăng tốc độ sấy, rút ngắn tổng thời gian sấy đáng kể so với phương pháp sấy một giai đoạn.

Hayati và và ctv [50] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng phơi nắng, phơi nắng có che màn đen, phơi trong bóng râm, sấy đối lưu và sấy đối lưu không khí nóng tuần hoàn. Kết quả cho thấy sấy đối lưu không khí nóng tuần hoàn ở nhiệt độ 50°C và vận tốc TNS 1.65 m/s cho kết quả hàm lượng Polysaccharides là cao nhất.

Prasetyo và ctv [51] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng đối lưu không khí nóng tuần hoàn tại mức nhiệt độ sấy từ 40 - 70°C và vận tốc TNS từ 1,0 - 1,8 m/s. Kết quả cho thấy sấy ở nhiệt độ 50°C và vận tốc TNS 1,3 m/s là phù hợp nhất để

duy trì hàm lượng Polysaccharides, tại nhiệt độ sấy 40°C sẽ kéo dài thời gian sấy và làm giảm hàm lượng Polysaccharides. Tại nhiệt độ 70°C có thể rút ngắn thời gian sấy nhưng lại làm giảm hàm lượng Polysaccharide do ảnh hưởng của nhiệt độ cao.

Trung Quốc là một trong những quốc gia đi đầu về nuôi trồng, bảo quản và chế biến nấm linh chi. Rất nhiều cơ sở nuôi trồng và chế biến nấm linh chi ở Trung Quốc sử dụng các phương pháp sấy bằng thiết bị sấy đối lưu không khí nóng và phương pháp phơi nắng để làm khô nấm linh chi.

Hình 1.4. Nấm linh chi được phơi nắng và sấy bằng tủ sấy đối lưu không khí nóng tại một số nơi ở Trung Quốc

Tại Hàn Quốc, nấm linh chi sau khi thu hoạch chủ yếu được làm khô theo phương pháp sấy đối lưu bằng không khí nóng với các khay sấy bố trí thành nhiều tầng bên trong khoang sấy.

Hình 1.5. Tủ sấy nấm linh chi tại Hàn Quốc

Tại một số nước châu Âu, nấm linh chi sau khi thu hoạch vẫn được phơi khô hoặc làm khô bằng thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời và sấy thăng hoa.

Hình 1.6. Nấm linh chi được làm khô bằng thiết bị tận dụng năng lượng mặt trời và sấy thăng hoa tại CHLB Đức

1.4.2. Công nghệ làm khô nấm linh chi ở Việt Nam

Ở nước ta, tại các cơ sở nuôi trồng nhỏ lẻ hộ gia đình thậm chí các cơ sở vừa và lớn vẫn thường sử dụng phương pháp làm khô truyền thống là phơi nắng để bảo quản nấm linh chi. Hiện nay phương pháp sấy đối lưu sử dụng không khí nóng cũng đã nhanh chóng được ưa chuộng và sử dụng khá rông rãi trong nước vì một số ưu điểm của nó là chi phí không cao, dễ vận hành, thời gian sấy nhanh.

Hình 1.7. Nấm linh chi được phơi nắng ngoài trời tại Việt Nam

Quá trình làm khô nấm tại Sở khoa học và công nghệ Bến Tre như sau: sau khi thu hoạch nấm linh chi, phần cuống nấm sẽ được cắt bỏ lẫn tạp chất và tiến hành phơi khô dưới nắng từ 2 - 3 nắng để bảo quản. Đối với phương pháp phơi nắng có thể phơi số lượng lớn cho độ ẩm của nấm khô đạt 13%.

Hình 1.8. Nấm linh chi được phơi khô tại Trung tâm Ứng dụng Tiến bộ Khoa học và Công nghệ Bến Tre

Trung tâm Công nghệ sinh học Thực vật, Viện Di truyền Nông nghiệp tiến hành làm khô nấm linh chi bằng hai phương pháp chính như: i) phương pháp phơi khô với nấm linh chi được thái lát mỏng hoặc để nguyên rồi đem nấm trải một lớp mỏng trên các vật liệu thông thoáng (lưới, tre mành, tấm phên thoáng) hay trực tiếp trên nền sân (bê tông, gạch). Nếu trời mưa thì dùng quạt thổi trực tiếp vào lớp nấm tươi. ii) phương pháp sấy bằng thiết bị sấy đối lưu sử dụng không khí nóng. Thời gian sấy khô theo phương pháp này kéo dài tối đa khoảng 14 giờ; nấm linh chi khô đạt độ ẩm khoảng 12%.

Quy trình này đã được chuyển giao cho Trung tâm Chuyển giao công nghệ và Kiểm định, Kiểm nghiệm, Sở Khoa học và Công nghệ Thừa Thiên Huế và đã tập huấn cho 5 xã thuộc huyện Phú Vang.

Tại công ty Trách nhiệm hữu hạn Sài Gòn Linh Chi (SAGO) Quận Tân Bình, TP.HCM, quả thể nấm sau khi thu hoạch được vệ sinh sạch sẽ và sấy đối lưu không khí nóng ở nhiệt độ 50 – 60^0C. Yêu cầu độ ẩm của nấm khô đạt 13%.

Viện Nghiên cứu Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm TP HCM thực hiện sấy nấm linh chi bằng tủ sấy đối lưu, sử dụng nhiệt điện trở, nhiệt độ sấy khoảng 50 – 55^oC, thời gian sấy khoảng 12 – 14h.

Hình 1.9. Máy sấy nấm linh chi theo phương pháp sấy đối lưu tại Viện Nghiên cứu Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm TP HCM.

Nguyễn Hay và công sự (Trường Đại học Nông Lâm TP HCM, 2013) đã tiến hành thực nghiệm nhằm khảo sát về kết quả sấy nấm linh chi dựa trên 3 phương pháp là phơi nắng, sấy bằng không khí nóng và sấy bơm nhiệt. Kết quả nghiên cứu cho thấy sấy bơm nhiệt đạt được thời gian sấy ngắn hơn đáng kể so với phương pháp phơi nắng và sấy đối lưu bằng không khí nóng. Nấm linh chi sau khi sấy bằng bơm nhiệt vẫn giữ được màu sắc, mùi vị đặc trưng của nấm. Trong khi đó, sấy bằng không khí nóng và phơi nắng khiến màu sắc nấm bị biến đổi nhạt đi.

Hiện nay trên thị trường có xuất hiện rất nhiều các thiết bị sấy nấm linh chi ứng dụng phương pháp sấy đối lưu bằng không khí nóng, vật liệu sấy được bố trí trên các khay, nhiệt độ sấy có thể điều chỉnh theo yêu cầu.

Hình 1.10. Một số thiết bị sấy nấm linh chi trên thị trường tại Việt Nam

1.5. Thảo luận và đề xuất phương án sấy nấm linh chi

Các kết quả nghiên cứu về ứng dụng phương pháp sấy bơm nhiệt vào kỹ thuật sấy nông sản, thực phẩm cho thấy sấy bằng bơm nhiệt với nhiệt độ TNS thấp giúp giữ được thành phần chất dinh dưỡng, đặc tính lý hóa cũng như màu sắc mùi vị của sản phẩm sấy [5, 7, 8, 10, 13 - 15]. Sấy bơm nhiệt cũng đạt hiệu quả sấy cao cả về tốc độ sấy và khả năng tiết kiệm điện năng tiêu thụ [4, 6, 8, 9, 11, 12]. Bên cạnh đó, khi kết hợp sấy bơm nhiệt với một số phương pháp sấy khác cũng đã đạt được hiệu quả sấy cao đồng thời giúp nâng cao chất lương sản phẩm sấy cả về dinh dưỡng và cảm quan [16 - 20]. Phương pháp sấy bơm nhiệt cũng được nghiên cứu và ứng dụng cho sấy nấm linh chi với kết quả cho thấy sấy bơm nhiệt giúp rút ngắn thời gian sấy và duy trì được hàm lượng cao Polysaccharide trong nấm [45].

Công nghệ gia nhiệt bằng sóng RF đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong công nghệ thực phẩm và kỹ thuật sấy. Trong đó, các kết quả nghiên cứu cho thấy với cơ chế gia nhiệt thể tích, sóng RF giúp tốc độ gia nhiệt nhanh và đều trên toàn bộ thể tích vật liệu sấy. Sấy bằng sóng RF giúp giảm thời gian sấy và nâng cao chất lượng sản phẩm sấy cả về dinh dưỡng và cảm quan [22 - 42].

Nấm linh chi là một loại dược phẩm chứa một lượng đáng kể các dược chất như Polysaccharides, Tannin, Triterpenoid, Steroid, Saponin… Trong đó, Polysaccharides là nhóm chất quý và quan trọng nhất với tính năng bồi bổ sức khỏe, tăng cường hệ miễn dịch, chống khối u, chống viêm, chống virus, chống ung thư và kháng HIV [52]. Tuy nhiên, Polysaccharides là dược chất rất nhạy nhiệt, có thể bị suy giảm hay bị mất đi khi tiếp xúc với các tác nhân nhiệt độ cao hoặc tiếp xúc lâu với nhiệt độ trong quá trình sấy. Vì vậy, dược chất Polysaccharides cần được lưu ý trong quá trình sấy nấm linh chi. Khi sấy cần phải lưu ý đến các thông số đầu vào của quá trình sấy sao cho phù hợp để duy trì tốt nhất dược chất trong nấm. Đã có nhiều nghiên cứu về phương pháp sấy và chế độ sấy nhằm duy trì tốt nhất hàm lượng Polysaccharides trong nấm linh chi với kết quả cho thấy các mức giá trị thông số đầu vào phù hợp giúp giảm thời gian sấy mà vẫn duy trì hàm lượng Polysaccharides là tại mức nhiệt độ TNS trong khoảng từ 45 - 65^{o}C và vận tốc TNS trong khoảng từ 1,3 - 1,65 m/s [47, 48, 50, 51]. Vậy, để duy trì được hàm lượng cao

các dược chất trong nấm linh chi mà cụ thể là Polysaccharide thì cần phải sấy tại nhiệt độ thấp. Tuy nhiên, khi sấy ở nhiệt độ thấp thì thời gian sấy sẽ kéo dài. Bên cạnh đó, nấm linh chi là loại vật liệu có hàm lượng nước cao, hệ số dẫn nhiệt thấp nên trong quá trình sấy đối lưu sẽ có khả năng truyền nhiệt không hiệu quả. Vì vậy, phương pháp sấy phù hợp là phải sấy ở nhiệt độ thấp nhằm giữ được các dược chất nhưng phải có biện pháp để tăng tốc độ sấy. Vấn đề này có thể giải quyết được bằng cách kết hợp gia nhiệt ứng dụng các phương pháp khác như gia nhiệt bằng sóng RF.

Dựa trên cơ sở về đặc tính và yêu cầu đối với sản phẩm sấy nấm linh chi, cơ chế sấy bơm nhiệt và cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF, phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF có thể coi là phù hợp với những luận điểm phân tích sau:

i) Tiêu chí quan trọng của sản phẩm nấm linh chi:

- Chất lượng dinh dưỡng: hàm lượng dược chất bên trong nấm.
- Chất lượng cảm quan: màu sắc, mùi vị đặc trưng của nấm và thẩm mỹ bề mặt của nấm giảm thiểu bị cong vênh.

ii) Đặc tính của phương pháp sấy bơm nhiệt:

- Nhiệt độ TNS thấp giúp:

+ Bảo toàn được hàm lượng các dược chất nhạy nhiệt trong nấm linh chi

+ Duy trì được màu sắc mùi vị đặc trưng của nấm

iii) Đặc tính của phương pháp sấy bằng sóng RF:

- Cơ chế gia nhiệt thể tích bên trong lòng VLS giúp:

+ Tốc độ gia nhiệt nhanh, gradient nhiệt độ và gradient ẩm cùng chiều nên thuận lợi cho quá trình khuếch tán ẩm giúp tăng tốc độ sấy.

+ Khi thời gian sấy được rút ngắn sẽ giảm thời gian tiếp xúc của các dược chất nhạy nhiệt với nhiệt độ giúp bảo toàn được hàm lượng các dược chất trong nấm.

+ Nhiệt độ và ẩm độ phân bố đồng đều trong toàn bộ thể tích VLS giúp giảm thiểu cong vênh bề mặt sản phẩm sấy.

Trên thế giới và tại Việt Nam, thực trạng tại các cơ sở nuôi trồng nhỏ lẻ hộ gia đình thậm chí các cơ sở vừa và lớn vẫn thường sử dụng phương pháp làm khô truyền thống là phơi nắng để bảo quản nấm linh chi. Phương pháp này có thể phơi

với số lượng nhiều tuy nhiên vấn đề về vệ sinh thực phẩm kém, chất lượng sản phẩm giảm cả về dinh dưỡng và cảm quan. Hiện nay phương pháp sấy đối lưu sử dụng không khí nóng cũng đã nhanh chóng được ưa chuộng và sử dụng khá rông rãi vì một số ưu điểm của nó là chi phí không cao, dễ vận hành, thời gian sấy nhanh hơn. Tuy nhiên sấy bằng không khí nóng với nhiệt độ TNS cao sẽ làm mất đi dược chất của nấm, bề mặt nấm dễ bị cong vênh và không giữ được màu sắc của nấm.

Trên thế giới vẫn chưa có nghiên cứu nào về phương pháp sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF. Luận án lựa chọn phương pháp sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF để thực hiện nghiên cứu kỹ thuật sấy nấm linh chi tại Việt Nam. Trong đó, mô hình toán mô tả quá trình truyền nhiệt truyền chất trong quá trình sấy được xây dựng. Thực nghiệm sấy được tiến hành nhằm kiểm chứng mô hình toán lý thuyết và xác định chế độ sấy phù hợp cho nấm linh chi với hai tiêu chí đầu ra là thời gian sấy và chất lượng sản phẩm sấy nấm linh chi.

1.6. Lý thuyết truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy

1.6.1. Quy luật dịch chuyển nhiệt - ẩm trong lòng vật liệu sấy

Trong quá trình sấy, các dòng dịch chuyển nhiệt - ẩm trong vật liệu sấy diễn ra rất phức tạp. Quá trình dẫn nhiệt và khuếch tán ẩm cho dù được xem xét riêng rẽ hay liên hợp thì quá trình sấy luôn là quá trình không thuận nghịch [53, 54]. Hệ phương trình dẫn nhiệt và khuếch tán tổng quát sử dụng quan hệ tuyến tính Onzager như trên hệ phương trình (1.1) [54, 55].

$$\begin{cases} J_1 = L_{11}\nabla\left(\frac{1}{t}\right) - L_{12}\nabla\left(\frac{1}{\theta}\right) = -\frac{L_{11}}{t^2}\nabla t - \frac{L_{12}}{\theta^2}\nabla\theta \\ J_2 = L_{21}\nabla\left(\frac{1}{t}\right) - L_{22}\nabla\left(\frac{1}{\theta}\right) = -\frac{L_{21}}{t^2}\nabla t - \frac{L_{22}}{\theta^2}\nabla\theta \end{cases} \quad (1.1)$$

Với J_1, J_2 lần lượt là dòng nhiệt và dòng ẩm, các hệ số hiện tượng L_{mn} (với m, n = 1,2) là các hệ số có quan hệ ràng buộc với nhau theo kiểu biểu thức đối xứng: $L_{12} = L_{21}$.

Theo định luật nhiệt động hai thì ảnh hưởng của L_{12}, L_{21} chỉ là ảnh hưởng phụ đến quá trình truyền nhiệt và khuếch tán ẩm do: $L_{12}\, L_{21} < L_{11}\, L_{22}$.

Nếu coi dẫn nhiệt và khuếch tán là riêng rẽ nhau, khí đó $L_{12} = L_{21} = 0$ thì từ hệ phương trình (1.1) rút ra được định luật Fourier về dẫn nhiệt và định luật Fick về khuếch tán như trong phương trình (1.2) và (1.3).

$$J_1 = -\frac{L_{11}}{t^2}\nabla t = -\lambda \text{grad} t \tag{1.2}$$

$$J_2 = -\frac{L_{22}}{\theta^2}\nabla \theta = -\lambda \text{grad}\theta \tag{1.3}$$

1.6.2. Mô hình toán về truyền nhiệt truyền ẩm

Trong quá trình sấy bằng TNS là không khí, dịch chuyển ẩm trong VLS do dòng nhiệt từ TNS tác động vào bao gồm quá trình khuếch tán ẩm từ trong lòng ra bề mặt của VLS và quá trình thoát hơi ẩm từ bề mặt vào môi trường TNS. Hệ phương trình viết cho hiện tượng này với điều kiện không có nguồn sinh ẩm, không có nguồn sinh nhiệt, không có phản ứng hóa học trong lòng VLS, ảnh hưởng của áp suất toàn phần viết cho tấm phẳng có dạng như trong hệ (1.4) [53 - 55].

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a_{11}\nabla^2 t + a_{12}\nabla^2 M \\ \frac{\partial M}{\partial \tau} = a_{21}\nabla^2 t + a_{22}\nabla^2 M \end{cases} \tag{1.4}$$

Trong đó, $a_{11} = \frac{D\delta\varepsilon r}{C}$; $a_{12} = \frac{D\varepsilon r}{C}$; $a_{21} = D\delta$; $a_{22} = D$

Với $D, \delta, \varepsilon, a, r$ lần lượt là hệ số khuếch tán ẩm, hệ số gradient nhiệt độ, tiêu chuẩn biến pha, hệ số khuếch tán nhiệt và ẩn nhiệt hóa hơi của nước.

Mô hình truyền nhiệt truyền ẩm với hệ phương trình (1.4) được A.V Luikov [55] giải với các loại điều kiện biên khác nhau. Tuy nhiên mô hình (1.4) đã bỏ qua thông số nguồn sinh nhiệt bên trong lòng vật liệu sấy. Mà trong nghiên cứu của luận án thì phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp với gia nhiệt bằng sóng RF thì ngoài sự tương tác giữa VLS với TNS thì đồng thời VLS đặt trong điện trường của sóng RF sẽ được gia nhiệt thể tích, tức có nguồn sinh nhiệt bên trong VLS. Nguồn sinh nhiệt đó được thể hiện bởi công suất gia nhiệt của bộ phát sóng RF, q_{RF} (W/m^3).

Francesco Marra [56] đã nghiên cứu về công nghệ sấy thực phẩm bằng phương pháp sấy đối lưu kết hợp gia nhiệt bằng RF. Ciprian Lazarescu và Stavros Avramidis [57] đã có nghiên cứu về động học sấy bằng RF cho gỗ mềm xốp. Chen và ctv [58] đã có nghiên cứu mô phỏng quá trình sấy đối lưu kết hợp gia nhiệt bằng

RF cho lúa mì. Trong đó, các tác giả đã chỉ ra rằng quá trình truyền nhiệt bao gồm trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt VLS và TNS, dẫn nhiệt trong lòng VLS và nguồn sinh nhiệt bên trong VLS là công suất gia nhiệt của bộ phát RF. Các tác giả đã sử dụng phương trình truyền nhiệt cho quá trình sấy là: $\rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda(\nabla^2 t) + q_{RF}$ (Với q_{RF}, W/m^3 là công suất gia nhiệt của sóng RF).

Shunshan Jiao [59] đã nghiên cứu mô hình mô phỏng bằng phần mềm quá trình gia nhiệt bằng RF kết hợp trao đổi nhiệt đối lưu cho hạt lúa mì. Tác giả đã sử dụng phương trình truyền nhiệt của Uyar và cộng sự [60, 61] với sự kết hợp giữa phương trình truyền nhiệt Fuorier và phương trình điện trường với trao đổi nhiệt tại bề mặt là trao đổi nhiệt đối lưu với không khí nóng. Trong đó, phương trình truyền nhiệt có dạng: $\rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda(\nabla^2 t) + q_{RF}$

Ahmet Kaya [62] đã nghiên cứu giải bài toán truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy đối lưu sử dụng không khí nóng kết hợp sóng RF bằng phương pháp sai phân hữu hạn. Tác giả đã sử dụng phương trình vi phần truyền nhiệt và truyền ẩm như sau:

$$\rho C_p . \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda(\nabla^2 t) + q_{RF} \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial M}{\partial \tau} = D\nabla^2 M \quad (1.6)$$

Có rất nhiều kết quả nghiên cứu về mô hình toán về truyền nhiệt trong quá trình gia nhiệt bằng sóng RF đã được công bố như: Rahmi Uyar và ctv [60] đã nghiên cứu về ảnh hưởng của thể tích vật liệu sấy là thịt dạng khối lập phương đối với quá trình sấy bằng sóng RF; Rahmi Uyar và ctv [61] đã nghiên cứu về mô phỏng quá trình gia nhiệt thực phẩm dạng khối bằng sóng RF nhằm phân tích ảnh hưởng của các thông số hình học trong quá trình gia nhiệt; Jian Wang và ctv [63] đã có nghiên cứu về quá trình gia nhiệt trong sấy thực phẩm không đồng nhất bằng sóng RF; Yang Jiao và ctv [65] đã nghiên cứu về cải thiện độ đồng đều trong gia nhiệt đối với thực phẩm bằng sóng RF nhằm kiểm soát mầm bệnh; Bandar Alfaifi và ctv [66] đã nghiên cứu về mô phỏng nhằm quá trình gia nhiệt trong sấy trái cây bằng sóng RF nhằm kiểm soát sâu hại; Zhi Huang và ctv [67] đã nghiên cứu thực

nghiệm nhằm cải thiện mức độ đồng đều trong gia nhiệt bằng sóng RF cho đậu nành; Zhi Huang và ctv [68] đã nghiên cứu về độ đồng đều trong gia nhiệt đối với thực phẩm bằng sóng RF sử dụng phương pháp mô phỏng bằng máy tính; Ferruh Erdogdu và ctv [69] đã nghiên cứu thiết kế điều kiện làm việc tối ưu của quá trình gia nhiệt thực phẩm bằng sóng RF trong công nghiệp; Jiajia Chen và ctv [70] đã nghiên cứu mô hình truyền nhiệt trong sấy thực phẩm bằng sóng RF sử dụng băng tải chuyển động; Hankun Zhu và ctv [71] đã nghiên cứu về độ đồng đều trong gia nhiệt bằng RF kết hợp sấy đối lưu cho khoai tây. Các tác giả đã thiết lập phương trình truyền nhiệt trong vật liệu như phương trình: $\rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda(\nabla^2 t) + q_{RF}$

Trong các kết quả nghiên cứu về sấy nông sản, thực phẩm, rau, củ, quả sử dụng công nghệ gia nhiệt bằng sóng RF thì hầu hết là sấy đối lưu dùng không khí nóng kết hợp với gia nhiệt bằng sóng RF. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng cơ chế truyền nhiệt bao gồm trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt vật liệu và tác nhân sấy, dẫn nhiệt trong lòng VLS và nhiệt sinh ra trong lòng VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF. Trong các phương trình truyền nhiệt không xét đến ảnh hưởng của dòng khuếch tán ẩm đến dòng nhiệt. Trong khi đó, cơ chế chính của quá trình sấy là cung cấp nhiệt lượng để ẩm trong vật liệu chuyển hóa thành hơi khuếch tán ra ngoài bề mặt vật liệu và trao đổi ẩm với môi trường TNS. Hơn nữa, cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF là gia nhiệt thể tích trong lòng VLS với công suất gia nhiệt thay đổi liên tục theo ẩm độ VLS trong suốt quá trình sấy. Điều này chứng tỏ quá trình khuếch tán ẩm ảnh hưởng rất lớn đến quá trình truyền nhiệt. Vì vậy trong luận án, phương trình truyền nhiệt trong quá trình sấy nấm linh chi theo nguyên lý bơm nhiệt kết hợp sóng RF sẽ được thiết lập trong đó ảnh hưởng của khuếch tán ẩm đến truyền nhiệt được xét đến và ảnh hưởng này được thể hiện ở thành phần nhiệt lượng cần thiết để ẩm trong VLS hóa hơi.

Đối với quá trình truyền ẩm trong sấy nông sản thực phẩm dùng công nghệ gia nhiệt bằng sóng RF thì hầu hết các tác giả đều giả thiết là ảnh hưởng của dòng nhiệt đến khuếch tán ẩm là không đáng kể.

1.7. Kết luận chương 1

Dựa trên kết quả nghiên cứu tổng quan, kỹ thuật sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được lựa chọn nghiên cứu trong luận án. Trong đó, nội dung nghiên cứu chính cần thực hiện như sau:

- Nghiên cứu lý thuyết TNTA trong quá trình sấy dựa trên việc xây dựng và giải HPT TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Thực nghiệm sấy nấm linh chi nhằm kiểm chứng lý thuyết và xác định chế độ sấy phù hợp cho nấm linh chi nhằm đạt được yêu cầu về chất lượng của sản phẩm sấy nấm linh chi.

CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Nấm linh chi sử dụng trong nghiên cứu là loại nấm linh chi đỏ (Ganoderma Lucidum). Đây là loại nấm linh chi được nuôi trồng rất phổ biến tại Việt Nam và trên thế giới. Nấm được chọn sử dụng cho thực nghiệm trồng tại trại nấm Đông Thành, Thị xã Tân Uyên, Bình Dương, sau 120 ngày thì thu hoạch có màu đỏ nâu óng với đường kính mũ nấm đạt từ 120 - 150 mm, bề dày trung bình 15 mm. Nấm tươi sau khi thu hoạch có độ chứa ẩm TB là 3 ± 0,05 (kg Â/ kg VLK).

Hình 2.1. Nấm linh chi đỏ sử dụng cho thực nghiệm

Nấm linh chi được lau sạch bụi bằng khăn giấy khô. Các mẫu nấm được bảo quản trong bịch nylon kín ở điều kiện 8^{o}C trong tủ lạnh khoảng 3 - 5 ngày để ẩm độ phân bố đồng đều trên toàn bộ thể tích mẫu nấm. Trước khi tiến hành thực nghiệm, các mẫu nấm được lấy ra để trong môi trường phòng thí nghiệm cho tới khi đạt nhiệt độ phòng thí nghiệm. Phương pháp bảo quản này đã được các tác giả trước đây thực hiện để bảo quản vật liệu sấy trước khi tiến hành thực nghiệm sấy [72, 73].

Khối lượng nấm linh chi cho mỗi mẻ sấy là 2 kg.

Công suất của máy sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF được thiết kế và chế tạo có thể sấy thực nghiệm với khối lượng nấm nhiều hơn 2 kg [74]. Tuy nhiên, việc thực nghiệm sấy nấm nhằm mục đích thu thập dữ liệu thực nghiệm về thời gian sấy, ẩm độ và nhiệt độ VLS phục vụ cho việc nghiên cứu quá trình TNTA cũng như phân

tích, đánh giá và so sánh về hiệu quả sấy đối với các chế độ sấy khác nhau. Do đó, buồng sấy được chế tạo nhỏ gọn lại và công suất bộ phát cũng được hiệu chỉnh cho phù hợp trong quá trình thực nghiệm sấy. Luận án chọn khối lượng nấm là 2 kg/mẻ.

Nấm được xếp đầy vào trong khay có cấu tạo dạng lưới với kích thước 750×650×5 mm và được cho vào buồng sấy giữa hai bản điện cực RF cách nhau 15 cm và thực hiện quá trình sấy với giá trị các thông số đầu vào như nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và công suất bộ phát RF được xác định.

2.2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

2.2.1. Phương pháp xây dựng hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm

Quá trình TNTA được nghiên cứu nhằm thiết lập HPT TNTA dựa trên cơ chế sấy bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF. Trong đó, TNS sau khi đi qua hệ thống bơm nhiệt được trao đổi nhiệt - ẩm đối lưu với VLS trong buồng sấy. Cùng lúc đó, sóng RF sẽ kết hợp gia nhiệt cho VLS với cơ chế gia nhiệt thể tích trong lòng VLS. Do đó, quá trình truyền nhiệt có xét đến nguồn sinh nhiệt bên trong VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF. Nguồn sinh nhiệt này được đặc trưng bởi thông số công suất gia nhiệt, q_{RF} (W/m^3) thay đổi liên tục theo ẩm độ VLS trong suốt quá trình sấy.

Quá trình TNTA xem như là quá trình truyền nhiệt truyền ẩm đối với tấm phẳng và là một chiều có xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt.

Như vậy, bài toán TNTA được xây dựng căn cứ vào lý thuyết TNTA cơ bản ứng dụng trong kỹ thuật sấy, cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF đối với VLA và mô hình vật lý quá trình sấy nấm Linh chi bằng đối lưu kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF.

2.2.2. Lý thuyết giải hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm

Hệ phương trình TNTA được giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn. Phương pháp sai phân hữu hạn dựa trên cơ sở của việc biến đổi gần đúng các đạo hàm riêng của phương trình vi phân thành thương của các số gia tương ứng. Một mạng lưới chia miền nghiệm trong vật thể thành một số hữu hạn các điểm nút được tạo thành bởi các họ đường song song với các trục tọa độ. Từ đó, việc xác định giá

trị nhiệt độ và ẩm độ của các phần tử tại nút được thực hiện thay cho việc tính nhiệt độ và ẩm độ trên toàn miền. Trong luận án, dựa trên cơ sở của phương pháp sai phân hữu hạn, thuật toán giải hệ phương trình được lập trình trên máy tính sử dụng phần mềm Matlab. Trong phạm vi bài toán truyền nhiệt và truyền ẩm được đề xuất, chương trình Heattransfer được phát triển trên nền Matlab để giải quyết bài toán TNTA. Trong hàm Heattransfer, bài toán TNTA được giải dựa trên hàm pdepe được điều chỉnh và phát triển bổ sung thêm.

Nghiệm của hệ phương trình TNTA được sử dụng để so sánh, đánh giá và kết luận về các vấn đề liên quan đến động học quá trình sấy như ảnh hưởng của các thông số đầu vào (nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và công suất bộ phát sóng RF) đến sự thay đổi nhiệt độ và ẩm độ của VLS trong quá trình sấy.

2.2.3. Nghiên cứu các thông số nhiệt - vật lý của tác nhân sấy và vật liệu sấy

Để phục vụ cho giải hệ phương trình TNTA thì các thông số nhiệt - vật lý của TNS và VLS cần được xác định.

2.2.3.1. Xác định các thông số nhiệt - vật lý của tác nhân sấy

Các thông số nhiệt - vật lý của TNS đã được nhiều tác giả nghiên cứu và thiết lập công thức tính nhằm xác định giá trị các thông số theo hàm phụ thuộc vào nhiệt độ trong quá trình sấy. Trong luận án, thông số khối lượng riêng $\rho_{kkâ}$, hệ số nhớt động lực $\mu_{kkâ}$, hệ số dẫn nhiệt $\lambda_{kkâ}$, nhiệt dung riêng $C_{p,kkâ}$ được xác định bằng công thức tính theo Białobrzewski [75]. Hệ số khuếch tán hơi ẩm vào không khí $D_{â}$ được xác định bằng công thức tính theo Cegel [76].

2.2.3.2. Xác định các thông số nhiệt - vật lý của vật liệu sấy

a. Khối lượng riêng của vật liệu sấy

Một số tác giả đã công bố kết quả nghiên cứu về khối lượng riêng của các loại nông sản như táo, chuối, cà rốt, khoai tây, nấm mỡ, thơm và xoài [77 - 81]. Trong đó, khối lượng riêng của vật liệu là hàm phụ thuộc vào ẩm độ của vật liệu và có giá trị tăng khi ẩm độ tăng. Trong quá trình thực nghiệm xác định khối lượng riêng của vật liệu, phương pháp thể tích thế chỗ sử dụng dung môi là Toluen dựa trên định luật Archimedes đã được các tác giả thực hiện [79, 81] vì phương pháp này không phức tạp và dung môi Toluen không phản ứng hóa học với các hợp chất cấu thành

vật liệu và có tỉ trọng thấp nên vật liệu có thể chìm hoàn toàn trong dung môi trong quá trình thực nghiệm. Trong luận án, phương pháp thể tích thế chỗ sử dụng dung môi Toluen được sử dụng để xác định khối lượng riêng của nấm linh chi.

b. Nhiệt dung riêng của vật liệu sấy

Nhiệt dung riêng của vật liệu đã được nhiều tác giả nghiên cứu cho các loại nông sản thực phẩm như hạt cây thìa là, hạt bơ, hạt ngũ cốc và hạt quả hồ trăn với kết quả cho thấy nhiệt dung riêng phụ thuộc vào ẩm độ của vật liệu và có giá trị tăng khi ẩm độ tăng [82 - 86]. Một trong những phương pháp thực nghiệm được các tác giả sử dụng để xác định nhiệt dung riêng của vật liệu tương đối đơn giản, chính xác là phương pháp hòa trộn hỗn hợp sử dụng nhiệt lượng kế [82, 84, 85]. Trong luận án, phương pháp hòa trộn hỗn hợp sử dụng nhiệt lượng kế được sử dụng để xác định nhiệt dung riêng của nấm linh chi.

c. Ẩm độ cân bằng của vật liệu

Ẩm hấp thụ đẳng nhiệt mô tả mối quan hệ cân bằng giữa ẩm độ tương đối của môi trường và ẩm độ của vật liệu tại điều kiện đẳng nhiệt, đẳng áp [86]. Lý thuyết về mối quan hệ giữa ẩm độ cân bằng của vật liệu và ẩm độ tương đối của môi trường là rất cần thiết trong thiết kế và tối ưu hóa quá trình sấy cũng như việc lựa chọn phương pháp bảo quản sản phẩm sấy phù hợp [87, 88]. Một số mô hình toán về mối quan hệ giữa ẩm độ cân bằng của vật liệu và ẩm độ tương đối của môi trường như: BET, GAB, Oswin, Smith, Henderson, Halsey và Chung – Pfost đã được các tác giả sử dụng để hiệu chỉnh với số liệu thực nghiệm về ẩm độ cân bằng của vật liệu [89 - 91]. Trong đó, các tác giả đã sử dụng các dung dịch muối bão hòa để tạo ra môi trường thực nghiệm có ẩm độ ổn định theo nhiệt độ. Trong luận án, dữ liệu thực nghiệm về đặc tính hấp thụ ẩm của nấm linh chi được thực hiện với ba mức nhiệt độ 30, 40 và 50^{o}C. Các muối bão hòa được ứng dụng cho thực nghiệm bao gồm: Lithium Chloride, Potassium Fluoride, Magnesium Chloride, Magnesium Nitrate, Potassium Lodide, Sodium Chloride, Potassium Bromide, Potassium Nitrate để tạo ra ẩm tương đối của môi trường thực nghiệm với giá trị từ 11.1 – 93.58 %. Dữ liệu thực nghiệm được thu thập để phân tích đánh giá mức độ phù hợp đối với các mô hình toán đã lựa chọn. Các phương trình được sử dụng để

phân tích đánh giá mức độ phù hợp của dữ liệu thực nghiệm ẩm độ cân bằng cho nấm linh chi bao gồm: phương trình hiệu chỉnh Henderson (MHE) [92]; phương trình hiệu chỉnh Chung – Pfost (MCP) [93]; phương trình hiệu chỉnh Oswin (MOS) [94] và phương trình hiệu chỉnh Halsey (MHA) [95]. Mỗi phương trình có ba tham số và được hiệu chỉnh để tìm ra phương trình thể hiện mối quan hệ của ẩm cân bằng của vật liệu theo nhiệt độ và ẩm tương đối của môi trường dựa trên cơ sở phân tích dữ liệu thực nghiệm bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS.

d. Ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi

Ẩn nhiệt hóa hơi là thông số ảnh hưởng đến năng lượng yêu cầu cho quá trình sấy. Trong nhiều nghiên cứu về quá trình truyền nhiệt truyền ẩm, ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong vật liệu không được đề cập hoặc các tác giả sử dụng ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do. Tuy nhiên, ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong vật liệu (r) khác so với ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do (h) vì nó phụ thuộc vào các thông số nhiệt - vật lý của VLS. Vì vậy, nhiều tác giả đã thực hiện nghiên cứu xác định công thức tính r cho VLS trong quá trình sấy. Brooker và ctv [96] đã thực nghiệm tìm ra công thức tính r cho một vài sản phẩm trên cơ sở hiệu chỉnh công thức của Brook và Foster [97] với mối quan hệ r/h chỉ phụ thuộc vào ẩm độ cân bằng của vật liệu. Al-Mahasneh và ctv [98] đã nghiên cứu quá trình động lực học hấp thụ ẩm của hạt vừng với kết quả cho tỉ lệ r/h chỉ phụ thuộc vào ẩm độ. Một số nghiên cứu như Kaleemullah và Kailappan [99] đã xác định công thức tính r cho ớt đỏ bằng thực nghiệm; Prado và Sartori [100] đã sử dụng công thức tính r của Brook và Foster [97] để nghiên cứu quá trình truyền nhiệt truyền chất khi sấy hạt giống, trong đó các tác giả đã bỏ qua ảnh hưởng của nhiệt độ TNS đến ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong vật liệu. Wilton [101] đã nghiên cứu thực nghiệm xác định ẩn nhiệt hóa hơi của chuối trong quá trình sấy, kết quả cho rằng r phụ thuộc vào cả nhiệt độ của TNS và ẩm độ cân bằng của vật liệu. Trong luận án, dựa trên cơ sở các công thức tính toán trong các nghiên cứu trước đây [96, 101] kết hợp với các số liệu theo tiêu chuẩn quốc gia về hơi nước tự do và hơi nước bão hòa [102], công thức xác định ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi được xác định là một hàm phụ thuộc vào hai thông số nhiệt độ của

TNS và ẩm độ cân bằng của vật liệu dựa trên cơ sở phân tích dữ liệu bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS.

e. Hệ số dẫn nhiệt của nấm linh chi

Hệ số dẫn nhiệt của nấm linh chi được xác định dựa trên cơ sở phân tích lý thuyết về sự phụ thuộc của hệ số dẫn nhiệt vào thành phần chất trong vật liệu mà cụ thể là các loại nông sản, thực phẩm và kế thừa công thức tính toán hệ số dẫn nhiệt từ các kết quả nghiên cứu đã công bố [103, 104]. Bên cạnh đó, nấm linh chi sẽ được tiến hành xét mẫu tại trung tâm nghiên cứu để xác định thành phần phần trăm của các thành phần chất trong vật liệu nhằm phục vụ cho việc tính toán.

g. Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của nấm linh chi

Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của VLS xác định với giá trị là hàm phụ thuộc vào các thông số đầu vào trong quá trình sấy. Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của các loại nông sản như hạt cải dầu, hành tây, nấm sò và hạt hoa cúc dại đã được các tác giả nghiên cứu và công bố [105 - 108]. Trong đó, hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ và ẩm độ tương đối của TNS [105]. Trong quá trình sấy đối lưu kết hợp với các loại sóng như sóng hồng ngoại và vi sóng, hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của vật liệu không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của TNS mà còn phụ thuộc vào cường độ bức xạ hồng ngoại [106] và công suất bộ phát vi sóng [107, 108]. Trong luận án, hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của nấm linh chi được xác định bằng thực nghiệm sấy nấm bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF tại các mức nhiệt độ TNS và công suất bộ phát sóng RF xác định. Dữ liệu thực nghiệm về giá trị tốc độ giảm ẩm (MR) thu được sẽ sử dụng trong tính toán hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của vật liệu có dạng tấm phẳng theo công thức trong nghiên cứu của Alibas (2014) [109]. Bên cạnh đó, công thức Arrhenius cũng được sử dụng để tìm ra hàm phụ thuộc của hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của nấm linh chi theo nhiệt độ TNS tại các mức công suất bộ phát RF.

2.2.4. Nghiên cứu thông số công suất nhiệt của bộ phát sóng radio

Khi xét quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF, công suất nhiệt của bộ phát sóng RF, q_{RF} (W/m^3) là thông số quan trọng đặc trưng cho nguồn sinh nhiệt bên trong VLS. Có nhiều nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về

công suất gia nhiệt cho bộ phát RF với kết quả cho thấy công suất gia nhiệt của bộ phát RF trong quá trình sấy phụ thuộc vào ẩm độ của vật liệu [110 - 114]. Trong luận án, công suất gia nhiệt của bộ phát RF đối với nấm linh chi được xác định bằng thực nghiệm gia nhiệt nấm linh chi bằng sóng RF. Trong đó, các mẫu nấm linh chi với các mức ẩm độ xác định được gia nhiệt bằng sóng RF tại các mức công suất bộ phát RF khác nhau. Dữ liệu thực nghiệm về nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ sau khi gia nhiệt của nấm linh chi được thu thập và sử dụng trong tính toán giá trị công suất gia nhiệt của bộ phát RF theo công thức trong nghiên cứu của Birla và ctv [115]. Từ đó, giá trị thực nghiệm về công suất gia nhiệt theo ẩm độ của nấm linh chi và công suất bộ phát RF được xác định. Thực hiện phân tích dữ liệu thực nghiệm bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS để tìm ra hàm quan hệ của công suất gia nhiệt theo ẩm độ của nấm linh chi và công suất bộ phát RF.

2.3. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

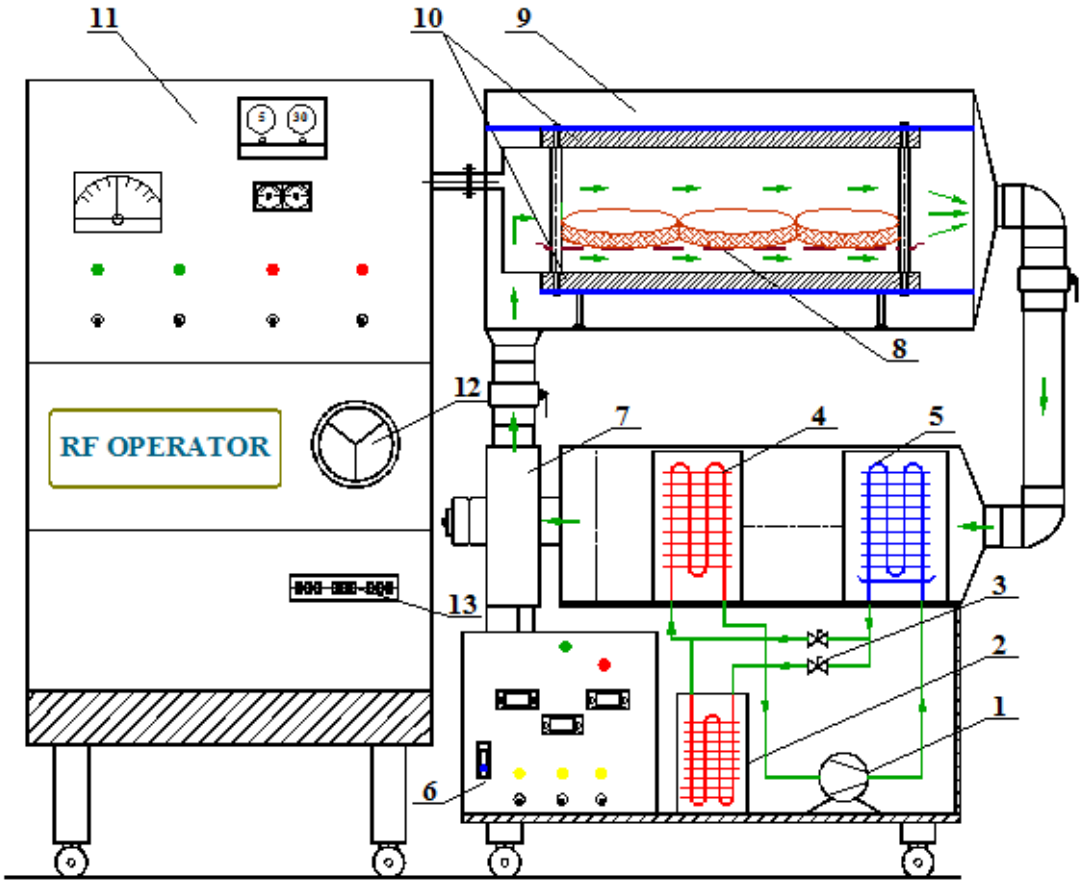
2.3.1. Thiết bị thực nghiệm

2.3.1.1. Thiết bị thực nghiệm sấy nấm linh chi kiểu bơm nhiệt kết hợp sóng radio

Để phục vụ cho nghiên cứu thực nghiệm của luận án, thiết bị thực nghiệm sấy nấm linh chi được sử dụng là máy sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng RF. Máy sấy được tính toán thiết kế và chế tạo để ứng dụng cho sấy thực nghiệm các loại dược liệu cao cấp trong đó có nấm linh chi và Đẳng sâm [74]. Máy sấy bao gồm bộ phát sóng RF và bộ bơm nhiệt hoạt động ổn định và đạt giá trị các thông số vận hành theo yêu cầu như nhiệt độ, ẩm độ và tốc độ TNS, công suất và tần số hoạt động của bộ phát RF. Mô hình máy sấy như trong hình 2.2. Máy sấy được đặt tại xưởng thực hành bộ môn Máy sau thu hoạch và chế biến, khoa Cơ khí Công nghệ , trường Đại học Nông Lâm Thành Phố Hồ Chí Minh.

Sơ đồ mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF được trình bày như trong hình 2.3. Trong đó, các thông số kỹ thuật cơ bản của các bộ phận chính của máy sấy được thiết kế chế tạo và trình bày trong bảng 2.1.

Hình 2.2. Mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp RF



Hình 2.3. Sơ đồ mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp RF

Trong đó, 1. máy nén; 2. dàn ngưng tụ phụ ; 3. van tiết lưu; 4. dàn ngưng tụ ; 5. dàn bay hơi; 6. tủ điều khiển bơm nhiệt; 7. quạt hút TNS; 8. khay sấy; 9. buồng sấy; 10. bản điện cực RF; 11. tủ điều khiển bộ phát RF; 12. cần điều khiển công suất bộ phát RF; 13. công tắc cấp nguồn điện.

Bảng 2.1. Thông số kỹ thuật cơ bản của các bộ phận chính của máy sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF

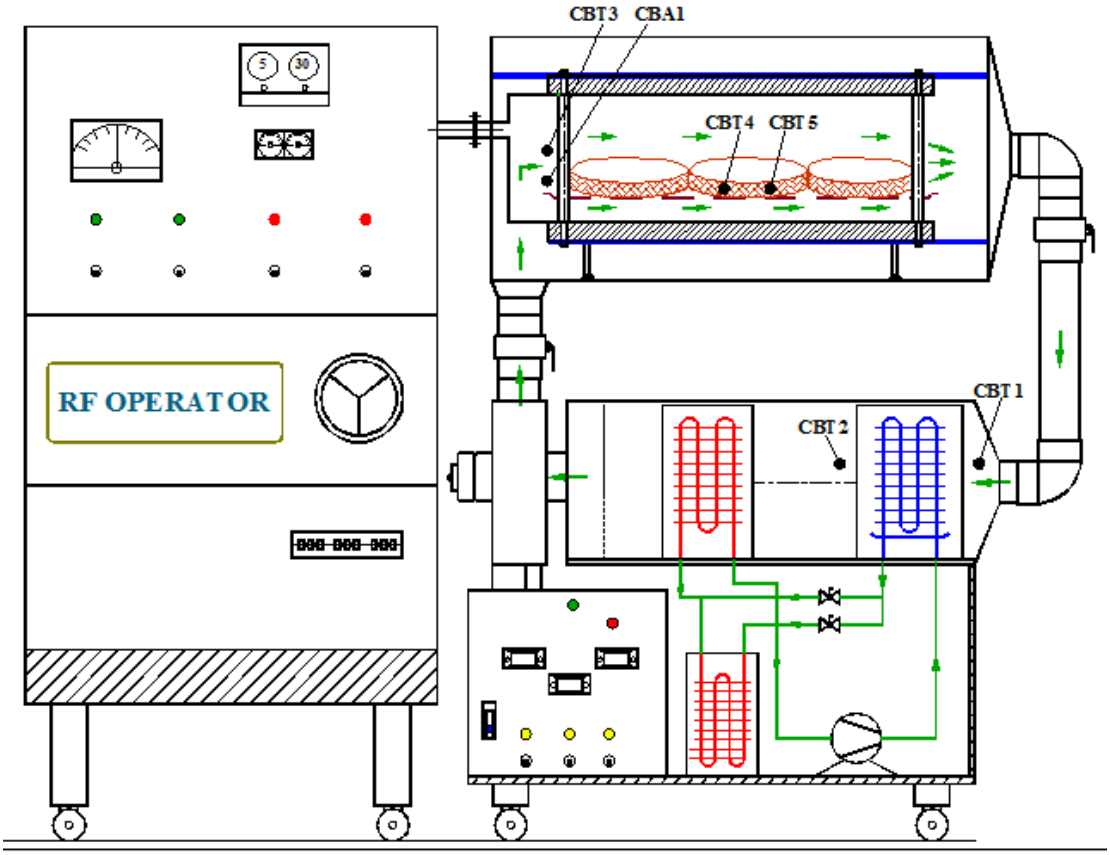
STT	Danh mục	Thông số	Ghi chú
1	Bộ bơm nhiệt	Công suất lớn nhất: 0,75 kW	
2	Bóng cao tần	Toshiba 7T69RB; tần số hoạt động 27 MHz; công suất lớn nhất 5 kW.	
3	Buồng sấy	Có bọc lớp bảo ôn; kích thước dài 900 mm, rộng 850 mm, cao 500 mm	
5	Khay sấy	Khay dạng lưới đường kính lỗ 55 mm; kích thước 750×650×5 mm	
6	Bản điện cực	Bản nhôm hình chữ nhật kích thước 700×600 mm	
7	Điện áp sử dụng cho bơm nhiệt	1pha/220V/50Hz. Thông số này được cập nhật và hiển thị trên bộ điều khiển trong suốt quá trình sấy.	
8	Điện áp sử dụng cho bộ phát RF	3pha/380V/50Hz. Thông số này được cập nhật và hiển thị trên bộ điều khiển trong suốt quá trình sấy.	

Theo nguyên lý hoạt động của bộ bơm nhiệt, TNS (không khí) được quạt hút qua dàn bay hơi khiến ẩm trong TNS bị ngưng tụ lại trên dàn bay hơi. Khi đó dung ẩm trong TNS giảm xuống và nhiệt độ của nó cũng giảm nên độ ẩm tương đối cao. Tác nhân sấy lại tiếp tục được đưa qua dàn ngưng tụ và được sấy đẳng dung ẩm làm cho độ ẩm tương đối giảm xuống. Sau đó TNS sẽ đi vào buồng sấy thực hiện quá trình sấy tại đây. Trong buồng sấy, TNS sẽ kết hợp với sóng RF do bộ phát sóng RF phát ra. Nấm linh chi sẽ trao đổi nhiệt - ẩm với TNS và đồng thời được gia nhiệt

theo cơ chế gia nhiệt thể tích khi ẩm truong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF. Sự kết hợp này sẽ giúp cho quá trình gia nhiệt vật liệu sấy nhanh hơn, đều hơn, quá trình khuyếch tán ẩm từ bên trong ra ngoài bề mặt VLS và trao đổi ẩm với TNS nhanh hơn, giúp cho thời gian sấy được rút ngắn đáng kể.

2.3.1.2. Thiết bị đo đạc

Để thực hiện đo và lấy số liệu thực nghiệm trong quá trình sấy nấm linh chi, các thiết bị đo được sử dụng để thực hiện đo và lấy số liệu được trình bày cụ thể trong bảng 2.2. Sơ đồ bố trí thiết bị đo trên thiết bị sấy như trong hình 2.4. Để đảm bảo được độ chính xác, giảm sai số của số liệu thực nghiệm, các phép đo được thực hiện 3 lần cho mỗi chế độ thực nghiệm và lấy giá trị trung bình.



Hình 2.4. Sơ đồ bố trí thiết bị đo trên thiết bị sấy

Bảng 2.2. Thông số kỹ thuật cơ bản của các thiết bị đo

STT	Tên	Thông số kỹ thuật	Công dụng	Vị trí đo
1	Cảm biến nhiệt PT100	Thang đo tiêu chuẩn: từ -40^{o}C đến 200^{o}C ± 0,1^{o}C	Đo nhiệt độ TNS trước và sau dàn bay hơi. Giá trị nhiệt độ được cập nhật liên tục và hiển thị trên đồng hồ số trong suốt quá trình sấy.	Đặt ngay vị trí trước và sau dàn bay hơi (CBT1 và CBT2).
2	Cảm biến nhiệt PT100	Thang đo tiêu chuẩn: từ -40^{o}C đến 200^{o}C ± 0,1^{o}C	Đo nhiệt độ TNS trước khi vào tiếp xúc với VLS. Giá trị nhiệt độ được cập nhật liên tục và hiển thị trên đồng hồ số trong suốt quá trình sấy.	Đặt ngay vị trí vào tiếp xúc với VLS (CBT3).
3	Ẩm kế (Extech 445713)	Thang đo tiêu chuẩn: từ 10 đến 99 ±1% RH,	Đo ẩm độ TNS trước khi vào tiếp xúc với VLS. Giá trị ẩm độ được cập nhật liên tục và hiển thị trên đồng hồ số trong suốt quá trình sấy.	Đặt ngay vị trí vào tiếp xúc với VLS (CBA1).
4	Thiết bị đo vận tốc TNS (Lutron - AM 4205A)	Giá trị đo lớn nhất: 25 ± 0,1 m/s	Đo vận tốc TNS khi vào tiếp xúc với VLS	Được đo trong buồng sấy và giá trị vận tốc TNS được cài đặt một lần trong suốt quá trình sấy.

STT	Tên	Thông số kỹ thuật	Công dụng	Vị trí đo
5	Cảm biến nhiệt độ (AYN-MF59-104F-3950FB-1000)	Thang đo tiêu chuẩn: từ -60°C đến 100± 0,1^{o}C. Được kết nối với máy vi tính và đọc giá trị nhiệt độ bằng phần mềm.	Đo nhiệt độ của VLS trong quá trình sấy. Giá trị nhiệt độ được cập nhật liên tục bằng phần mềm trong suốt quá trình sấy.	Đầu các cảm biến được cho vào bên trong nấm tại các vị trí CBT4 và CBT5. Hai vị trí này đối xứng nhau qua tâm VLS và cách nhau 80 mm.
6	Ampere kế (C.A401)	Giá trị đo lớn nhất: 2 ± 0,1 A	Đo cường độ dòng điện ứng dụng cho bộ phát RF. Giá trị đo để hiệu chỉnh bộ phát và cài đặt một lần trong suốt quá trình sấy.	
7	Thiết bị đo tần số (GDS - 2074A)	Giá trị đo cao nhất: 70 ± 0,01 MHz	Đo tần số hoạt động của bộ phát RF. Giá trị đo để hiệu chỉnh bộ phát và cài đặt một lần trong suốt quá trình sấy.	
8	Cân điện tử (DS – 2002N)	Giá trị đo lớn nhất: 3000 ± 0,01g	Cân khối lượng của VLS trong suốt quá trình sấy	

2.3.2. Phương pháp thực nghiệm

2.3.2.1. Phương pháp xác định độ ẩm của VLS

Độ ẩm tương đối ban đầu của nấm linh chi (ω_0) được xác định bằng phương pháp sấy bằng tủ sấy đến khối lượng không đổi (m_2) và được tính theo công thức sau:

$$\omega_0 = \frac{m_1 - m_2}{m_1}.100\% \quad (2.1)$$

Độ ẩm bất kỳ của VLS tại thời điểm i trong quá trình sấy được tính theo công thức sau:

$$\omega_i = \left(1 - \frac{m_1(1-\omega_0)}{m_i}\right)100\% \quad (2.2)$$

Trong đó, m_1, m_2 và m_i là khối lượng ban đầu, khối lượng cuối và khối lượng tại thời điểm i của VLS trong quá trình sấy (g).

Quan hệ giữa độ ẩm tương đối (ω) và độ ẩm tuyệt đối (ω_k) được thể hiện theo công thức:

$$\omega_k = \frac{\omega}{100-\omega}.100\% \quad \text{hay} \quad \omega = \frac{\omega_k}{\omega_k+100}.100\% \quad (2.3)$$

Quan hệ giữa độ chứa ẩm (M) và độ ẩm tuyệt đối của VLS được thể hiện theo công thức sau:

$$M = \frac{\omega_k}{100} \quad (\text{kg Â/ kg VLK}) \quad (2.4)$$

2.3.2.2. Phương pháp xử lý số liệu thực nghiệm

Thực hiện quy hoạch thực nghiệm trên phần mềm SPSS 2014. Ba đại lượng được sử dụng để so sánh mức độ phù hợp của dữ liệu thực nghiệm và phương trình toán học xác định trước là sai số trung bình (SEE), tổng bình phương sai số (RSS) và hệ số tương quan (R^2). Trong đó sai số trung bình (SEE) và tổng bình phương sai số (RSS) nếu nhỏ nhất sẽ cho khả năng hiệu chỉnh tốt nhất khi thực hiện hiệu chỉnh dữ liệu thực nghiệm đối với mô hình hồi quy không tuyến tính.

Sai số trung bình (SEE) được định nghĩa là:

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(M-M_S)^2}{df}} \quad (2.5)$$

Tổng bình phương sai số (RSS) được định nghĩa là:

$$RSS = \sum_{i-1}^{n}(M - M_S)^2 \quad (2.6)$$

Trong đó, M_s là giá trị mô phỏng của M; df là góc xoay tự do; n là số dữ liệu thực nghiệm.

Bên cạnh đó, đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số trong quá trình thực nghiệm cũng được sử dụng để dự đoán hàm quan hệ giữa các thông số hoặc so sánh với mô hình toán được lựa chọn.

2.3.2.3 . Phương pháp phân tích và so sánh hai tổ hợp số liệu

Để so sanh hai tổ hợp số liệu, sai số bình phương trung bình RMSE và sai số tuyệt đối trung bình MAE được sử dụng với giá trị được tính theo công thức (2.7) và (2.8).

$$\mathrm{RMSE} = \left[\frac{1}{n}\sum_{I=1}^{n}\left(M_{exp} - M_{pre}\right)^2\right]^{0,5} \quad (2.7)$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{I=1}^{n}\left(\frac{\left|M_{exp} - M_{pre}\right|}{M_{pre}}\right) \quad (2.8)$$

Trong đó, giá trị RMSE và MAE đạt mức thấp hơn 20% cho thấy hai tổ hợp giá trị thu được có sự sai khác thấp và chấp nhận được.

Bên cạnh đó, việc phân tích so sánh hai tổ hợp số liệu bằng phần mềm Stapraphics centuri 17 dựa trên kết quả giá trị P-value (P-value > 0,05 cho thấy không có sự sai khác rõ rệt về mặt thống kê đối với hai tổ hợp số liệu, tức chấp nhận được).

2.3.3. Phương pháp thực nghiệm kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF

Nấm linh chi được chuẩn bị cho thực nghiệm như trình bày trong mục 2.1.

Nhiệt độ trung bình của VLS trong quá trình sấy thực nghiệm được đo bằng cảm biến nhiệt độ (AYN-MF59-104F-3950FB-1000) được kết nối với máy tính thông qua một mạch tích hợp đọc dữ liệu nhiệt độ theo thời gian. Đầu cảm biến nhiệt có kích thước nhỏ 1,05 mm được cho vào bên trong một mẫu nấm linh chi tại hai vị trí đối xứng nhau qua tâm và cách nhau 80 mm. Giá trị nhiệt độ của VLS theo thời gian sấy được cập nhật và ghi chép bằng phần mềm máy tính cứ 20 phút một lần (chi tiết được trình bày trong mục 2.3.1.2. Thiết bị đo đạc**)**.

Độ chứa ẩm ban đầu của VLS được xác định theo mục 2.3.2.1. Độ chứa ẩm trung bình của VLS trong quá trình sấy được xác định bằng cách cân khối lượng

của VLS thường xuyên cứ 20 phút một lần. Việc cân khối lượng VLS được thực hiện cho đến khi độ chứa ẩm TB VLS đạt giá trị 0,15 ± 0,002 (kg Â/ kg VLK). Đây là ẩm độ bảo quản nấm linh chi khô.

Hai tổ hợp số liệu giá trị độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS thu được dựa trên kết quả giải toán HPTTNTA và dựa trên kết quả thực nghiệm sẽ được phân tích so sánh trên phần mềm Stapraphics centuri 17 và dựa vào giá trị các thông số sai số bình phương trung bình, RMSE và sai số tuyệt đối trung bình, MAE như được trình bày trong mục 2.3.2.3.

2.3.4. Phương pháp thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp

2.3.4.1. Xác định các thông số đầu ra và đầu vào cho quá trình thực nghiệm sấy

a. Xác định thông số đầu ra

- **Thời gian sấy**

Thời gian sấy là thông số không thể thiếu trong quá trình nghiên cứu lý thuyết cũng như thực nghiệm sấy. Đây là thông số được sử dụng để nghiên cứu động học quá trình sấy và hiệu quả vận hành của thiết bị sấy. Đối với thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp RF, TNS sau khi ra khỏi bơm nhiệt sẽ được kết hợp với sóng RF với cơ chế gia nhiệt thể tích giúp tăng tốc độ gia nhiệt VLS và tăng tốc độ sấy giúp rút ngắn đáng kể thời gian sấy. Đây chính là ưu điểm về tính năng kỹ thuật và hiệu quả vận hành của thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF.

- **Hàm lượng Polysaccharides trong nấm linh chi**

Chất lượng sản phẩm sấy là một tiêu chí hàng đầu trong lĩnh vực công nghệ sấy và bảo quản thực phẩm. Nấm linh chi là một loại dược phẩm chứa một lượng đáng kể các dược chất như Polysaccharides, Tannin, Triterpenoid, Steroid, Saponin… Trong đó, Polysaccharides là nhóm chất quý và quan trọng nhất với tính năng bồi bổ sức khỏe, tăng cường hệ miễn dịch, chống khối u, chống viêm, chống virus, chống ung thư và kháng HIV [52]. Tuy nhiên, Polysaccharides là dược chất rất nhạy nhiệt, có thể bị suy giảm hay bị mất đi khi tiếp xúc với các tác nhân nhiệt độ cao hoặc tiếp xúc lâu với nhiệt độ trong quá trình sấy [45, 47, 49 - 51]. Vì vậy, khi sấy cần phải lưu ý đến các thông số đầu vào của quá trình sấy sao cho phù hợp để duy trì tốt nhất hàm lượng dược chất trong nấm. Đã có nhiều nghiên cứu về

phương pháp sấy và chế độ sấy nhằm duy trì tốt nhất hàm lượng Polysaccharides trong nấm linh chi [45, 47 - 52]. Trong nghiên cứu của luận án, hàm lượng Polysaccharides được chọn để đánh giá chất lượng của sản phẩm sấy nấm linh chi.

b. Xác định thông số đầu vào

Từ đặc tính của các thông số đầu ra, các thông số đầu vào phải được chọn lựa là các thông số độc lập, có thể điều khiển được và có ảnh hưởng đến giá trị của các thông số đầu ra.

Đối với hệ thống sấy bơm nhiệt thì ba thông số đầu vào chính là ba thông số của TNS sau khi đi qua bộ bơm nhiệt như: nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và ẩm độ tương đối của TNS. Tuy nhiên, ẩm độ tương đối của TNS là thông số không độc lập mà có giá trị thay đổi phụ thuộc vào nhiệt độ TNS và độ chứa ẩm của VLS trong quá trình vận hành bộ bơm nhiệt nên thông số ẩm độ tương đối của TNS rất khó hiệu chỉnh. Vì vậy, hai thông số đầu vào được chọn là nhiệt độ TNS, vận tốc TNS.

Đối với hệ thống sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF, ngoài hai thông số đầu vào được chọn là nhiệt độ TNS, vận tốc TNS thì thông số công suất bộ phát RF cũng là một thông số đầu quan trọng không thể thiếu. Nhiều nghiên cứu về quá trình sấy nông sản thực phẩm ứng dụng các loại sóng như hồng ngoại, vi sóng và sóng RF thì công suất của các bộ phát sóng ảnh hưởng rất lớn đến quá trình sấy về thời gian sấy cũng như chất lượng sản phẩm sấy và luôn được chọn lựa, điều chỉnh để đạt được các chế độ sấy phù hợp [116 - 120].

Vì vậy, ba thông số đầu vào được chọn là nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và công suất bộ phát RF.

- **Phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ TNS và vận tốc TNS đối với các thông số đầu ra**

Theo lý thuyết sấy, nhiệt độ TNS và vận tốc TNS là hai thông số ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình trao đổi nhiệt - ẩm trong quá trình sấy. Khi thay đổi giá trị của hai thông số này sẽ khiến tốc độ trao đổi nhiệt - ẩm giữa TNS và VLS thay đổi. Khi đó, tốc độ sấy cũng sẽ thay đổi. Điều này chứng tỏ hai thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian sấy.

Polysaccharides là một dược chất rất nhạy nhiệt và có thể bị suy giảm hay bị mất đi khi tiếp xúc với các tác nhân nhiệt độ cao hoặc tiếp xúc lâu với nhiệt độ trong quá trình sấy. Vì vậy, việc chọn lựa phương pháp sấy phù hợp để duy trì được hàm lượng Polysaccharides trong nấm là rất quan trọng. Đã có nhiều nghiên cứu trước đây về các phương pháp sấy và các chế độ sấy nấm linh chi trong đó hai thông số nhiệt độ TNS và vận tốc TNS được phân tích và chọn lựa nhằm xác định phương pháp sấy và chế độ sấy phù hợp để duy trì tốt nhất hàm lượng Polysaccharides trong sản phẩm sấy nấm linh chi [47, 48, 50, 51, 117 - 119].

- **Phân tích ảnh hưởng của công suất bộ phát RF đối với các thông số đầu ra**

Công nghệ gia nhiệt hay sấy bằng sóng RF có nhiều ưu điểm vượt trội như cơ chế gia nhiệt thể tích nhanh và đều trên toàn bộ thể tích VLS, gradient nhiệt độ và gradient ẩm cùng chiều giúp quá trình khuếch tán ẩm nhanh hơn, rút ngắn đáng kể thời gian sấy [21]. Khi thời gian sấy rút ngắn và nhiệt độ VLS đạt giá trị phù hợp thì khả năng bảo toàn hàm lượng Polysaccharides trong nấm linh chi là rất cao. Tuy nhiên nếu công suất bộ phát RF tăng quá cao sẽ khiến nhiệt độ VLS được gia nhiệt tăng cao. Khi đó, tuy rút ngắn được thời gian sấy nhưng sẽ làm giảm hàm lượng Polysaccharides trong nấm vì Polysaccharides là dược chất rất nhạy nhiệt [47, 48, 50, 51, 117 - 119].

- **Phân tích và chọn lựa mức giá trị của nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và công suất bộ phát RF**

Như đã trình bày, chất lượng sản phẩm sấy được đặc trưng bởi hàm lượng dược chất Polysaccharides trong nấm, hiệu quả về tốc độ sấy của thiết bị sấy đặc trưng bởi thời gian sấy. Hai tiêu chí này là hai tiêu chí quan trọng hàng đầu trong quá trình sấy. Vì vậy, giá trị của các thông số đầu vào trong quá trình sấy phải được phân tích và lựa chọn phù hợp sao cho không những cải thiện được thời gian sấy mà còn duy trì được hàm lượng dược chất trong sản phẩm sấy nấm linh chi.

Polysaccharides là một dược chất rất nhạy nhiệt sẽ bị ảnh hưởng khi nhiệt độ sấy cao hoặc tiếp xúc lâu với nhiệt độ khi thời gian sấy kéo dài. Chin và ctv [47] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng đối lưu không khí nóng trong khoảng nhiệt độ

40 - 80°C và vận tốc TNS là 0,19 - 1,66 m/s với kết quả cho thấy khi tăng nhiệt độ giúp giảm thời gian sấy và bảo toàn được hàm lượng Polysaccharides nhưng khi nhiệt độ TNS tăng quá 65^{o}C sẽ khiến hàm lượng Polysaccharides giảm dần. Chế độ sấy để duy trì tốt nhất hàm lượng Polysaccharides là ở nhiệt độ TNS 60^{o}C và vận tốc TNS là 1,6 m/s. Bai và ctv [48] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng không khí nóng ở nhiệt độ trong khoảng 55 - 70°C. Kết quả cho thấy khi tăng nhiệt độ trong khoảng 55 - 65°C sẽ giúp giảm thời gian sấy và tăng hàm lượng Polysaccharides nhưng khi nhiệt độ đạt trên 65 - 70°C thì hàm lượng Polysaccharide sẽ giảm. Hayati và ctv [50] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng phơi nắng, phơi nắng có che màn đen, phơi trong bóng râm, sấy bằng tủ sấy đối lưu và sấy bằng tủ sấy đối lưu không khí tuần hoàn. Kết quả cho thấy sấy đối lưu không khí tuần hoàn ở nhiệt độ 50°C và vận tốc TNS 1,65 m/s cho kết quả hàm lượng Polysaccharides là cao nhất. Prasetyo và ctv [51] đã thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng đối lưu không khí nóng tuần hoàn tại mức nhiệt độ sấy từ 40 - 70°C và vận tốc TNS từ 1,0 - 1,8 m/s. Kết quả cho thấy sấy ở nhiệt độ 50°C và vận tốc TNS 1,3 m/s là phù hợp nhất để duy trì hàm lượng Polysaccharides, tại nhiệt độ sấy 40°C sẽ kéo dài thời gian sấy và làm giảm hàm lượng Polysaccharides. Tại nhiệt độ 70°C có thể rút ngắn thời gian sấy nhưng lại làm giảm hàm lượng Polysaccharide do ảnh hưởng của nhiệt độ cao.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy khi thay đổi nhiệt độ TNS và vận tốc TNS sẽ ảnh hưởng đến thời gian sấy và hàm lượng Polysaccharides trong sản phẩm sấy nấm linh chi. Các mức giá trị thông số đầu vào phù hợp giúp giảm thời gian sấy mà vẫn duy trì hàm lượng Polysaccharides là tại mức nhiệt độ TNS trong khoảng từ 45 - 65^{o}C và vận tốc TNS trong khoảng từ 1,3 - 1,65 m/s.

Trong khi đó, công nghệ sấy ứng dụng sóng RF có ưu điểm như tăng tốc độ gia nhiệt VLS, giúp quá trình khuếch tán ẩm trong VLS nhanh hơn, giúp rút ngắn thời gian sấy. Tuy nhiên, thiết bị gia nhiệt và thiết bị sấy sử dụng sóng RF đều tác dụng gia nhiệt VLS vượt quá nhiệt độ TNS và môi trường gia nhiệt khoảng từ 5 - 20°C [38, 60, 61, 121 - 123]. Vì vậy, công suất bộ phát RF cũng phải được chọn sao cho phù hợp để khi kết hợp với bơm nhiệt sẽ tác dụng tăng tốc độ gia nhiệt VLS

đến nhiệt độ phù hợp để không những giúp giảm thời gian sấy mà còn duy trì tốt hàm lượng Polysaccharides trong nấm.

Dựa trên cơ sở phân tích trên và dựa trên kết quả gia nhiệt thực tế vật liệu nấm linh chi trong quá trình sấy thực nghiệm nấm linh chi bằng thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF, khi mức nhiệt độ TNS được chọn trong khoảng 40 - 50°C, vận tốc TNS trong khoảng 1,2 - 2,0 m/s và công suất của bộ phát RF trong khoảng 0,65 - 1,95 kW khi đó nhiệt độ VLS sẽ tăng trong khoảng từ 45 - 67°C. Trong khoảng nhiệt độ này thì không những rút ngắn được thời gian sấy mà còn đảm bảo duy trì được hàm lượng cao các dược chất trong nấm linh chi.

Nhằm thu thập dữ liệu thực nghiệm để thực hiện xử lý số liệu và phân tích đánh giá các chế độ hoạt động của máy sấy. Từ đó xác định phương án thích hợp cho quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF. Ba thông số đầu vào được chọn là nhiệt độ TNS, tốc độ TNS và công suất bộ phát RF. Hai thông số đầu ra được chọn là thời gian sấy và hàm lượng dược chất Polysaccharides. Trong đó, nhiệt độ TNS thay đổi trong khoảng 40 - 50°C, tốc độ TNS thay đổi trong khoảng 1,2 - 2,0 m/s và công suất bộ phát RF thay đổi trong khoảng 0,65 - 1,95 kW.

2.3.4.2. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm

a. Lập ma trận thí nghiệm:

Quá trình bố trí thí nghiệm theo kiểu ngẫu nhiên hoàn toàn và ma trận thí nghiệm được lập trên máy tính bằng phần mềm Stagraphics Centurion 17. Thực hiện phương án thí nghiệm bậc I. Nếu phương án thí nghiệm bậc I không phù hợp, tiếp tục thực hiện phương án thí nghiệm bậc II.

b. Xây dựng mô hình hồi quy thực nghiệm

Sử dụng chương trình Stagraphics Centurion 17 để lập ma trận thí nghiệm, xác định các hệ số hồi quy, phân tích phương sai mô hình thống kê thực nghiệm trong các bài toán quy hoạch thực nghiệm.

Nội dung bài toán quy hoạch thực nghiệm được thực hiện theo các bước:

1) Lập ma trận thí nghiệm có tiến hành ngẫu nhiên hóa thí nghiệm.

2) Phân tích phương sai để loại bỏ các hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$.

3) Phân tích phương sai trên bài toán mới.

4) Xác định giá trị các hệ số hồi quy theo hàm toán mới sau khi đã loại bỏ các hệ số hồi quy không đủ độ tin cậy.

5) Kiểm tra độ tương thích của mô hình theo tiêu chuẩn Fisher

$$F_t = \frac{MSLf}{MSEp} \le F_b \quad (2.9)$$

Trong đó:

MSLf: phương sai không tương thích (Mean Square Lack-of-fit);

MSEp: phương sai sai số ngẫu nhiên đích thực (Mean Square Error-pure);

F_b: giá trị trong bảng phương sai chuẩn.

Trên phần mềm Statgraphics Centurion 17, độ tương thích của mô hình được chấp nhận khi mức ý nghĩa tính theo tiêu chuẩn Fisher có mức ý nghĩa $p > 0,05$.

c. Tối ưu hóa mô hình thực nghiệm

Phương pháp tối ưu hóa được xây dựng trên cơ sở hàm toán là các phương trình hồi quy, xác định được bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm. Các phương trình này xác định hàm mục tiêu với các chỉ tiêu tối ưu đặc trưng cho hiệu quả về tốc độ sấy của thiết bị sấy và chất lượng sản phẩm sấy như: thời gian sấy và hàm lượng Polysaccharides. Hàm điều kiện là các ràng buộc kỹ thuật và ràng buộc về vùng thực nghiệm nghiên cứu. Bài toán tối ưu hóa được giải bằng phần mềm Excel 2010 trên máy tính.

2.3.4.3. Quy trình thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp đối với nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF

Nấm linh chi được chuẩn bị cho thực nghiệm như đã trình bày trong mục 2.1.

Quá trình sấy được thực hiện với giá trị các thông số đầu vào (cơ sở chọn giá trị thông số đầu vào như đã trình bày trong mục 2.3.4.1) như nhiệt độ TNS là 40, 45 và 50^{o}C, vận tốc TNS là 1,2; 1,6 và 2,0 m/s, công suất bộ phát RF là 0,65; 1,3 và 1,95 kW.

Độ chứa ẩm ban đầu của VLS được xác định theo mục 2.3.2.1. Độ chứa ẩm trung bình của VLS trong quá trình sấy được xác định bằng cách cân khối lượng của VLS thường xuyên cứ 20 phút một lần. Việc cân khối lượng VLS được thực

hiện cho đến khi độ chứa ẩm của VLS đạt giá trị 0,15 ± 0,002 (kg Â/ kg VLK). Đây là ẩm độ bảo quản nấm linh chi khô.

Sau mỗi mẻ sấy với các chế độ sấy cụ thể theo ma trận thí nghiệm được lập bằng phần mềm Stagraphics Centurion 17, nấm linh chi được bảo quản trong bịch nylon kín và được đem đi xét mẫu bằng phương pháp USP 38 - NF tại Viện Nghiên cứu Công nghệ và Môi trường, trường Đại học Nông Lâm, TP.HCM nhằm xác định hàm lượng Polysaccharides còn lại trong nấm.

Thiết bị sấy thực nghiệm là máy sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF được trình bày như trong mục 2.3.1.1. Thời gian tiến hành thực nghiệm trong khoảng từ tháng 8/2017 đến tháng 8/2018 tại xưởng thực hành bộ môn Máy sau thu hoạch và chế biến, khoa Cơ khí Công nghệ , trường Đại học Nông Lâm Thành Phố Hồ Chí Minh.

2.4. Kết luận chương 2

Chương 2 đã đạt được các nội dung chính sau:

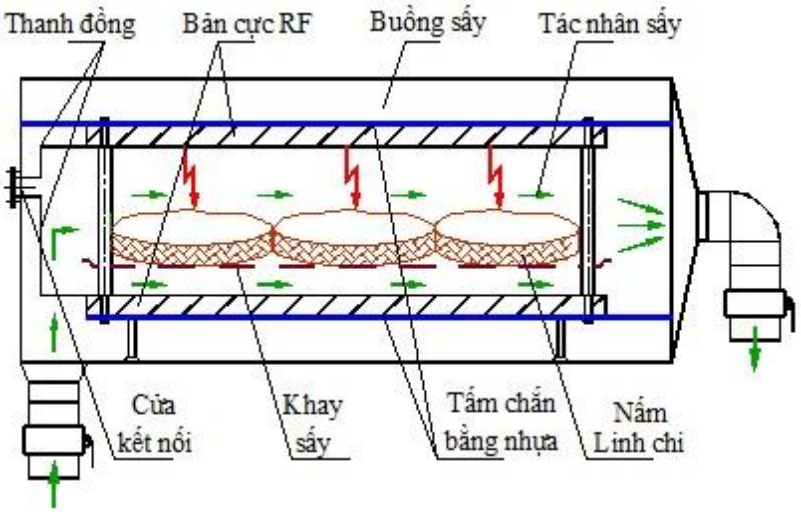
- Phân tích và xác định được phương pháp xây dựng HPTTNTA và phương pháp giải HPTTNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Phân tích và lựa chọn được phương pháp thực nghiệm xác định các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi.
- Phân tích và lựa chọn được phương pháp thực nghiệm xác định thông số công suất gia nhiệt của bộ phát RF
- Xác định được phương pháp nghiên cứu thực nghiệm tìm ra chế độ sấy phù hợp cho nấm linh chi.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT

3.1. Mô hình toán của quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio

3.1.1. Sơ đồ mô hình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio

Sơ đồ mô hình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được trình bày trong hình 3.1.

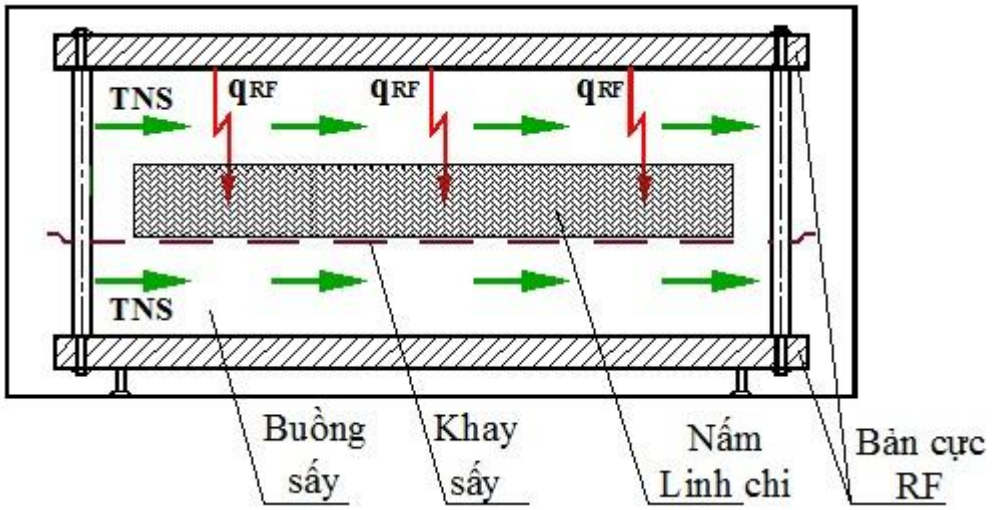


Hình 3.1. Mô hình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF

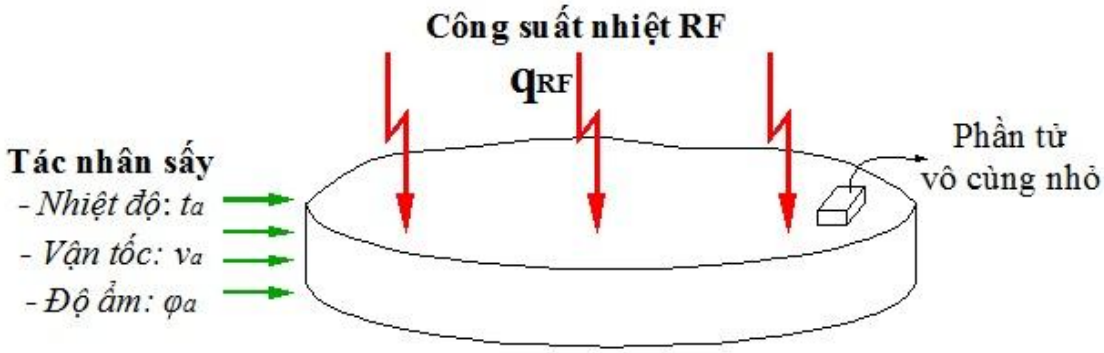
Hệ thống sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF có kết cấu buống sấy rất đặc trưng. Trong đó, hai bản điện cực RF được đặt trong buống sấy và kết nối với bộ phát RF bởi hai thanh đồng mỏng thông qua cửa kết nối giữa bộ phát RF và buồng sấy. Vì vậy, không những cửa kết nối phải được thiết kế đảm bảo độ kín khít mà kết cấu cửa hút vào và ra cho TNS cũng phải phù hợp với kết cấu của buồng sấy (như trong hình 3.1). Trong đó, khoảng không gian giữa hai bản điện cực RF được thiết kế thành dạng khoang hình hộp chữ nhật có chức năng dẫn hướng TNS thổi từ phía bên trái đi qua phía bên phải buồng sấy để tiếp xúc với bề mặt VLS. Trong đó, khoang dẫn hướng TNS có cấu tạo bởi hai bản điện cực RF và các tấm nhựa Mica bịt kín các khoảng không gian bên trái, bên phải, phía trước và phía sau các bản điện cực. Khoảng không gian bên trái bản điện cực dưới được để trống hình thành cửa hút TNS vào buồng sấy ngay phía sau bộ bơm nhiệt.

3.1.2. Mô hình toán truyền nhiệt truyền ẩm trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF

Sơ đồ mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF được trình bày như trong hình 3.2. Mô hình vật lý quá trình sấy nấm linh chi được trình bày như trong hình 3.3.



Hình 3.2. Sơ đồ truyền nhiệt truyền ẩm



Hình 3.3. Mô hình vật lý quá trình sấy nấm linh chi

Trong mô hình toán TNTA, VLS là nấm linh chi được xếp thành lớp trong khay sấy có cấu tạo nhiều lỗ dạng lưới. Khay sấy chứa VLS được đặt giữa hai bản điện cực RF trong buồng sấy. Nguyên lý sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF là sự kết hợp giữa sấy đối lưu bằng TNS và gia nhiệt đồng thời bằng sóng RF. Trong đó, TNS sau khi đi qua hệ thống bơm nhiệt sẽ có nhiệt độ, độ ẩm tương đối và vận tốc xác định được trao đổi nhiệt - ẩm đối lưu với VLS trong buồng sấy. Cùng lúc đó, sóng RF sẽ kết hợp gia nhiệt cho VLS với cơ chế gia nhiệt thể tích bên trong lòng

VLS. Sự kết hợp này sẽ giúp cho quá trình truyền nhiệt truyền ẩm diễn ra nhanh hơn trong đó sự ảnh hưởng qua lại giữa truyền nhiệt và truyền ẩm cũng thể hiện rõ hơn.

Theo cơ chế sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF, quá trình truyền nhiệt bao gồm dẫn nhiệt bên trong VLS, trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt VLS và TNS và nguồn sinh nhiệt bên trong VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF. Cơ chế này tương tự như kết quả nghiên cứu của các tác giả trước đây về quá trình truyền nhiệt trong quá trình sấy có sử dụng sóng RF [56 - 71].

Cơ chế chính của quá trình sấy là cung cấp nhiệt lượng để ẩm trong VLS chuyển hóa thành hơi khuếch tán ra ngoài bề mặt VLS và trao đổi ẩm với TNS. Hơn nữa, cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF là gia nhiệt thể tích trong lòng VLS với công suất gia nhiệt, q_{RF} (W/ m^3) thay đổi liên tục theo ẩm độ VLS trong suốt quá trình sấy. Điều này chứng tỏ quá trình khuếch tán ẩm ảnh hưởng nhiều đến quá trình truyền nhiệt. Vì vậy, trong phương trình truyền nhiệt phải xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt. Ảnh hưởng này được thể hiện bởi thành phần nhiệt lượng cần thiết cấp cho ẩm biến đổi pha từ lỏng thành hơi trong VLS. Hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt đã được các tác giả trước đây đề cập đến trong các mô hình toán TNTA trong quá trình sấy [117, 118, 124].

Theo A.V Lưcôp thì gradient nhiệt độ sẽ gây nên sự khuếch tán ẩm trong vật thể. Dưới tác động của dòng nhiệt thì cũng có một lượng ẩm dịch chuyển cùng chiều với nó. Hiệu ứng đó gọi là khuếch tán nhiệt – hiệu ứng Sore. Thông thường hiệu ứng này ảnh hưởng không đáng kể đến sự truyền chất mà nó chỉ có ý nghĩa khi trong hỗn hợp có gradient nhiệt độ cao [125, 126].

Với vật liệu sấy là nấm linh chi với đặc tính là chứa các dược chất rất nhạy nhiệt nên chúng ta phải chọn chế độ sấy ở mức nhiệt độ thấp phù hợp như đã được phân tích cụ thể trong mục 2.3.4.1 để có thể duy trì hàm lượng cao các dược chất trong nấm linh chi sau khi sấy. Vì vậy, với các mức nhiệt độ sấy này thì khuếch tán nhiệt ảnh hưởng đến quá trình khuếch tán ẩm là không đáng kể. Do đó, trong phương trình khuếch tán ẩm bỏ qua ảnh hưởng của dòng nhiệt đến khuếch tán ẩm.

Mô hình toán cho quá trình truyền nhiệt truyền ẩm được thiết lập với một số giả thiết sau:

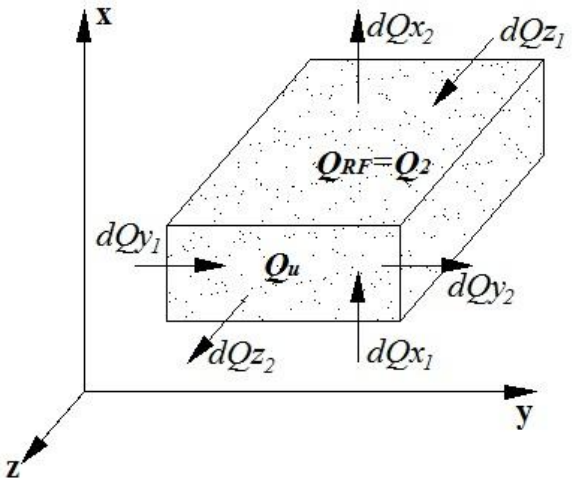
- Do kích thước đường kính nấm (có giá trị khoảng 150 mm) lớn hơn rất nhiều so với bề dày nấm (có giá trị khoảng 15 mm) và phương tiếp xúc của TNS với bề mặt VLS theo phương ngang của đường kính nấm nên quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm xem như là quá trình truyền nhiệt truyền ẩm đối với tấm phẳng và là một chiều với phương truyền theo phương mặt cắt ngang bề dày VLS như trong hình 3.4. Giả thuyết này đã được các tác giả trước đây sử dụng khi thiết lập HPTTNTA trong các nghiên cứu về quá trình sấy các loại VLS dạng tấm phẳng như các lát mỏng quả nho, các lát khoai tây và gỗ dạng tấm [117, 118, 119, 125].
- Trong mô hình sấy, khay sấy sẽ ảnh hưởng khiến cho mật độ tiếp xúc giữa TNS với bề mặt dưới nhỏ hơn so với bề mặt trên của VLS. Tuy nhiên sự chênh lệch về mật độ tiếp xúc này là không đáng kể bởi khay sấy có cấu tạo rất nhiều lỗ dạng lưới mịn. Do đó, giả thiết xem như mật độ tiếp xúc giữa TNS với bề mặt trên và bề mặt dưới của VLS là như nhau. Giả thuyết này đã được các tác giả trước đây sử dụng khi thiết lập HPTTNTA trong các nghiên cứu về quá trình sấy nông sản như nho, khoai tây [117, 118] và quá trình sấy gỗ [119].
- Theo cơ chế sấy bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF, quá trình truyền nhiệt bao gồm dẫn nhiệt bên trong VLS và trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt VLS và TNS trong đó có nguồn sinh nhiệt bên trong VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF. Cơ chế này tương tự như kết quả nghiên cứu của các tác giả trước đây về quá trình truyền nhiệt trong quá trình sấy sử dụng sóng RF [56 - 71].
- Trong quá trình thực nghiệm sấy, nấm linh chi sẽ bị co ngót do ẩm độ giảm và bị tác dụng bởi nhiệt độ sấy. Tuy nhiên hình dạng và kích thước của VLS bị thay đổi rất ít và ảnh hưởng không đáng kể đến mô hình sấy. Do đó, giả thiết rằng biến dạng của VLS xem như không đáng kể trong quá trình sấy. Giả thuyết này đã được các tác giả trước đây sử dụng khi thiết lập

HPTTNTA trong nghiên cứu quá trình sấy nông sản như táo, nho, khoai tây [62, 118, 125] và quá trình sấy gỗ [119].

- Trong quá trình thực nghiệm kiểm chứng mô hình toán lý thuyết về TNTA, VLS được bảo quản trong bịch nylon kín ở điều kiện 8^{o}C trong tủ lạnh khoảng 3 - 5 ngày để ẩm độ phân bố đồng đều trên toàn bộ thể tích mẫu nấm. Trước khi tiến hành thực nghiệm, các mẫu nấm được lấy ra và để trong môi trường của phòng thí nghiệm cho tới khi đạt nhiệt độ phòng thí nghiệm. Do đó, nhiệt độ ban đầu và ẩm độ ban đầu của VLS được xem như đồng nhất. Phương pháp bảo quản VLS này tương tự như phương pháp bảo quản VLS của các tác giả trước đây nhằm giữ cho ẩm độ và nhiệt độ ban đầu của VLS là đồng nhất trong quá trình nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm nhằm xác định mô hình sấy cho quá trình sấy các loại nấm mỡ, nấm sò và táo [72, 73, 120].
- Vật liệu sấy là đồng nhất, không có phản ứng hóa học, không có nguồn sinh ẩm bên trong.
- Các tính chất nhiệt - vật lý của VLS phụ thuộc vào nhiệt độ và ẩm độ.

Hình 3.4. Mô hình tấm phẳng của VLS

Phương trình truyền nhiệt khi xét có nguồn nhiệt phát sinh trong lòng vật liệu được thành lập dựa trên cơ sở bảo toàn năng lượng và định luật Fourier [124, 126]. Khảo sát truyền nhiệt đối với phân tố vô cùng nhỏ của vật liệu sấy (hình 3.5). Dựa trên định luật bảo toàn năng lượng ta có phương trình cân bằng nhiệt cho phân tố vô cùng nhỏ của vật liệu sấy được viết như sau:



Hình 3.5. Cân bằng nhiệt xét trên một phần tử vô cùng nhỏ

$$dQ_u = dQ_1 + dQ_2 \quad (3.1)$$

Trong đó, dQ_u là độ biến thiên nội năng sau khoảng thời gian $d\tau$ được tính theo công thức (3.2):

$$dQ_u = \rho C_p . \frac{\partial t}{\partial \tau} . dV d\tau \quad (3.2)$$

dQ_1 là nhiệt lượng nhân tố nhận được sau khoảng thời gian $d\tau$ và được tính theo công thức:

$$dQ_1 = dQ_x + dQ_y + dQ_z \quad (3.3)$$

Trong đó,

$dQ_{x1} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau$ là lượng nhiệt vào phân tố theo phương x

$dQ_{x2} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dxdydzd\tau$ là lượng nhiệt ra khỏi phân tố theo phương x

Ta có: $dQ_x = dQ_{x1} - dQ_{x2} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dV d\tau$

Tương tự ta có: $dQ_y = dQ_{y1} - dQ_{y2} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dV d\tau$

$$dQ_z = dQ_{z1} - dQ_{z2} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dV d\tau$$

Vậy: $dQ_1 = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dV d\tau \quad (3.4)$

Đặt $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \nabla^2 t$ - Toán tử Laplace

Ta có: $dQ_1 = \lambda . \nabla^2 t . dV d\tau \quad (3.5)$

Trong trường hợp trong vật thể có nguồn sinh nhiệt phân bố đều có năng suất sinh nhiệt thể tích $q_V, (W/m^3)$, thì nhiệt sinh ra trong phân tố sau khoảng thời gian $d\tau$ là:

$$dQ_2 = q_V.dVd\tau \tag{3.6}$$

Trong quá trình sấy có kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF thì nguồn nhiệt lượng phát sinh trong lòng VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF chính là nguồn sinh nhiệt. Khi đó công suất gia nhiệt của bộ phát RF, $q_{RF}, (W/m^3)$ chính là năng suất sinh nhiệt thể tích. Khi đó nhiệt sinh ra trong phân tố sau khoảng thời gian $d\tau$ được tính theo công thức (3.7):

$$dQ_2 = q_V.dVd\tau = q_{RF}.dVd\tau \tag{3.7}$$

Khi đó phương trình (3.1) được viết lại như sau:

$$\rho C_p.\frac{\partial t}{\partial \tau}.dVd\tau = \lambda.\nabla^2 t.dVd\tau + q_{RF}.dVd\tau$$

hay: $$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho C_p}(\nabla^2 t) + \frac{q_{RF}}{\rho C_p} \tag{3.8}$$

Như đã trình bày trong mục 1.6, trong quá trình sấy, các dòng dịch chuyển nhiệt - ẩm trong vật liệu sấy diễn ra rất phức tạp. Quá trình dẫn nhiệt và khuếch tán ẩm cho dù được xem xét riêng rẽ hay liên hợp thì quá trình sấy luôn là quá trình không thuận nghịch [53, 54]. Sử dụng quan hệ tuyến tính Onzager như trên hệ phương trình (1.1) khi cân bằng nhiệt và ẩm cho một phân tố vô cùng nhỏ, các tác giả [53 - 55] đã thiết lập hệ phương trình TNTA cho VLA như hệ phương trình (1.4). Tác giả [14] đã dựa trên cơ sở lý thuyết này để thiết lập hệ phương trình TNTA trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt cho các lát mỏng khoai tây trong đó không có nguồn sinh ẩm, không có nguồn sinh nhiệt, không có phản ứng hóa học trong lòng VLS và có xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt. Hệ phương trình TNTA như sau:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho C_p}(\nabla^2 t) + \frac{1}{\rho C_p} r\rho_k \frac{\partial M}{\partial \tau} & (i) \\ \frac{\partial M}{\partial \tau} = D\nabla^2 M & (ii) \end{cases} \tag{3.9}$$

Trong phương trình truyền nhiệt (i), thành phần thể hiện ảnh hưởng của hiện tượng khuếch tán ẩm đến truyền nhiệt chính là nhiệt lượng cần thiết làm hóa hơi lượng ẩm trong phân tố sau khoảng thời gian dτ: $dQ_e = r.\ \rho_k.\frac{\partial M}{\partial \tau}\ .dVd\tau$

Trong luận án, quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt có kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio như đã trình bày với các luận cứ và giả thuyết bên trên thì hệ phương trình TNTA (3.9) của tác giả [14] là phù hợp cho mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng RF trong đó phương trình truyền nhiệt (i) của hệ phương trình (3.9) phải xét thêm nguồn nhiệt lượng phát sinh trong lòng VLS do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF. Do đó, kết hợp phương trình (3.8) và hệ phương trình (3.9), hệ phương trình TNTA cho quá trình sấy nầm linh chi bằng bơm nhiệt có kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio được thiết lập như hệ phương trình (3.10):

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho C_p}(\nabla^2 t) + \frac{1}{\rho C_p} r\rho_k \frac{\partial M}{\partial \tau} + \frac{1}{\rho C_p} q_{RF} \\ \frac{\partial M}{\partial \tau} = D\nabla^2 M \end{cases} \quad (3.10)$$

Như trong giả thuyết, quá trình TNTA trong quá trình sấy xem như là quá trình truyền nhiệt truyền ẩm đối với tấm phẳng và là một chiều với phương truyền theo phương mặt cắt ngang bề dày VLS. Khi đó, hệ phương trình TNTA (3.10) sẽ được viết lại như hệ phương trình (3.11).

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{\rho C_p}\lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho C_p} r\rho_k \frac{\partial M}{\partial \tau} + \frac{1}{\rho C_p} q_{RF} \\ \frac{\partial M}{\partial \tau} = D\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \end{cases} \quad (3.11)$$

Để thiết lập điều kiện biên cho mô hình truyền nhiệt truyền ẩm, ta áp dụng lý thuyết điều kiện biên loại 3 đối với truyền nhiệt không ổn định qua vách phẳng với cơ chế truyền nhiệt và khuếch tán ẩm tại biên VLS là cơ chế trao đổi nhiệt - ẩm đối lưu giữa bề mặt VLS và TNS [62, 117, 118, 124].

Các phân tử tại lớp biên của VLS sẽ trao đổi nhiệt đối lưu với TNS. Dòng nhiệt q_s (W/m^2) theo phương x sinh ra tại lớp biên sẽ được xác định bằng tổng nhiệt lượng do truyền nhiệt đối lưu giữa các phân tử bề mặt và tác nhân sấy, q_{Conv} (W/m^2) và nhiệt lượng cần thiết để làm bốc hơi lượng ẩm tại bề mặt vật liệu,

q_{s_evap} (W/m^2) cho tới khi vật liệu đạt ẩm độ cân bằng. Ta có phương trình trao đổi nhiệt tại lớp biên có dạng như phương trình (3.12):

$$q_s = q_{Conv} + \ q_{s_evap} \tag{3.12}$$

Trong đó, $q_s = \ -\lambda\frac{\partial t}{\partial x}$ là dòng nhiệt sinh ra tại lớp biên vật liệu đặc trưng cho nhiệt lượng sinh ra tại lớp biên theo phương x.

$q_{Conv} = \ \alpha(t_a - t_s)$ với α, t_a, t_s lần lượt là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, nhiệt độ tác nhân sấy và nhiệt độ vật liệu sấy tại lớp biên.

$q_{s_evap} = r\rho_k\beta_M(M - M_e)$ với r, β_M, M_e, M lần lượt là ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong VLS, hệ số trao đổi ẩm đối lưu, độ chứa ẩm cân bằng của VLS và độ chứa ẩm TB VLS tại lớp biên.

Từ đó, ta có phương trình trao đổi nhiệt tại lớp biên của vật liệu như phương trình (3.13):

$$-\lambda\frac{\partial t}{\partial x}\Big|_{x\equiv x_s} = \alpha(t_a - t)\Big|_{x\equiv x_s} - r\rho_k\beta_M(M - M_e)|_{\ x\equiv x_s} \tag{3.13}$$

Tương tự như trao đổi nhiệt, trao đổi ẩm tại lớp biên cũng được thể hiện bởi dòng khuếch tấn ẩm từ các phần tử tại lớp biên của VLS vào TNS do trao đổi ẩm đối lưu giữa các phần tử lớp biên và TNS cho tới khi VLS đạt ẩm độ cân bằng. Ta có phương trình trao đổi ẩm tại lớp biên có dạng như phương trình (3.14).

$$-D\frac{\partial M}{\partial x}\Big|_{x\equiv x_s} = \beta_M(M - \ M_e)|_{x\equiv x_s} \tag{3.14}$$

Điều kiện đơn trị sau:

- Điều kiện ban đầu

$$t(x,0) = \ t_0; \quad M(x,0) = \ M_0 \tag{3.15}$$

- Điều kiện đối xứng

$$\frac{\partial t}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0; \qquad \frac{\partial M}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0 \tag{3.16}$$

Trong luận án, hệ phương trình (3.11) được sử dụng để giải quyết bài toán truyền nhiệt truyền ẩm cho quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF với điều kiện biên như phương trình (3.13) và (3.14) và điều kiện đơn trị như phương trình (3.15) và (3.16).

3.2. Xác định các thông số nhiệt vật lý của tác nhân sấy

Trong phạm vi nhiệt độ sấy nằm trong khoảng 0 – 80^{o}C và ẩm độ tương đối của TNS trong khoảng 15 - 45%, các thông số nhiệt - vật lý của TNS được tính toán theo các công thức dưới đây [75, 76].

✓ Khối lượng riêng, kg/m^3

$$\rho_{kkâ} = -3{,}510101.10^{-8}.t^3 + 1{,}583983.\ 10^{-5}.t^2 - ... - 4{,}699520.\ 10^{-3}.t + 1{,}292136 \quad (3.17)$$

✓ Hệ số nhớt động học, kg/m.s.

$$\mu_{kkâ} = 1{,}767676.\ 10^{-13}.t^3 - 5{,}5411255.10^{-11}.t^2 + ... +4{,}983297.\ 10^{-8}.t\ + 17{,}196428.\ 10^{-6} \quad (3.18)$$

✓ Hệ số dẫn nhiệt, W/m.K.

$$\lambda_{kkâ} = 6{,}818181.10^{-10}.t^3 - 1{,}474026.\ 10^{-7}.t^2 + 8{,}029113.10^{-5}.t + 0{,}024084 \quad (3.19)$$

✓ Hệ số khuếch tán của hơi ẩm vào không khí, m^2/s.

$$D_{â} = 1{,}87.\ 10^{-10}\ \frac{(t+273)^{2{,}072}}{p} \quad (3.20)$$

(Với áp suất của KKÂ, atm và trong tính toán thường lấy p = 1, atm)

✓ Nhiệt dung riêng của KKÂ, J/kg.K.

$$C_{p,kkâ} = 1{,}00926.10^3 - 4{,}0403.10^{-2}.t + 6{,}1759.10^{-4}.t^2 - 4{,}097.10^{-7}.t^3 \quad (3.21)$$

✓ Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu

Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu α, W/m^2.^{o}C là một đại lượng quan trọng quyết định cường độ trao đổi nhiệt giữa bề mặt VLS và TNS. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu có thể xác định bằng thực nghiệm hay bằng phương pháp lý thuyết đồng dạng. Trong luận án, chúng tôi sử dụng phương pháp lý thuyết đồng dạng đối với trường hợp truyền nhiệt đối lưu tấm phẳng để xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu [76, 127].

Đối với chế độ dòng chảy thành lớp với Re < 5.10^5, tại vị trí bất kỳ theo phương y trên tấm phẳng theo chiều chuyển động của môi chất, giá trị tiêu chuẩn đồng dạng Nusselt được xác định theo công thức (3.22).

$$Nu_y = \frac{\alpha_y y}{\lambda_{kkâ}} = 0{,}332\ Re_y^{1/2} Pr^{1/3} \text{ với } \Pr \geq 0{,}6 \quad (3.22)$$

Tính theo giá trị trung bình xét trên toàn bộ chiều dài tấm phẳng L, m ta có:

$$Nu = 2Nu_y = \frac{\alpha L}{\lambda_{kk\hat{a}}} = 0{,}664\, Re_y^{1/2} Pr^{1/3} \text{ với Pr} \geq 0{,}6 \quad (3.23)$$

Vậy, $\alpha = 0{,}664\, Re_y^{1/2} Pr^{1/3} \frac{\lambda_{kk\hat{a}}}{L}$ (3.24)

Trong đó :

Tiêu chuẩn đồng dạng Reynold: $Re = \frac{\rho_{kk\hat{a}} \omega_a L}{\mu_{kk\hat{a}}}$

Tiêu chuẩn đồng dạng Prandtl : $\text{Pr} = \frac{\mu C_{p,kk\hat{a}}}{\lambda_{kk\hat{a}}}$

Trong luận án, công thức (3.28) được sử dụng để tính hệ số trao đổi nhiệt đối lưu.

✓ Hệ số trao đổi chất đối lưu

Hệ số trao đổi chất đối lưu β_M, m/s là một đại lượng đặc trưng cho tốc độ trao đổi ẩm giữa bề mặt VLS và TNS. Tương tự như hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tính cho trường hợp tấm phẳng, hệ số trao đổi chất đối lưu cũng có thể được xác định theo phương pháp lý thuyết đồng dạng [128].

Đối với chế độ dòng chảy thành lớp với Re < 5.10^5, tại vị trí bất kỳ theo phương y trên tấm phẳng theo chiều chuyển động của môi chất, giá trị tiêu chuẩn đồng dạng Sherwood được xác định theo công thức (3.25).

$$Sh_y = \frac{\beta_y y}{D_{\hat{a}}} = 0{,}332\, Re_y^{1/2} Sc^{1/3} \quad (3.25)$$

Tính theo giá trị trung bình xét trên toàn bộ chiều dài tấm phẳng L, m ta có:

$$Sh = \frac{\beta L}{D_{\hat{a}}} = 2Sh_y = 0{,}664\, Re_y^{1/2} Sc^{1/3} \quad (3.26)$$

Vậy, $\beta_M = 0{,}664\, Re_y^{1/2} Sc^{1/3} \frac{D_{\hat{a}}}{L}$ (3.27)

Trong đó :

Tiêu chuẩn đồng dạng Schmidt: $Sc = \frac{\mu_{kk\hat{a}}}{\rho_{kk\hat{a}} D_{\hat{a}}}$

Trong luận án, công thức (3.27) được sử dụng để tính hệ số trao đổi chất đối lưu.

3.3. Kết quả xác định các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi

3.3.1. Khối lượng riêng của nấm linh chi

Khối lượng riêng của vật liệu được xác định theo công thức sau:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.28)$$

Trong đó, ρ (kg/m^3) là khối lượng riêng của vật liệu; m (kg) là khối lượng của vật liệu và V (m^3) là thể tích của vật liệu.

Trong đó, thể tích vật liệu mẫu được xác định bằng phương pháp thế chỗ chất lỏng ứng dụng định luật Archimedes với dung môi hữu cơ được sử dụng là Toluen như trong công thức (3.29) [79].

$$V = V_L - \frac{m_{L_t_s} - m_L - m}{\rho_t} \quad (3.29)$$

Trong đó, V_L (m^3) là thể tích của lọ thủy tinh; $m_{L_t_s}$ (kg) là khối lượng tổng của lọ thủy tinh, vật liệu mẫu và dung môi; m_L (kg) là khối lượng của lọ thủy tinh và ρ_t (kg/m^3) là tỷ trọng của dung môi.

Mẫu nấm linh chi sử dụng cho thực nghiệm được cân và ghi chép khối lượng cụ thể (mỗi lần thực nghiệm là 10 g) và cho vào lọ thủy tinh chứa sẵn một nửa lượng Toluen trong lọ. Sau đó tiếp tục cho dung môi Toluen vào lọ đến khi mức Toluen trong lọ đạt tới vạch định mức của lọ thủy tinh và khối lượng hỗn hợp không đổi. Cân khối lượng của toàn lọ bao gồm khối lượng lọ, nấm và Toluen. Mỗi mức ẩm độ sẽ thực nghiệm lặp lại 3 lần và tính kết quả trung bình. Sau khi xác định được khối lượng và thể tích của mẫu vật liệu, tiến hành tính toán theo công thức (3.28) và (3.29) để xác định khối lượng riêng của vật liệu theo các mức ẩm độ khác nhau. Thực nghiệm được lặp lại 3 lần cho mỗi mức ẩm độ của nấm linh chi và tính giá trị trung bình.

Sơ đồ thực nghiệm xác định khối lượng riêng của nấm linh chi được trình bày như hình 3.6.

✓ **Kết quả nghiên cứu xác định khối lượng riêng của nấm linh chi**

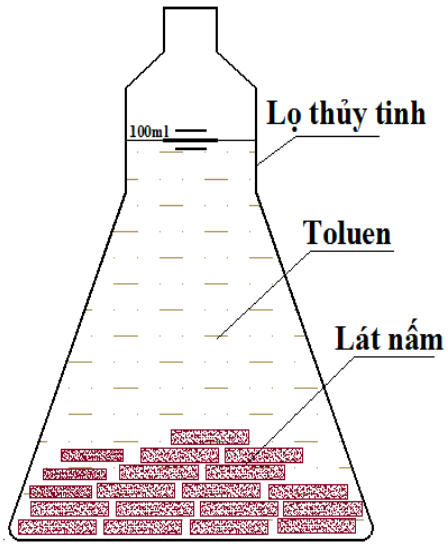
Kết quả thực nghiệm xác định khối lượng riêng của nấm linh chi phụ thuộc vào ẩm độ của nấm được trình bày trong bảng 3.1. Giá trị thu được cho mỗi mức ẩm độ thực nghiệm là giá trị trung bình của ba lần thực nghiệm ứng với mức ẩm độ đó.

Từ số liệu thực nghiệm trong bảng 3.1, xử lý thống kê số liệu thực nghiệm bằng phần mềm SPSS để xác định quan hệ giữa khối lượng riêng và ẩm độ của nấm

linh chi. Kết quả đã xác định được mối quan hệ này là hàm phi tuyến theo công thức (3.30).

$$\rho = 1330{,}9 - 317{,}8.\,M + 154{,}2.\,M^2 - 27{,}8.\,M^3 \quad (3.30)$$

(R^2 = 0,99)



Hình 3.6. Sơ đồ thực nghiệm xác định khối lượng riêng của nấm linh chi

Bảng 3.1. Giá trị khối lượng riêng của nấm linh chi theo ẩm độ

Độ chứa ẩm TB VLS, M (kg Â/ kg VLK)	Khối lượng riêng, ρ (kg/ m^3)
0,18	1281,3
0,33	1238,4
0,61	1186,7
1,00	1142,7
1,78	1095,3
2,33	1076,2

✓ **Nhận xét kết quả thực nghiệm**

Kết quả thực nghiệm cho thấy khối lượng riêng của nấm linh chi phụ thuộc vào ẩm độ của nấm với giá trị giảm khi ẩm độ tăng và có giá trị nằm trong khoảng giữa giá trị khối lượng riêng của nước và khối lượng riêng của vật liệu khô. Khi ẩm

độ càng tăng thì khối lượng riêng càng gần giá trị khối lượng riêng của nước [130, 131]. Giá trị khối lượng riêng của nấm Linh chi nằm trong khoảng giá trị khối lượng riêng của các loại nông sản và phụ thuộc vào ẩm độ của vật liệu như kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các tác giả trước đây về khối lượng riêng của táo, chuối, cà rốt, khoai tây và tỏi [77, 132].

3.3.2. Nhiệt dung riêng của nấm linh chi

Nhiệt dung riêng của nấm linh chi được xác định bằng phương pháp hòa trộn hỗn hợp [83]. Trong đó, bình nhiệt lượng kế được sử dụng để hòa trộn hỗn hợp nước (có nhiệt độ và khối lượng xác định) và mẫu thực nghiệm nấm linh chi (với khối lượng, nhiệt độ và ẩm độ của mẫu nấm linh chi được xác định). Hỗn hợp được khuấy đều bằng que khuấy và thông số nhiệt độ được ghi chép lại liên tục cho tới khi đạt nhiệt độ cân bằng. Khi đó nhiệt dung riêng của vật liệu được xác định theo công thức (3.31).

$$c_s = \frac{(m_c.C_c+m_w.C_w)(t_w-t_e)}{m_s(t_e-t_s)} \quad (3.31)$$

Trong đó:

C_s, C_c và C_w lần lượt là nhiệt dung riêng của mẫu nấm linh chi, của chất làm nhiệt lượng kế và của nước (J/kg.^{o}C). Trong đó, nhiệt lượng kế làm bằng nhôm có nhiệt dung riêng là C_c = 880 J/kg.^{o}C.

m_s, m_c và m_w lần lượt là khối lượng của mẫu nấm linh chi, nhiệt lượng kế và nước (kg).

t_w, t_s và t_e lần lượt là nhiệt độ của nước, mẫu nấm linh chi và nhiệt độ cân bằng của hỗn hợp (^{o}C).

Mẫu nấm linh chi với khối lượng, nhiệt độ và ẩm độ được xác định được cho vào bình nhiệt lượng kế có chứa nước lạnh với khối lượng và nhiệt độ nước được xác định. Hỗn hợp được khuấy đều liên tục bằng que khuấy. Cảm biến nhiệt độ (AYN-MF59-104F-3950FB-1000) được kết nối với máy vi tính thông qua mạch tích hợp đọc dữ liệu nhiệt độ theo thời gian được sử dụng để đọc nhiệt độ hỗn hợp hòa trộn. Nhiệt độ hỗn hợp được cập nhật liên tục cứ 20 giây một lần. Khi hỗn hợp đạt nhiệt độ cân bằng thì nhiệt dung riêng của vật liệu được tính theo công thức

(3.31). Thực nghiệm được lặp lại 3 lần cho mỗi mức ẩm độ của nấm linh chi và tính giá trị trung bình.

Sơ đồ thực nghiệm xác định nhiệt dung riêng của nấm linh chi được trình bày như hình 3.7.

✓ **Kết quả thực nghiệm xác định nhiệt dung riêng của nấm linh chi**

Kết quả thực nghiệm xác định nhiệt dung riêng của nấm linh chi phụ thuộc vào ẩm độ của nấm được trình bày trong bảng 3.2. Giá trị thu được cho mỗi mức ẩm độ thực nghiệm là giá trị trung bình của ba lần thực nghiệm ứng với mức ẩm độ đó.

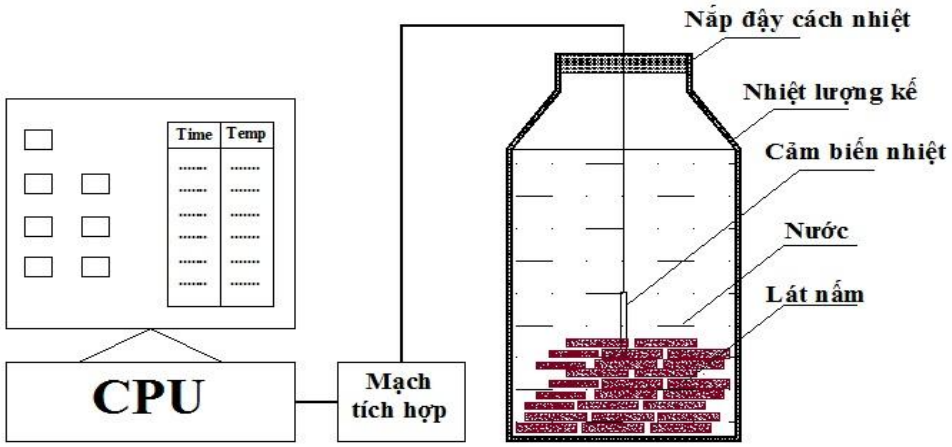
Từ số liệu thực nghiệm trong bảng 3.2, xử lý thống kê số liệu thực nghiệm bằng phần mềm SPSS để xác định quan hệ giữa nhiệt dung riêng và ẩm độ của nấm linh chi. Kết quả đã xác định được mối quan hệ này là hàm phi tuyến theo công thức (3.32).

$$C_p = 3017{,}5 + 541{,}616.\,\mathrm{Ln}(M) \qquad (3.32)$$

(R^2 = 0,99)

✓ **Nhận xét kết quả thực nghiệm**

Kết quả thực nghiệm cho thấy nhiệt dung riêng của nấm linh chi phụ thuộc phi tuyến theo ẩm độ của vật liệu. Giá trị nhiệt dung riêng của nấm linh chi tăng khi ẩm độ tăng và có giá trị trong khoảng giá trị nhiệt dung riêng đã được công bố của các tác giả trước đây đối với các loại nông sản như hạt cây thìa là, hạt bơ, hạt ngũ cốc và hạt quả hồ trăn với kết quả thực nghiệm giá trị nhiệt dung riêng trong khoảng từ 1,1 đến 3,6 kJ/kg.^{o}C [82 - 85].



Hình 3.7. Sơ đồ thực nghiệm xác định nhiệt dung riêng của nấm linh chi

Bảng 3.2. Giá trị nhiệt dung riêng của nấm linh chi theo ẩm độ

Độ chứa ẩm TB VLS, M (kg Â/ kg VLK)	Nhiệt dung riêng, (J/kg.^{o}C)
0,18	2087,3
0,33	2426,1
0,61	2730,6
1,00	3011,8
1,78	3339,8
2.33	3480,3

3.3.3. Ẩm độ cân bằng của nấm linh chi

Nấm linh chi sử dụng cho thực nghiệm được trình bày trong phần 2.1. Nấm linh chi sau khi thu hoạch sẽ được tiến hành sấy bằng tủ sấy không khí nóng ở nhiệt độ 40^{o}C trong 4 ngày để đạt được ẩm độ khoảng khoảng 25 (% cơ sở khô). Ẩm độ này phù hợp cho dải rộng giá trị ẩm độ tương đối của môi trường trong tủ thực nghiệm tại 3 giá trị nhiệt độ thực nghiệm 30, 40 và 50^{o}C. Sau đó, nấm được thái lát mỏng dùng cho quá trình thực nghiệm để giúp cho quá trình thoát và hút ẩm diễn ra trong tủ thực nghiệm nhanh và dễ dàng hơn.

Để đạt được nhiệt độ thực nghiệm theo yêu cầu thì một tủ thực nghiệm được điều khiển tự động được sử dụng. Tủ này có thể điều khiển dải nhiệt độ trong khoảng 20 – 60 ± 0.5^{0}C và giá trị này được đo bởi các cảm biến tiêu chuẩn và được hiển thị trên tap lô của tủ thực nghiệm. Trong khi đó, các muối bão hòa được sử dụng cho thực nghiệm bao gồm: Lithium Chloride, Potassium Fluoride, Magnesium Chloride, Magnesium Nitrate, Potassium Lodide, Sodium Chloride, Potassium Bromide, Potassium Nitrate để tạo ra ẩm tương đối của môi trường thực nghiệm với giá trị từ 11.1 – 93.58 %. Một cân điện tử được sử dụng với giá trị đo tiêu chuẩn là 3000 ± 0.01g. Vật liệu thực nghiệm được trải trên một tấm lưới kim loại không gỉ (20 x 20 cm) để tạo thành lớp mỏng. Tấm lưới được đặt trong một lọ thủy tinh có chứa muối thực nghiệm. Lọ thủy tinh có nắp kín để ngăn cách ẩm độ trong lọ và môi trường ngoài. Khối lượng của vật liệu được cân và ghi chép liên tục

cho tới khi đạt được mức thay đổi về khối lượng dưới giá trị 0.05g. Thông thường mỗi lần thực nghiệm kéo dài từ 4 – 6 ngày. Ẩm độ cuối cùng được xem như là ẩm độ cân bằng động học của vật liệu.

Vật liệu sau đó được sấy kiệt để xác định giá trị ẩm độ cân bằng động học của vật liệu. Quá trình sấy kiệt kéo dài khoảng 24h đến khi khối lượng của vật liệu không thay đổi. Sau khi xác định được giá trị ẩm độ cân bằng động học của vật liệu theo điều kiện nhiệt độ và ẩm độ môi trường thực nghiệm, số liệu thực nghiệm sẽ được xử lý theo phương pháp hồi quy không tuyến tính bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS (SPSS, 2000) để phân tích đánh giá mức độ phù hợp đối với các mô hình toán đã lựa chọn được trình bày cụ thể như sau:

i) Phương trình Modified Henderson (MHE) (Thompson và công sự., 1968) [92]:

$$\varphi = 1 - exp[-A(T+B){\omega_e}^C] \tag{3.33}$$

$$\omega_e = \left[\frac{\ln(1-\varphi}{-A(T+B)}\right]^{\frac{1}{C}} \tag{3.34}$$

ii) Phương trình Chung – Pfost (MCP) (Pfost và cộng sự,1976) [93]:

$$\varphi = exp\left[\frac{-A}{(t+B)}\exp(-C\omega_e)\right] \tag{3.35}$$

$$\omega_e = A - C.ln[-(t+B)\ln\varphi)] \tag{3.36}$$

iii) Phương trình Modified Oswin (MOS) (Oswin, 1946) [94]

$$\varphi = \frac{1}{1+[(A+Bt)/\omega_e]^C} \tag{3.37}$$

$$\omega_e = (A+Bt)\left[\frac{1-\varphi}{\varphi}\right]^{-\frac{1}{C}} \tag{3.38}$$

iv) Phương trình Modified Halsey (MHA) (Iglesias & Chirife,1976) [95]

$$\varphi = exp[-exp(A+Bt){\omega_e}^{-C}] \tag{3.39}$$

$$\omega_e = exp(A+Bt)[-\ln(\varphi]^{-\frac{1}{C}} \tag{3.40}$$

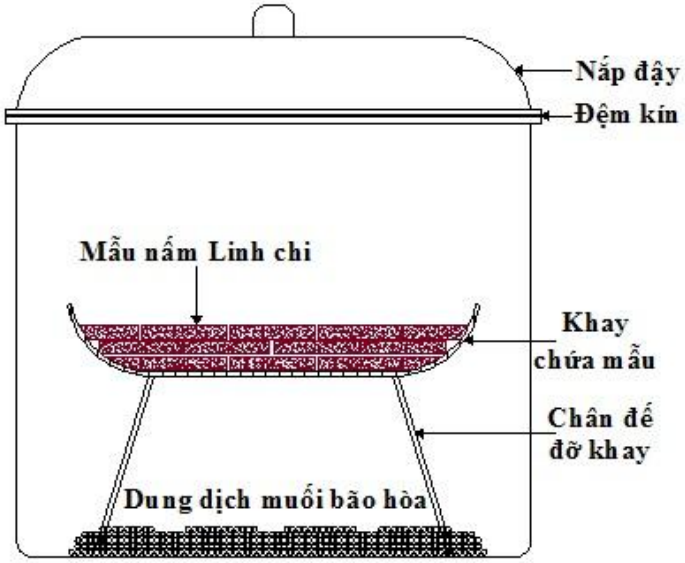
Trong đó,

φ là ẩm độ trương đối của môi trường thực nghiệm (%).

ω_e là ẩm độ cân bằng của vật liệu (% cơ sở khô).

t là nhiệt độ của môi trường thực nghiệm, (^oC)

A, B, và C là các hệ số và có giá trị khác nhau trong mỗi phương trình.



Hình 3.8. Sơ đồ thực nghiệm xác định ẩm độ cân bằng của nấm linh chi

✓ **Kết quả nghiên cứu xác định ẩm độ cân bằng của nấm linh chi**

Kết quả thực nghiệm xác định ẩm độ cân bằng của nấm linh chi theo nhiệt độ và ẩm độ môi trường thực nghiệm được trình bày trong bảng 3.3. Số liệu thực nghiệm trong bảng 3.3 được xử lý theo phương pháp hồi quy không tuyến tính bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS để phân tích đánh giá mức độ phù hợp đối với các mô hình toán đã lựa chọn. Ba thông số quy hoạch thực nghiệm bao gồm Sai số của trung bình (SEE); Tổng bình phương sai số (RSS) và hệ số tương quan R^2 được trình bày trong bảng 3.4.

Từ giá trị bảng 3.4 cho thấy hai thông số sai số SEE và RSS có giá trị thấp nhất và hệ số tương quan R^2 là cao nhất đối với phương trình modified Chung–Pfost. Vậy, phương trình modified Chung–Pfost được chọn để biểu diễn mối quan hệ của ẩm độ cân bằng của nấm linh chi theo nhiệt độ và ẩm độ tương đối của môi trường và được thiết lập như phương trình (3.41).

$$\omega_e = 0{,}403 - 0{,}069.\, ln[-(T + 24{,}05)\ln(\varphi)] \quad (3.41)$$

$$\varphi = exp\left[\frac{-301{,}508}{(t+17{,}938)}\ \exp(-14{,}355.\, \omega_e)\right] \quad (3.42)$$

Bảng 3.3. Số liệu thực nghiệm về ẩm độ cân bằng của nấm linh chi

Nhiệt độ của môi trường thực nghiệm (^oC)	Ẩm độ tương đối của môi trường thực nghiệm (%)	Ẩm độ cân bằng của nấm linh chi (% cơ sở khô)
30	11,28	7,44
	21,61	9,86
	32,44	12,09
	51,4	16,12
	67,89	19,22
	75,09	21,04
	80,27	22,94
	93,58	30,73
40	11,21	5,02
	22,68	8,74
	31,6	10,61
	48,42	13,26
	66,09	17,71
	74,68	20,52
	79,43	22,33
	89,03	26,35
50	11,1	4,93
	20,8	7,53
	30,54	9,47
	45,44	11,81
	64,49	15,88
	74,43	18,65
	79,02	20,58
	84,78	23,51

Bảng 3.4. Các thông số quy hoạch thực nghiệm cho ẩm độ cân bằng của nấm linh chi

Mô hình toán	**Hệ số**			**SEE**	**RSS**	**R^2**
	A	**B**	**C**			
Modified Henderson (i)	0,484	26,452	1,965	0,0229	0,011	0,994
Modified Halsey (iii)	-3,71	-0,018	2,012	0,0458	0,044	0,97

Mô hình toán	Hệ số			SEE	RSS	R^2
	A	B	C			
Modified Chungfost (v)	301,51	17,94	14,35	0,014	0,004	0,998
Modified Owsin (vii)	0,185	-0,001	0,351	0,0267	0,015	0,992
Modified Henderson (ii)	0,367	44,307	1,951	0,0069	0,001	0,992
Modified Halsey (iv)	-5,213	-0,008	2,569	0,0182	0,007	0,94
Modified Chungfost (vi)	0,403	24,05	0,069	10-4	10-4	0,997
Modified Owsin (viii)	0,161	-0,001	0,313	0,0119	0,003	0,976

3.3.4. Ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi

Ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong vật liệu (r) được xác định theo công thức Clausius-Clapeyron, trong đó giá trị r được cho là hằng số giữa hai trạng thái với các thông số nhiệt độ và ẩm độ tương đối của TNS. Ứng dụng công thức của Brokker và cộng sự, 1992 [96] để xác định tỉ số:

$$\frac{r}{h} = \frac{\ln(\varphi_1.P_{vs1}) - \ln(\varphi_2.P_{vs2})}{\ln P_{vs1} - \ln P_{vs2}} \quad (3.43)$$

Trong đó: φ_1, φ_2 là ẩm độ tương đối (%) của TNS ở trạng thái 1 và 2; P_{vs1}, P_{vs2} là áp suất hơi bão hòa (kPa) tại trạng thái 1 và 2. Hai trạng thái được thể hiện bởi hai giá trị cận của thông số nhiệt độ cụ thể như sau:

$t_1 = t + \Delta t$ và $t_2 = t - \Delta t$ ($\Delta t = 1^oC$). (3.44)

φ được xác định bởi công thức biểu diễn mối quan hệ giữa ẩm độ tương đối của tác nhân sấy φ và ẩm cân bằng của nấm linh chi ω_e. Công thức này chính là công thức hiệu chỉnh theo phương trình Chung – Pfost như trong công thức (3.42).

$$\varphi = exp\left[\frac{-301{,}508}{(t+17{,}938)} \exp(-14{,}355.\omega_e)\right] \quad (3.42)$$

Trong đó, t là nhiệt độ tác nhân sấy (^oC); φ là ẩm độ tương đối của môi trường tác nhân sấy (%); ω_e là ẩm độ cân bằng của nấm linh chi (% cơ sở khô).

Áp suất hơi bão hòa được xác định bằng phương pháp quy hoạch hồi quy không tuyến tính để hiệu chỉnh theo công thức của Wilton Pereira da Silva (2012) [101] như công thức (3.45).

$$P_{vs} = e^{\left[A + \frac{B}{t+273} + C.Ln(t+273)\right]} \quad (3.45)$$

Trong đó, t là nhiệt độ (^oC); A, B và C là các hệ số hiệu chỉnh cho công thức (3.45).

Công thức tính ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do được xác định theo phương pháp quy hoạch hồi quy tuyến tính để hiệu chỉnh theo công thức (3.46).

$$h = A.t + B \quad (3.46)$$

Trong đó, t là nhiệt độ (^oC); A và B là các hệ số hiệu chỉnh cho công thức (3.46).

Trong quá trình tính toán, 5 mức ẩm độ cân bằng là 0,1; 0;15; 0,2; 0,25 và 0,3 (cơ sở khô) và 4 mức nhiệt độ 35, 40, 45 và 50^oC được sử dụng.

Các số liệu được xử lý thống kê bằng phương pháp Giới hạn sai khác nhỏ nhất (LSD - Least significant difference) với mức ý nghĩa 95% (P < 0,05)

✓ **Kết quả xác định ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi**

Áp suất hơi nước bão hòa và ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do được xác định theo nhiệt độ. Tra bảng "Hơi nước bão hòa theo nhiệt độ" và "Ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do theo nhiệt độ" [102] và xử lý số liệu theo phương pháp hồi quy để xác định các giá trị này theo công thức (3.45) và (3.46). Kết quả xử lý hồi quy đã xác định được phương trình (3.47) và (3.48).

$$P_{vs} = e^{\left[48{,}791 - \frac{6619.731}{t+273} - 4{,}463.Ln(t+273)\right]} \quad (3.47)$$

(R^2 = 1,0)

$$h = 2501{,}825 - 2{,}406.t \quad (3.48)$$

(R^2 = 1,0)

Với các mức giá trị nhiệt độ tác nhân sấy và ẩm độ cân bằng của nấm linh chi, áp dụng công thức (3.42), (3.43), (3.47) và (3.48) lần lượt tính được giá trị ẩm độ tương đối của tác nhân sấy, áp suất hơi bão hòa, ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do, tỉ số *r/h* và ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi. Khi đó, giá trị ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi được xác định theo nhiệt độ TNS và ẩm độ cân bằng của vật liệu như trong bảng 3.5.

Từ số liệu tính toán ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi trong bảng 3.5, đồ thị biểu diễn mối quan hệ của ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi theo

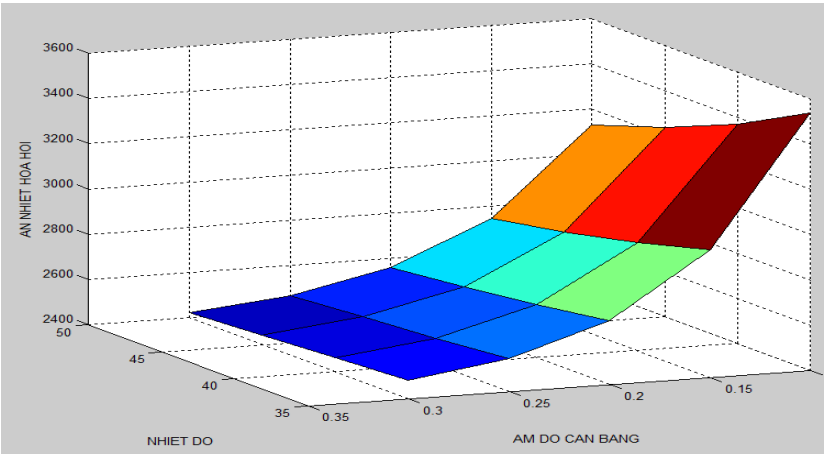
nhiệt độ TNS và độ ẩm cân bằng của nấm linh chi được trình bày như hình 3.9. Xử lý thống kê số liệu trong bảng 3.5, kết quả xây dựng được quan hệ giữa ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi theo nhiệt độ TNS và ẩm độ cân bằng của nấm linh chi như công thức (3.49).

$$r = \quad 616{,}561.\,\omega_e{}^{(-0{,}938+0{,}008.t)} + \quad 3{,}796.\,t^{(1{,}428-0{,}703.\omega_e)} + \cdots$$
$$\ldots + 2995{,}509.\,\omega_e - 2{,}055.\,t \qquad (3.49)$$

(R^2 = 1,0).

Bảng 3.5. Giá trị ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi

Ẩm độ cân bằng (cơ sở khô)	Nhiệt độ TNS (^oC)			
	35	40	45	50
0,10	3537,60	3370,451	3236,880	3127,645
0,15	2963,996	2876,290	2804,966	2745,514
0,20	2684,163	2635,214	2594,257	2559,092
0,25	2547,647	2517,606	2491,463	2468,146
0,30	2481,048	2460,231	2441,315	2423,779



Hình 3.9. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi theo nhiệt độ TNS và độ ẩm cân bằng của nấm linh chi

✓ **Nhận xét kết quả thực nghiệm**

Số liệu trong bảng 3.5 và đồ thị hình 3.9 cho thấy giá trị ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong nấm linh chi giảm khi nhiệt độ TNS và ẩm độ cân bằng của nấm linh chi tăng. Điều này là hoàn toàn hợp lý với lý thuyết về động học quá trình sấy. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Wilton (2012) về ẩn nhiệt hóa hơi của ẩm trong chuối trong quá trình sấy [101].

3.3.5. Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả của nấm linh chi

Nấm linh chi sử dụng cho thực nghiệm được trình bày trong phần 2.1. Nấm sau khi thu hoạch có độ chứa ẩm TB VLS là 3 (kg Â/ kg VLK), đướng kính nấm 150 mm, bề dày 15 mm được làm sạch bằng khăn giấy khô. Độ chứa ẩm ban đầu của VLS được xác định theo mục 2.3.2.1.

Thực nghiệm sấy lớp mỏng nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF tại nhiệt độ TNS là 40, 45 và 50^{o}C, vận tốc TNS là 1,2 m/s, công suất bộ phát RF là 0,65, 1,3 và 1,95 kW. Thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF được trình bày trong mục 2.3.1.1. Nấm Linh chi được trải đều thành lớp mỏng trong khay sấy có cấu tạo nhiều lỗ dạng lưới với kích thước 750×650×5 mm và được cho vào buồng sấy giữa hai bản điện cực RF cách nhau 150 mm để thực hiện quá trình sấy. Khối lượng vật liệu được cân và ghi chép thường xuyên cứ sau 20 phút một lần bằng cân điện tử (Electronic scale – DS – 2002N) với giá trị đo tiêu chuẩn là 3000 ± 0.01g. Mỗi mức thực nghiệm được lặp lại 3 lần và lấy giá trị trung bình làm dữ liệu thực nghiệm. Quá trình sấy thực nghiệm được thực hiện cho tới khi giá trị độ chứa ẩm TB VLS đạt 0,15 ± 0,002 (kg Â/ kg VLK). Đây là ẩm độ yêu cầu để bảo quản khô cho nấm linh chi.

Tốc độ giảm ẩm (MR) là một đại lượng không thứ nguyên biểu diễn quá trình sấy theo thời gian (t) và được tính theo công thức (3.50)

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \tag{3.50}$$

Trong đó, M (kg Â/ kg VLK) là độ chứa ẩm TB VLS tại thời điểm τ ; M_e (kg Â/ kg VLK) là độ chứa ẩm cân bằng của VLS ; M_i (kg Â/ kg VLK) là độ chứa ẩm ban đầu VLS .

Truyền ẩm dưới hình thức khuếch tán lỏng, phân tử và hơi theo các phương pháp truyền ầm khác nhau là các cơ chế cần thiết để hiệu chỉnh hệ số khuếch tán ẩm của vật liệu [133]. Định luật Fick 2 là cơ sở cho nghiên cứu về hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả và công thức tính được rút ra từ mô hình lý thuyết xác định hệ số khuếch tán ẩm đối với các lát mỏng vật liệu dạng tấm như trong công thức (3.51) [109].

$$LnMR = Ln\frac{8}{\pi^2} - \left(\frac{\pi^2 D}{4.\delta^2}\right).\tau \tag{3.51}$$

Trong đó, δ là nửa độ dày của lớp vật liệu (m) ; τ là thời gian (s)

Công thức (3.51) được biểu diễn bằng đồ thị dạng đường thẳng thể hiện mối quan hệ của LnMR theo τ. Trong đó D được xác định theo độ nghiêng (góc nghiêng) X_1 khi đặt:

$$X_1 = -D\left(\frac{\pi}{2\delta}\right)^2 \quad (3.52)$$

Hoạt độ năng lượng là một thông số thể hiện về năng lượng cần thiết để phân tử nước có thể thắng được lực liên kết trong quá trình truyền ẩm trong vật liệu. Công thức Arrhenius được dùng để tính năng lượng hoạt động. Công thức Arrhenius thể hiện ảnh hưởng của nhiệt độ đối với hằng số khuếch tán và hoạt độ năng lượng như trong công thức (3.53):

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{E_a}{RT_a}\right)} \quad (3.53)$$

Trong đó, D_0 là hằng số khuếch tán hay hệ số Arrhenius (m^2/s) ; T_a là nhiệt độ tuyệt đối của TNS (K) ; E_a là hoạt độ năng lượng (kJ/mol) ; R là hằng số khí (8,3143 kJ/mol.K)

Ta lấy Ln hai vế của phương trình (3.53) ta được:

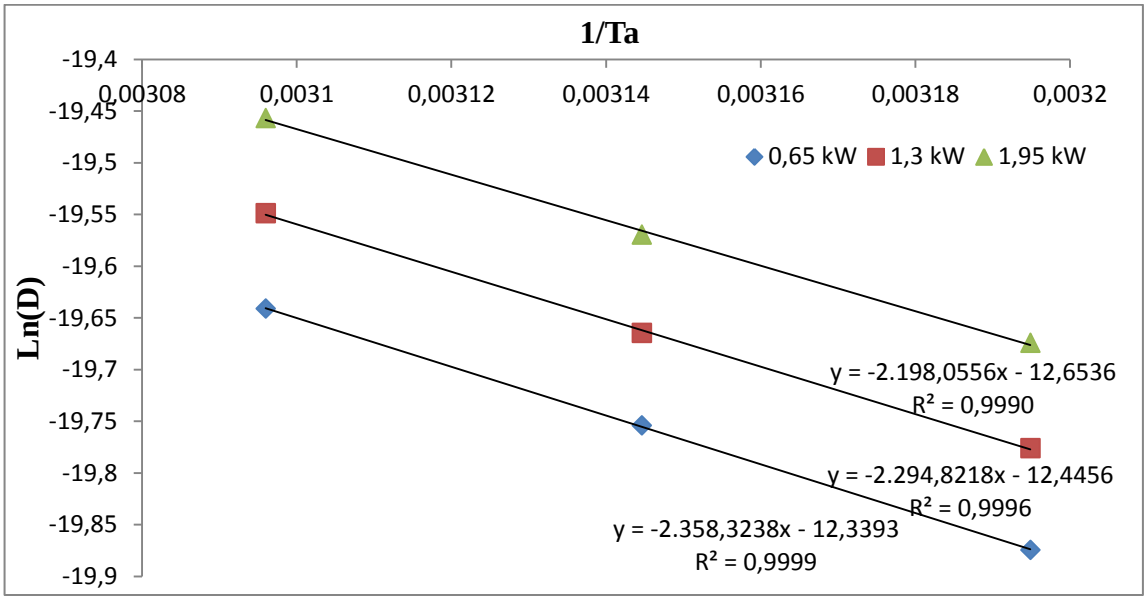
$$LnD = \left(-\frac{E_a}{R}\right)\frac{1}{T_a} + LnD_0 \quad (3.54)$$

Công thức (3.54) biểu diễn mối quan hệ giữa LnD và $1/T_a$ theo đồ thị là một đường thẳng với độ nghiêng (góc nghiêng) được thể hiện bằng giá trị của $-E_a/R$.

Từ số liệu thực nghiệm về tốc độ giảm ẩm theo thời gian, thiết lập đồ thị dạng đường thẳng thể hiện mối quan hệ của LnMR theo τ. D được xác định theo độ nghiêng: $X_1 = -D\left(\frac{\pi}{2L}\right)^2$.

Ta vẽ đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa LnD và $1/T_a$ sử dụng giá trị thông số thực nghiệm của LnD và $1/T_a$. Từ đó ta xác định được giá trị của $-E_a/R$ và D_o.

Từ kết quả tính toán D, đồ thị quan hệ giữa Ln(D) và $1/T_a$ được thiết lập như trong hình 3.10. Từ đồ thị, giá trị E_a và D_o được xác định. Giá trị D được trình bày trong bảng 3.6 và bảng 3.7.



Hình 3.10. Đồ thị quan hệ giữa Ln(D) và $1/T_a$

Bảng 3.6. Giá trị hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả và hoạt độ năng lượng

Thông số	Nhiệt độ (^oC)	Công suất bộ phát RF		
		0,65 kW	1,3 kW	1,95 kW
Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả (m^2/s)	40	$2,34.10^{-9}$	$2,58.10^{-9}$	$2,85.10^{-9}$
	45	$2,64.10^{-9}$	$2,89.10^{-9}$	$3,18.10^{-9}$
	50	$2,95.10^{-9}$	$3,24.10^{-9}$	$3,54.10^{-9}$
Hoạt độ năng lượng (kJ/mol)		19,61	19,07	18,27

Bảng 3.7. Hàm hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả theo chế độ sấy

Công suất bộ phát RF	Hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả (m^2/s)
0.65 kW	$D = 4.376 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2358}{(t_a + 273.2)}\right)$
1.3 kW	$D = 3.935 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2294}{(t_a + 273.2)}\right)$
1.95 kW	$D = 3.196 \times 10^{-6} \times Exp\left(-\frac{2198}{(t_a + 273.2)}\right)$

✓ **Nhận xét kết quả thực nghiệm**

Giá trị hệ số khuếch tán ẩm của nấm linh chi trong bảng 3.6 cho thấy khi tăng nhiệt độ sấy và tăng công suất bộ phát RF sẽ giúp tăng giá trị hệ số khuếch tán ẩm của nấm linh chi với giá trị trong khoảng từ 10^{-7} đến 10^{-11} m^2 /s. Giá trị hệ số khuếch tán ẩm của nấm linh chi theo thực nghiệm là phù hợp với kết quả các nghiên cứu trước đây về hệ số khuếch tán ẩm của các loại nông sản khác nhau như táo, hạt cải dầu và cà chua [73, 105, 133, 134].

3.3.6. Hệ số dẫn nhiệt của nấm linh chi

Choi và Okos [103] đã có kết quả nghiên cứu về hệ số dẫn nhiệt của các thành phần chất trong vật liệu ẩm trong dải nhiệt độ 0 – 90 ^oC như sau.

$$\lambda_w = 5{,}7109.10^{-1} + 1{,}7625.10^{-3}.t - 6{,}7036.10^{-6}t^2$$

$$\lambda_p = 1{,}7881.10^{-1} + 1{,}1958.10^{-3}.t - 2{,}7178.10^{-6}t^2$$

$$\lambda_F = 1{,}8071.10^{-1} + 2{,}7604.10^{-3}.t - 1{,}7749.10^{-7}t^2$$

$$\lambda_{CHO} = 2{,}0141.10^{-1} + 1{,}3874.10^{-3}.t - 4{,}3312.10^{-6}t^2$$

$$\lambda_{ASH} = 3{,}2962.10^{-1} + 1{,}4011.10^{-3}.t - 2{,}9069.10^{-6}t^2$$

$$\lambda_{Fi} = 1{,}8331.10^{-1} + 1{,}2497.10^{-3}.t - 3{,}1683.10^{-6}t^2$$

Trong đó, $\lambda_w, \lambda_p, \lambda_F, \lambda_{CHO}, \lambda_{ASH}, \lambda_{Fi}$ lần lượt là hệ số dẫn nhiệt của các thành phần ẩm, đạm, chất béo, Cacbonhydrate, tro và thớ sợi trong vật liệu.

Ta thấy nước (ẩm) có hệ số dẫn nhiệt cao nhất so với các thành phần chất khác trong vật liệu ẩm. Rao và cộng sự, [104] đã trình bày công thức tính hệ số dẫn nhiệt của thực phẩm dựa trên cơ sở về hệ số dẫn nhiệt của các thành phần chất trong vật liệu ẩm của Choi và Okos [103] như sau:

$$\lambda = \mathrm{x}_w.\lambda_w + \mathrm{x}_p.\lambda_p + \mathrm{x}_F.\lambda_F + \mathrm{x}_{CHO}.\lambda_{CHO} + \mathrm{x}_{ASH}.\lambda_{ASH} + \mathrm{x}_{Fi}.\lambda_{Fi} \qquad (3.55)$$

Trong đó, $x_w = \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{M}+1}$; $x_i = x_i^0.\left(1 - \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{M}+1}\right)/(1 - x_w^0)$

với λ_i $(W/m.^o C)$ và x_i là hệ số dẫn nhiệt và thành phần phần trăm của các thành phần chất trong vật liệu ẩm.

Trong luận án, công thức (3.55) được sử dụng để xác định hệ số dẫn nhiệt của nấm linh chi.

Sau khi xét mẫu tại Viện Công nghệ sinh học, trường ĐH Nông Lâm TP.HCM, thành phần phần trăm ban đầu của các thành phần chất trong nấm linh chi được trình bày cụ thể như trong bảng 3.8.

Bảng 3.8. Thành phần phần trăm ban đầu của các thành phần chất trong nấm linh chi

Thành phần chất	x_w^0	x_P^0	x_F^0	x_{CHO}^0	x_{ASH}^0	x_{Fi}^0
% thành phần (giá trị TB)	0,0003	0,0752	0,0405	0,274	0,018	0,592

3.3.7. Công suất gia nhiệt của bộ phát sóng RF

Công suất gia nhiệt có thể được xác định theo độ tăng nhiệt độ trong vật liệu do tương tác giữa vật liệu sấy và điện trường được tính theo công thức (3.56) [110, 111].

$$q_{RF} = \rho C_p \frac{\Delta t}{\Delta \tau} \quad (\text{kW/m}^3) \tag{3.56}$$

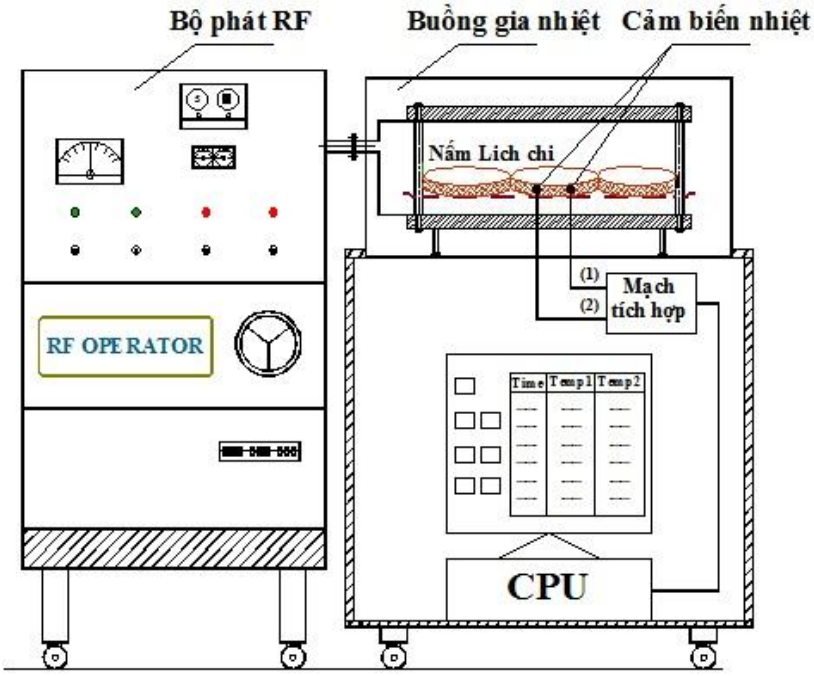
Trong đó, ρ là khối lượng riêng của vật liệu, kg/m^3; C_p nhiệt dung riêng đẳng áp của vật liệu, J/kg ^{o}C; Δt là độ tăng nhiệt độ bên trong vật liệu, ^{o}C; $\Delta \tau$ là khoảng thời gian gia nhiệt.

Thực nghiệm xác định công suất gia nhiệt của bộ phát ở ba mức công suất của bộ phát 0,65; 1,3 và 1,95 kW. Ứng với mỗi mức công suất điện của bộ phát sẽ tiến hành thực nghiệm với các mức ẩm độ của mẫu vật liệu.

Tiến hành thực nghiệm với các mẫu nấm linh chi có giá trị độ chứa ẩm TB VLS là 0,18; 0,33; 0,61; 1,00; 1,78; 2,33 (kg Â/ kg VLK). Vật liệu được xếp đầy vào khay có cấu tạo nhiều lỗ dạng lưới với kích thước 750×650×5 mm và được cho vào buồng sấy giữa hai bản điện cực RF cách nhau 15 cm. Nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ sau khoảng thời gian gia nhiệt $\Delta \tau$ (1800s) được đo bằng cảm biến nhiệt độ (AYN-MF59-104F-3950FB-1000) được kết nối với máy tính thông qua một mạch tích hợp đọc dữ liệu nhiệt độ theo thời gian. Đầu cảm biến nhiệt được cho vào bên trong nấm linh chi. Giá trị nhiệt độ của vật liệu theo thời gian gia nhiệt được ghi chép cứ 20 giây một lần. Giá trị nhiệt độ ban đầu của nấm nằm trong khoảng từ 29

- 31^{o}C. Mỗi mức ẩm độ được tiến hành thực nghiệm 3 lần với từng mức công suất của bộ phát. Giá trị q_{RF} được tính theo công thức 3.56.

Từ số liệu thực nghiệm, ta tiến hành phân tích dữ liệu thực nghiệm bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS để xác định hàm quan hệ giữa công suất gia nhiệt theo ẩm độ của vật liệu và công suất của bộ phát.



Hình 3.11. Sơ đồ thực nghiệm xác định công suất bộ phát RF

✓ **Kết quả xác định công suất gia nhiệt của bộ phát RF**

Giá trị công suất gia nhiệt của bộ phát RF tại các mức ẩm độ của vật liệu và giá trị công suất của bộ phát RF xác định theo thực nghiệm được trình bày trong bảng 3.9.

Từ số liệu thực nghiệm trong bảng 3.9, tiến hành phân tích dữ liệu thực nghiệm bằng phần mềm quy hoạch thực nghiệm SPSS để xác định hàm quan hệ của công suất gia nhiệt, q_{RF} (kW/ m^3) theo ẩm độ của vật liệu và giá trị công suất của bộ phát RF, P_{RF}. Kết quả hàm quan hệ được trình bày như trong công thức (3.57).

$$q_{RF} = 4{,}171 - 4{,}132.\mathrm{M}^2 + 3{,}213.P_{RF}^2 + 13{,}979.\mathrm{M} - 0{,}737.P_{RF} + 5{,}330.\mathrm{M}.P_{RF} \quad (3.57)$$

($R^2 = 0{,}996$)

✓ **Nhận xét kết quả thực nghiệm**

Kết quả trong bảng 3.9 cho thấy khi tăng công suất bộ phát RF và khi ẩm độ

vật liệu tăng sẽ tăng công suất gia nhiệt, tức tăng lượng hấp thụ năng lượng sóng RF của ẩm trong vật liệu. Tại cùng mức công suất bộ phát RF, tốc độ gia nhiệt tại mức ẩm độ cao hơn sẽ cao hơn. Tại cùng mức giá trị ẩm độ của vật liệu, khi công suất bộ phát RF tăng, tốc độ gia nhiệt cũng tăng. Cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF tương tự như kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm của các tác giả trước đây về thông số công suất gia nhiệt của bộ phát RF khi gia nhiệt cho các loại nông sản, thực phẩm như hạt lúa mì, hạt ngũ cốc, quả hạnh nhân và bột các loại rau củ khô[110 - 114].

Bảng 3.9. Giá trị công suất gia nhiệt của bộ phát RF theo ẩm độ của vật liệu và công suất bộ phát RF

Công suất bộ phát RF, P_{RF} (kW)	Độ chứa ẩm TB VLS, M (kg Â/ kg VLK)	Công suất gia nhiệt, q_{RF} (kW/m^3)
0,65	0,18	9,367
	0,33	11,973
	0,61	14,684
	1,00	18,585
	1,78	23,282
	2,33	25,060
1,3	0,18	12,917
	0,33	17,959
	0,61	22,516
	1,00	27,239
	1,78	34,188
	2,33	37,029
1,95	0,18	20,607
	0,33	25,741
	0,61	32,305
	1,00	38,617
	1,78	47,777

	2,33	51,990

3.4. Lý thuyết giải phương trình vi phân truyền nhiệt truyền chất trong sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio.

Hệ phương trình vi phân riêng phần (PDEs) là một lớp các bài toán hệ phương trình vi phân có hơn một biến độc lập. Phương trình tổng quát của hệ phương trình PDE có dạng:

$$A(x,y)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B(x,y)\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C(x,y)\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x,y,u,\frac{\partial u}{\partial x},\frac{\partial u}{\partial y}) \quad (3.58)$$

Với biến x, y trong miền: $x_0 < x < x_f; y_0 < y < y_f$

Và thỏa mãn điều kiện biên là các hàm điều kiện dọc theo biên của x và y. Thông thường, bài toán vi phân riêng phần thường có các loại biên như biên Dirichlet: $u = b_0$, biên Neumann $(\frac{\partial u}{\partial x},\frac{\partial u}{\partial y}) = b_0$ và biên hỗn hợp giữa biên Dirichlet và Neumann.

Tùy theo điều kiện $B^2 - 4AC$, ta có các loại bài toán PDE Elip, Parabol hay Hyperbol:

$Elip\ PDE$ nếu: $B^2 - 4AC < 0$

Parabol $PDE\ nếu$: $B^2 - 4AC = 0$ (3.59)

Hyperbol $PDE\ nếu$: $B^2 - 4AC > 0$

Để giải bài toán này, phương pháp sai phân được áp dụng. Trước hết, ta chia miền không gian x [0; x_f] thành N phần tử với chiều dày $\Delta x = x_f/N$ và chia miền thời gian τ thành K phần tử với thời gian $\Delta\tau$ = T/K, với T là tổng thời gian. Việc tìm hàm t(x,τ) và M(x,τ) trở thành việc tìm nghiệm tại các điểm nút t_i^j, M_i^j với i=1,2,…,N; j=1,2,…,K. (ký hiệu T và t)

Ta xét xấp xỉ phương trình vi phân riêng phần của hàm u(x,τ) bằng xấp xỉ sai phân bậc nhất và bậc hai (cụ thể theo sơ đồ sai phân hiện):

$$\begin{cases} \left.\frac{\partial u(x,t)}{\partial t}\right|_{x_i,\tau_k} \approx \frac{u_i^{j+1}-u_i^j}{\Delta\tau} \\ \left.\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}\right|_{x_i,\tau_k} \approx \frac{u_{i+1}^j-2u_i^j+u_{i-1}^j}{(\Delta x)^2} \end{cases} \quad (3.60)$$

Với i =1,2,…,N-1; j=1,2,…,K

Bài toán có điều kiện biên dạng Neumann dưới dạng:

$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x=0} = b_0$$
$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x\equiv x_s} = b_1$$

Ta có xấp xỉ

$$\begin{aligned} &\frac{u_1^j-u_0^j}{\Delta x} = b_0(j) \\ &\frac{u-u_{N-1}^j}{\Delta x} = b_1(j) \end{aligned} \quad (3.61)$$

Đưa (3.59), (3.60) vào (3.61), ứng với mỗi bước thời gian τ, ta thu được hệ phương trình N phương trình với N ẩn t_i^k và giải quyết được bằng thuật toán khử Gauss.

Trên thực tế, (3.60) là một hệ phương trình của t và M. Nếu đặt biến $u = \begin{bmatrix} t \\ M \end{bmatrix}$, từ một hệ phương trình vi phân riêng phần ta thu về một phương trình vi phân riêng phần với biến là một vector u.

Bài toán truyền nhiệt và truyền ẩm thực chất là hệ phương trình vi phân parabol PDE. Với trường hợp bài toán truyền nhiệt và ẩm một chiều, đó là bài toán tìm hàm nhiệt và ẩm theo không gian (chiều dày vật liệu) và thời gian. Trong phạm vi đề tài, hệ phương trình truyền nhiệt truyền chất và các phương trình điều kiện biên được viết dưới dạng sai phân cụ thể như sau:

- Dạng sai phân của hệ phương trình truyền nhiệt truyền chất:

$$\begin{cases} \frac{t_i^{j+1}-t_i^j}{\Delta\tau} = \frac{1}{\rho^j.C_p^j}\lambda^j \frac{t_{i+1}^j-2t_i^j+t_{i-1}^j}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{\rho^j.C_p^j} r.\rho_k \frac{M_i^{j+1}-M_i^j}{\Delta\tau} + \frac{1}{\rho^j.C_p^j} q_{RF}^j \\ \frac{M_i^{j+1}-M_i^j}{\Delta\tau} = D\frac{M_{i+1}^j-2M_i^j+M_{i-1}^j}{(\Delta x)^2} \end{cases} \quad (3.62)$$

- Dạng sai phân của phương trình điều kiện biên:

$$-\lambda^j \frac{t_{i+1}^j - t_i^j}{\Delta x} = \alpha.(t_a - t_i^j) - r.\rho_k.\beta_M.(M_i^j - M_e^j) \quad (3.63)$$

$$-D \frac{M_{i+1}^j - M_i^j}{\Delta x} = \beta_M.(M_i^j - M_e^j) \quad (3.64)$$

Trong thực tế, để thuận tiện cho tính toán và sử dụng, Matlab và các phần mềm bổ trở cho Matlab đều có toolbox mạnh để giải quyết các bài toán PDEs.

Trong Matlab, bài toán vi phân riêng phần một chiều được giải bằng hàm pdepe. Hàm pdepe thực chất là biến thể của hàm giải phương trình vi phân thường ode15s.

Trong phạm vi bài toán truyền nhiệt và truyền ẩm được đề suất trong luận án cần giải quyết, chương trình Heattransfer được phát triển trên nền Matlab để giải quyết bài toán trên. Trong hàm Heattransfer, bài toán PDEs được giải dựa trên hàm pdepe và có điều chỉnh và phát triển bổ xung thêm.

3.5. Phân tích lý thuyết động học quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio

3.5.1. Phân tích ảnh hưởng của thông số công suất bộ phát RF

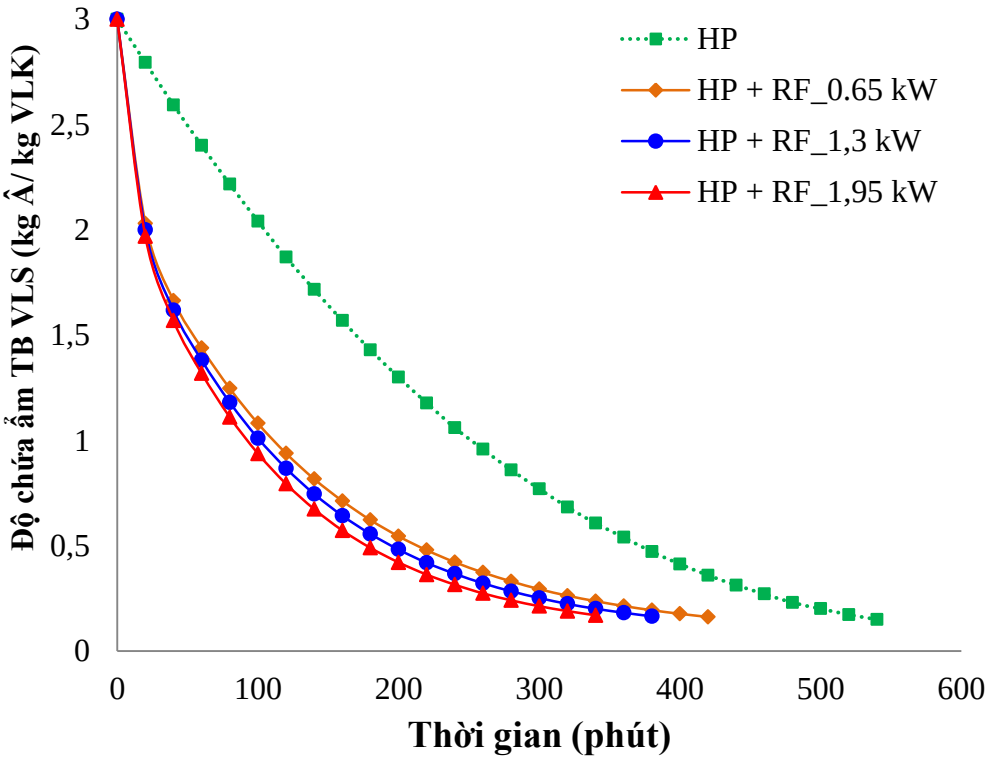
Để phân tích ảnh hưởng của thông số công suất bộ phát RF trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF, giá trị các thông số đầu vào cụ thể như: nhiệt độ TNS là 50^{o}C; vận tốc TNS là 1,2 m/s và công suất bộ phát RF là 0; 0,65; 1,3 và 1,95 kW. Trong đó công suất bộ phát RF, P_{RF} = 0 kW tương ứng với chế độ sấy chỉ sử dụng bơm nhiệt.

3.5.1.1. Đường cong sấy

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa sự thay đổi độ chứa ẩm TB VLS theo thời gian trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được mô phỏng dựa trên kết quả giải HPTTNTA như trong hình 3.12.

Kết quả đường cong sấy trong hình 3.12 cho thấy xu hướng giảm ẩm của nấm linh chi trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio tương ứng với các chế độ sấy là tương đối giống nhau. Kết quả cho thấy khi tăng công suất bộ phát RF sẽ giúp rút ngắn đáng kể thời gian sấy. Điều này được giải thích do khi tăng công suất bộ phát RF, VLS sẽ hấp thụ năng lượng sóng RF nhiều hơn sẽ giúp tăng tốc độ gia nhiệt. Khi đó, quá trình khuếch tán ẩm trong VLS sẽ diễn ra nhanh hơn giúp

tăng tốc độ sấy. Cơ chế này tương tự như cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF đối với các loại nông sản như quả óc chó và bột ngô của các tác giả nghiên cứu trước đây [135, 136]. Tại mức công suất bộ phát RF là 0 kW tương ứng với chế độ sấy chỉ sử dụng bơm nhiệt, thời gian sấy để độ chứa ẩm TB của nấm linh chi đạt 0,15 (kg Â/ kg VLK) là 547 phút. Tại mức công suất 0,65; 1,3 và 1,95 kW, thời gian sấy là 441, 403 và 367 phút, giảm 19%, 26% và 33% so với chỉ sấy bằng bơm nhiệt. Chứng tỏ khi kết hợp bơm nhiệt và sóng RF sẽ giúp rút ngắn thời gian sấy rất nhiều so với chỉ sấy bằng bơm nhiệt. Đây chính là ưu điểm của phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF.

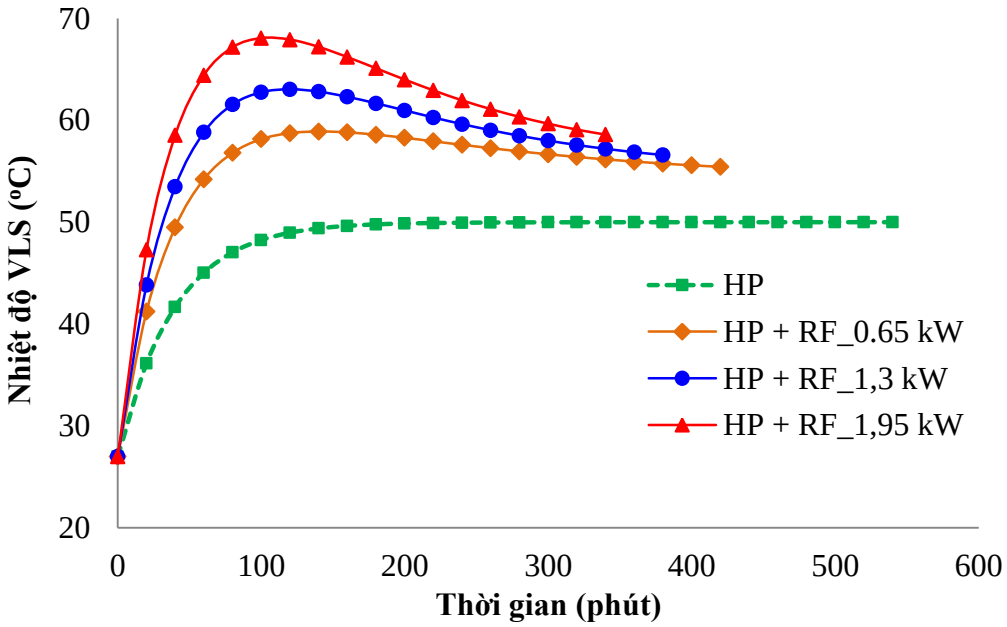


Hình 3.12. Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF

3.5.1.2. Đường cong nhiệt độ sấy

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa sự thay đổi nhiệt độ TB VLS theo thời gian trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được mô phỏng dựa trên kết quả giải HPTTNTA như trong hình 3.13.

Hình 3.13 cho thấy phương pháp sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF giúp tăng đáng kể tốc độ gia nhiệt so với chỉ sấy bằng bơm nhiệt. Điều này có thể lý giải rằng với cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF thì khi tăng công suất bộ phát RF sẽ tăng năng lượng hấp thụ sóng RF đối với VLS khiến cho các phân tử lưỡng cực nước và các ion tự do trong VLS dao động nhanh hơn khiến nhiệt phát sinh trong VLS nhanh hơn và giúp cho quá trình gia nhiệt diễn ra nhanh hơn. Kết quả này tương tự như cơ chế gia nhiệt bằng RF đối với các loại nông sản như quả óc chó và bột ngô của các tác giả trước đây [135, 136]. Thời gian gia nhiệt để nấm Linh chi đạt nhiệt độ 50°C là 31, 24 và 21 phút tương ứng với mức công suất RF là 0,65; 1,3 và 1,95 kW. Tại mức công suất bộ phát RF là 0 kW tương ứng với chế độ sấy chỉ sử dụng bơm nhiệt, thời gian gia nhiệt để nhiệt đô TB của nấm linh chi đạt 49,9 °C là 217 phút.



Hình 3.13. Đường cong nhiệt độ TB VLS tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF

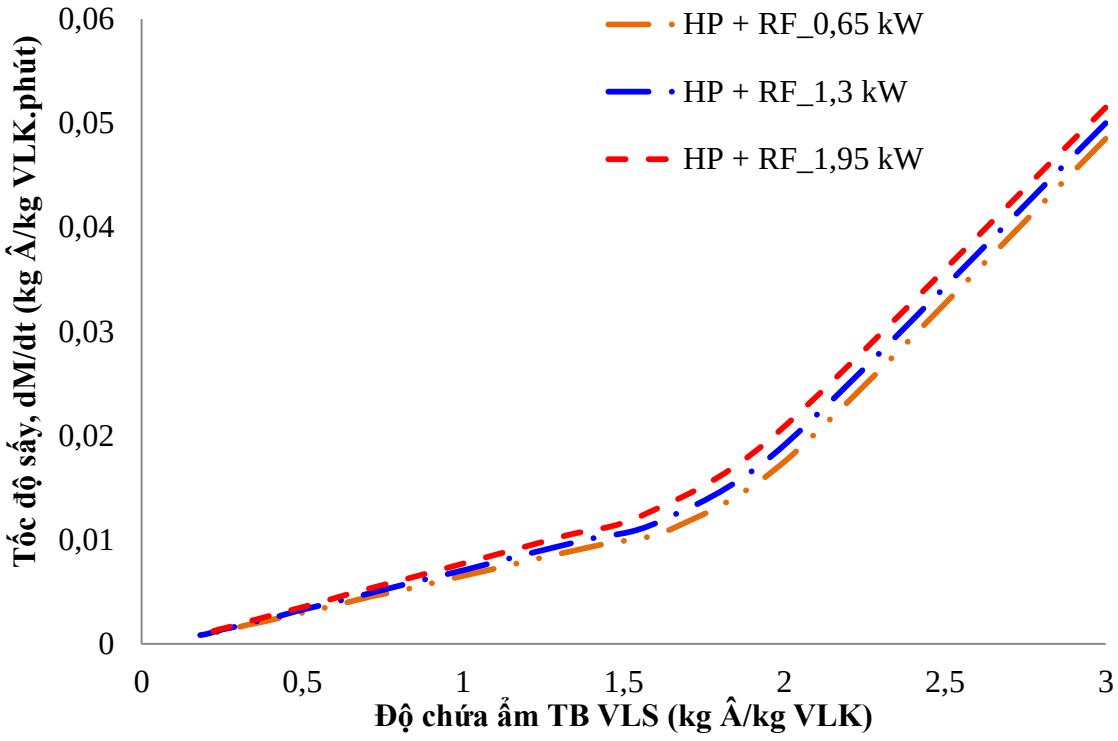
Đối với phương pháp sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF, sau khi nhiệt độ VLS đạt nhiệt độ TNS, nhiệt độ VLS tiếp tục tăng vượt giá trị nhiệt độ TNS do ẩm trong VLS tiếp tục hấp thụ năng lượng sóng RF. Cơ chế này tương tự như kết quả nghiên cứu về quá trình sử lý nhiệt bằng RF đối với các loại nông sản thực phẩm

như quả hạnh nhân và các loại đậu tương, đậu nành của các tác giả trước đây [68, 112]. Sau đó, nhiệt độ VLS sẽ có xu hướng giảm dần đến nhiệt độ TNS và giai đoạn này kéo dài đến cuối quá trình sấy. Nhiệt độ VLS giảm dần là do hai nguyên nhân chính: i) ẩm độ VLS giảm khiến cho mức độ hấp thụ năng lượng sóng RF của VLS giảm. Đây chính là sự phụ thuộc của công suất gia nhiệt của bộ phát theo ẩm độ của VLS; ii) nhiệt lượng do VLS hấp thụ trong giai đoạn này chỉ để duy trì quá trình hóa hơi cho ẩm trong VLS. Cơ chế này tương tự như nghiên cứu của Samet Ozturka và ctv (2016) với nghiên cứu về đặc tính điện môi và quá trình gia nhiệt bằng sóng RF đối với rau củ [114].

3.5.1.3. Đường cong tốc độ sấy

Đồ thị đường cong tốc độ sấy trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được mô phỏng dựa trên kết quả giải HPTTNTA như trong hình 3.14.

Hình 3.14 cho thấy đường cong tốc độ sấy chỉ xác định một chế độ tốc độ sấy giảm dần mà không tồn tại giai đoạn tốc độ sấy không đổi và giai đoạn đốt nóng VLS.

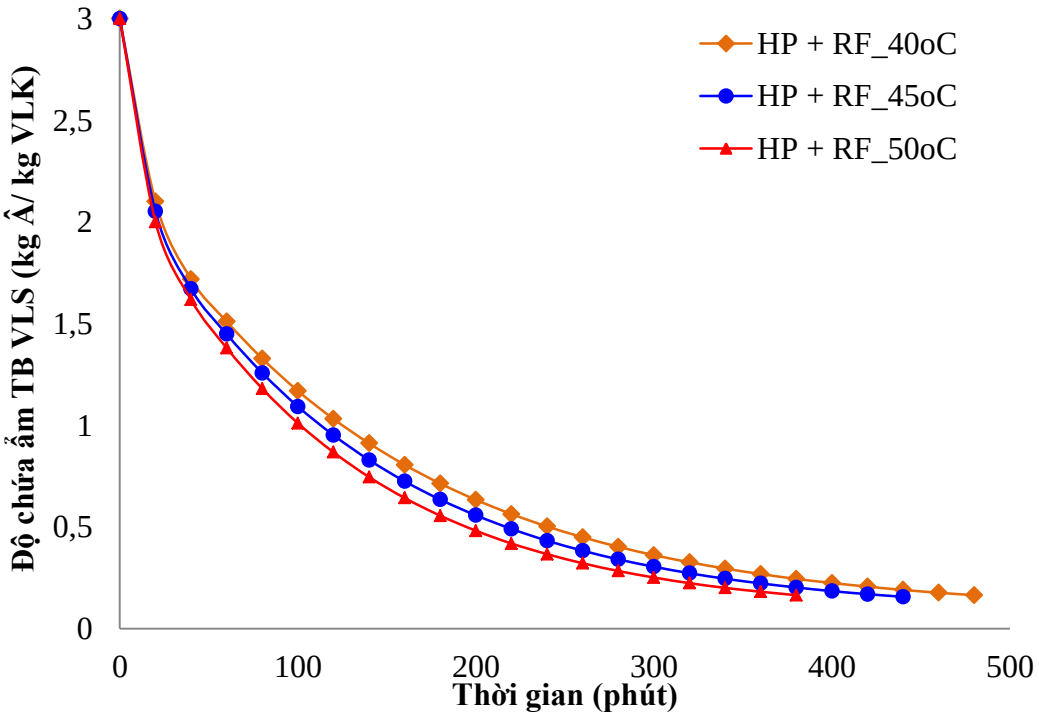


Hình 3.14. Đường cong tốc độ sấy tương ứng với chế độ xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF

3.5.2. Phân tích ảnh hưởng của thông số nhiệt độ tác nhân sấy

Đồ thị đường cong sấy trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio được mô phỏng dựa trên kết quả giải HPTTNTA như trong hình 3.15. Trong đó, giá trị các thông số đầu vào như: nhiệt độ TNS là 40, 45 và 50^{o}C; vận tốc TNS là 1,2 m/s và công suất bộ phát RF là 1,3 kW.

Kết quả đường cong sấy trong hình 3.15 cho thấy khi tăng nhiệt độ TNS sẽ giúp rút ngắn đáng kể thời gian sấy. Điều này được giải thích do khi tăng nhiệt độ TNS sẽ tăng lượng nhiệt hấp thụ bởi VLS và giúp tăng tốc độ gia nhiệt. Khi đó, quá trình khuếch tán ẩm trong VLS sẽ diễn ra nhanh hơn. Tại nhiệt độ TNS 50^{o}C, thời gian sấy để độ chứa ẩm TB của nấm linh chi đạt 0,15 (kg Â/ kg VLK) là 402 phút, giảm 11% và 21% so với tại nhiệt độ TNS 45^{o}C và 40^{o}C với thời gian sấy lần lượt là 454 và 402 phút.

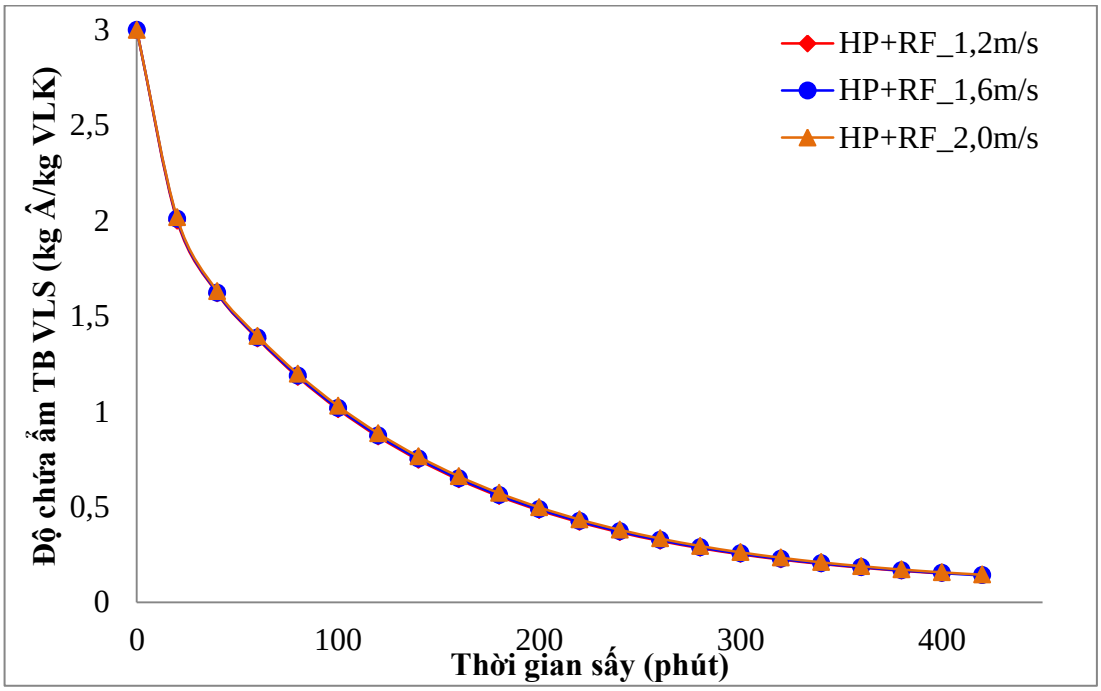


Hình 3.15. Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ TNS

3.5.3. Phân tích ảnh hưởng của thông số vận tốc tác nhân sấy

Đồ thị đường cong sấy trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio được mô phỏng dựa trên kết quả giải HPTTNTA như trong hình 3.16. Trong đó, giá trị các thông số đầu vào như: nhiệt độ TNS là 50^{o}C; vận tốc TNS là 1,2; 1,6 và 2,0 m/s và công suất bộ phát RF là 1,3 kW.

Kết quả đường cong sấy trong hình 3.18 cho thấy khi tăng vận tốc TNS sẽ kéo dài thời gian sấy. Điều này được giải thích là do khi tăng vận tốc TNS sẽ làm tăng lưu lượng TNS tiếp xúc với bề mặt VLS. Trong khi đó cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF hầu như giúp duy trì nhiệt độ VLS cao hơn nhiệt độ TNS trong suốt quá trình sấy nên khi TNS tiếp xúc với VLS sẽ khiến nhiệt độ bề mặt VLS giảm khiến cho nhiệt độ trung bình VLS sẽ thấp hơn so với tại chế độ vận tốc TNS thấp hơn. Điều này khiến kéo dài thời gian sấy. Tuy nhiên thời gian sấy tương ứng với ba chế độ sấy chênh lệch nhau không đáng kể chỉ khoảng 10 - 15 phút. Chứng tỏ vận tốc TNS ảnh hưởng không đáng kể đến tốc độ sấy với đường cong sấy tương ứng với các chế độ sấy trình bày trong hình 4.16 gần như là trùng nhau. Kết quả với cơ chế tương tự như cơ chế sấy các loại nông sản như cà chua và tỏi của các tác giả đã công bố trước đây trong đó có ứng dụng các loại sóng hồng ngoại và vi sóng [137 - 139].



Hình 3.16. Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của vận tốc TNS

3.6. Kết luận chương 3

Chương 3 đã đạt được một số nội dung chính sau:

- Xác định được các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi.
- Xây dựng được mô hình toán quá trình TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
- Xác định được lý thuyết về phương pháp giải HPT TNTA và thiết lập được thuật toán giải HPT TNTA dựa trên ngôn ngữ lập trình Matlab.
- Dựa trên kết quả giải hệ phương trình truyền nhiệt truyền ẩm để phân tích lý thuyết động học quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.

CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

4.1. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF

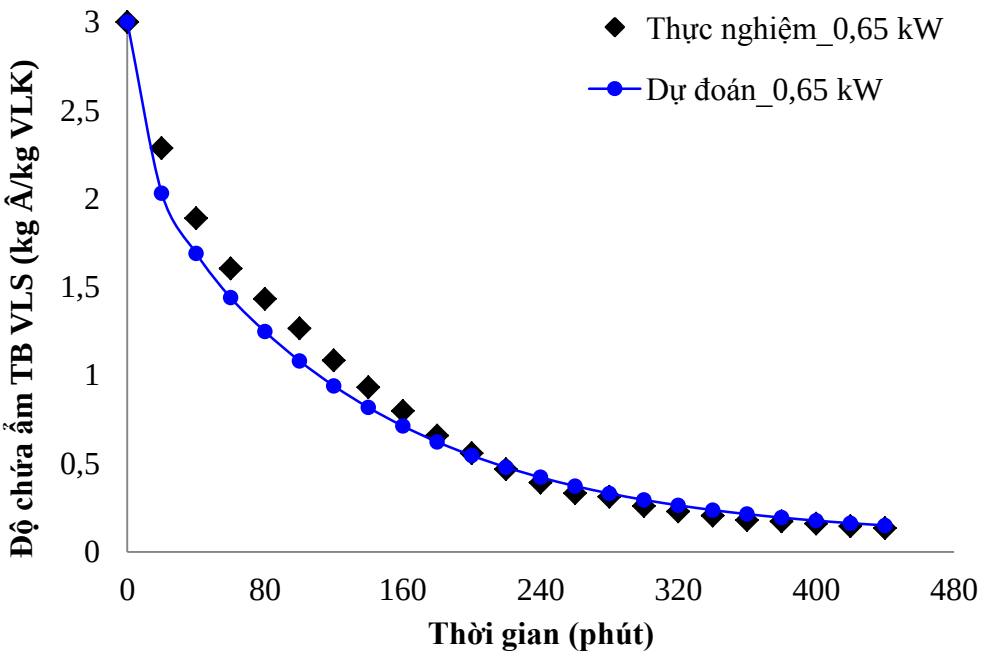
Cơ sở chọn thông số đầu vào sử dụng cho thực nghiệm sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF được trình bày cụ thể trong mục 2.3.4.1. Trong nội dung của luận án, để thực nghiệm kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán TNTA, thực nghiệm sấy nấm linh chi được thực hiện với giá trị thông số đầu vào như: vận tốc TNS: v_a = 1,2 m/s, nhiệt độ TNS: t_a = 50^{o}C, và công suất bộ phát thay đổi P_{RF} = 0,65; 1,3 và 1,95 kW nhằm thu thập giá trị độ chứa ẩm TB VLS, nhiệt độ TB VLS trong quá trình sấy. Từ đó thực hiện so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả tính toán lý thuyết (kết quả dự đoán).

Kết quả thực nghiệm và dự đoán được trình bày trong bảng 4.1, bảng 4.2, hình 4.1, hình 4.2 và hình 4.3.

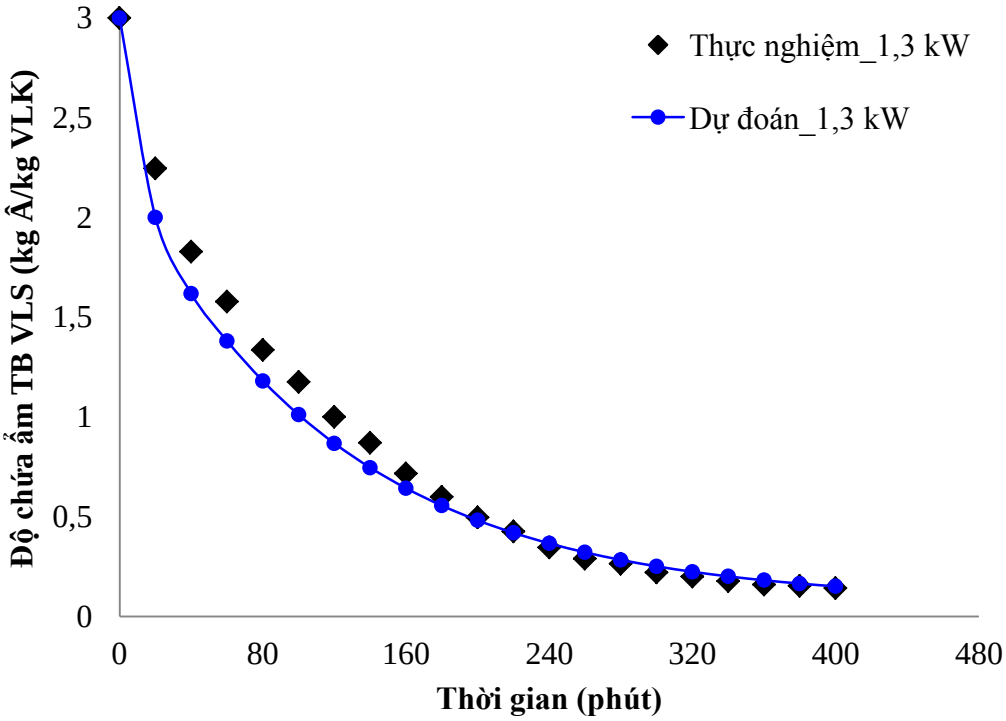
Bảng 4.1. Kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết về độ chứa ẩm TB VLS tại chế độ sấy xét đến sự thay đổi công suất bộ phát RF

Thời gian (phút)	0,65 kW		1,3 kW		1,95 kW	
	Lý thuyết (kg Â/ kg VLK)	Thực nghiệm (kg Â/ kg VLK)	Lý thuyết (kg Â/ kg VLK)	Thực nghiệm (kg Â/ kg VLK)	Lý thuyết (kg Â/ kg VLK)	Thực nghiệm (kg Â/ kg VLK)
0	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
20	1,929	2,286	1,901	2,246	1,871	2,206
40	1,664	1,890	1,618	1,848	1,569	1,789
60	1,439	1,604	1,381	1,550	1,319	1,479
80	0,247	1,432	1,181	1,356	1,111	1,276
100	1,081	1,266	1,011	1,175	0,938	1,090
120	0,939	1,084	0,868	0,991	0,794	0,906
140	0,817	0,932	0,746	0,850	0,674	0,767
160	0,713	0,798	0,643	0,717	0,573	0,637
180	0,622	0,658	0,556	0,599	0,490	0,523

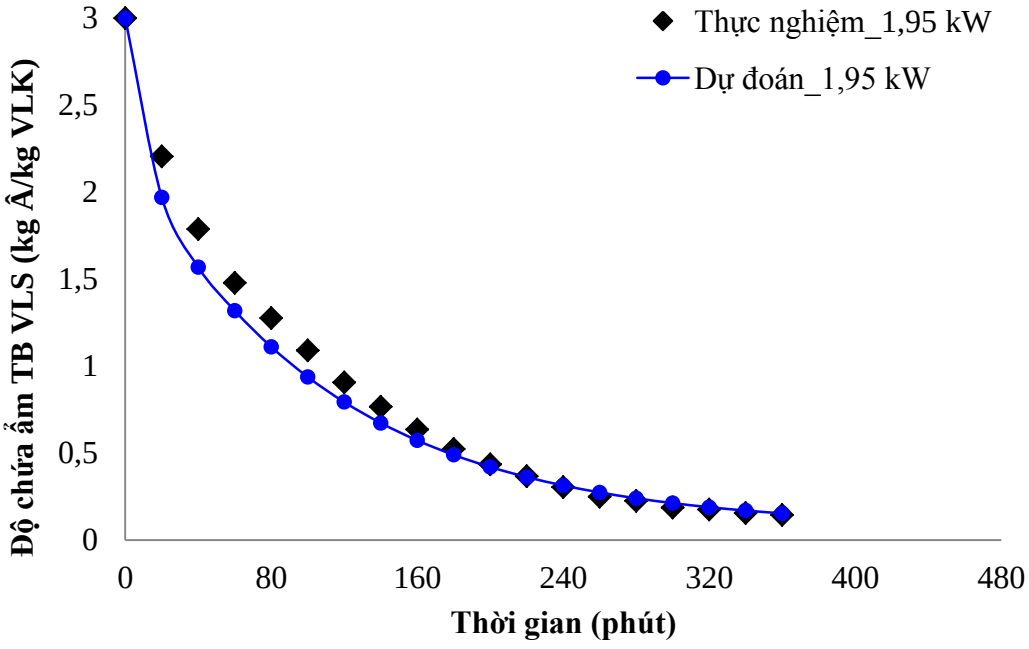
Thời gian (phút)	0,65 kW		1,3 kW		1,95 kW	
	Lý thuyết (kg Â/ kg VLK)	Thực nghiệm (kg Â/ kg VLK)	Lý thuyết (kg Â/ kg VLK)	Thực nghiệm (kg Â/ kg VLK)	Lý thuyết (kg Â/ kg VLK)	Thực nghiệm (kg Â/ kg VLK)
200	0,545	0,559	0,482	0,496	0,421	0,436
220	0,479	0,468	0,419	0,427	0,363	0,368
240	0,422	0,392	0,367	0,352	0,315	0,305
260	0,373	0,333	0,322	0,289	0,274	0,249
280	0,331	0,304	0,284	0,252	0,241	0,226
300	0,294	0,269	0,252	0,221	0,213	0,199
320	0,263	0,231	0,224	0,195	0,190	0,176
340	0,237	0,205	0,201	0,177	0,170	0,155
360	0,214	0,181	0,182	0,161		
380	0,194	0,172	0,165	0,152		
400	0,177	0,160				
420	0,162	0,154				



(a)

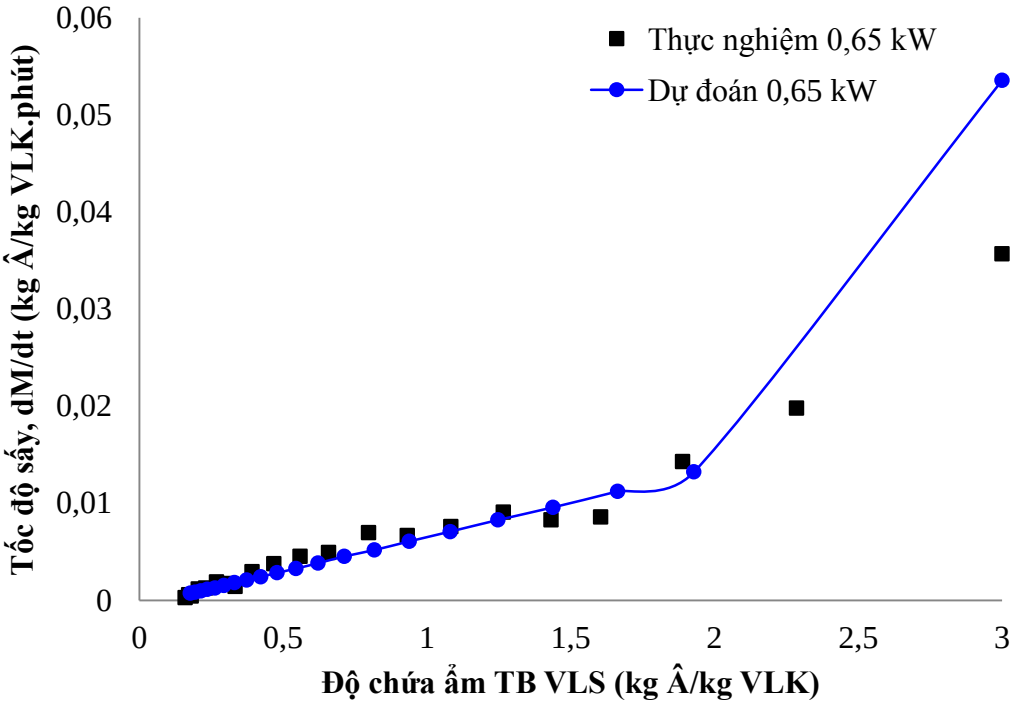


(b)

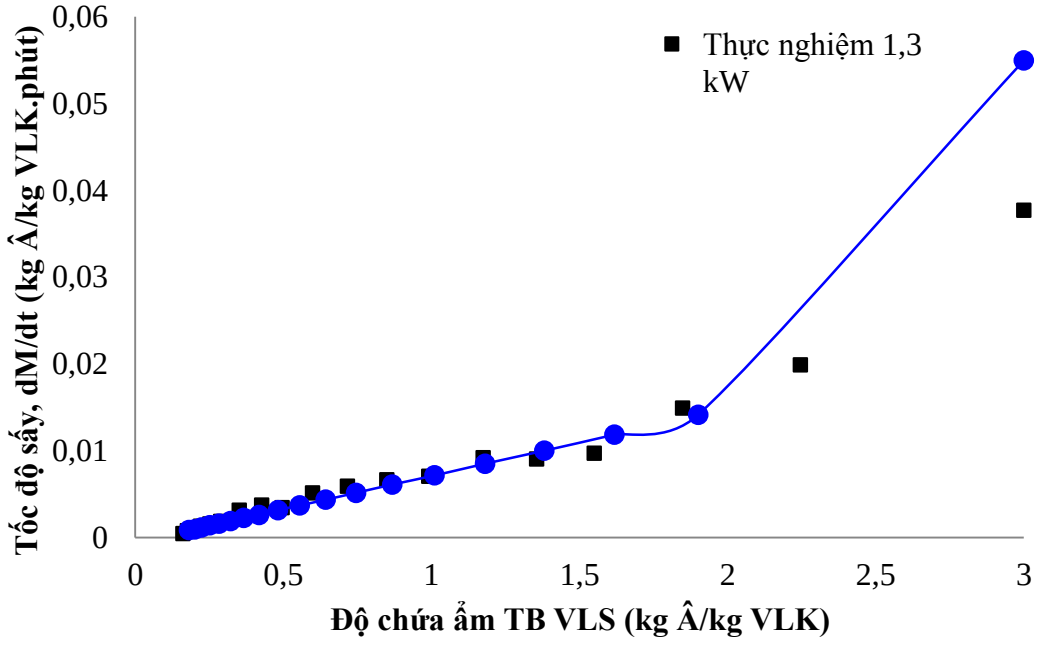


(c)

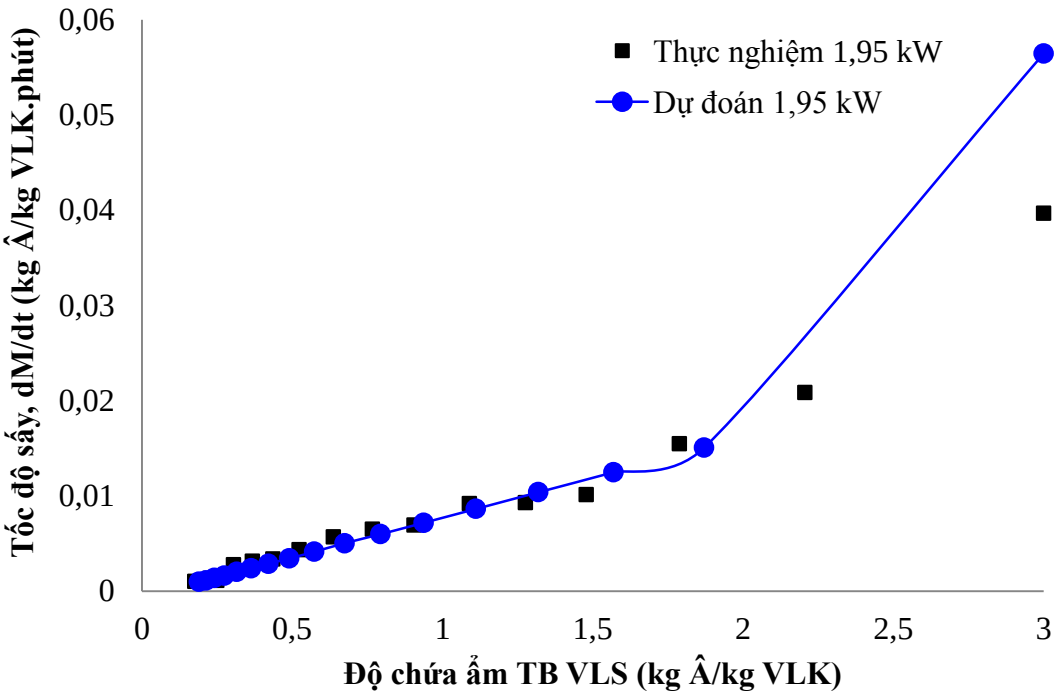
Hình 4.1. Đường cong sấy kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát (0,65 kW (a); 1,3 kW (b) và 1,95 kW (c))


Thực nghiệm 0,65 kW
Dự đoán 0,65 kW
Tốc độ sấy, dM/dt (kg Â/kg VLK.phút)
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)

(a)


Thực nghiệm 1,3 kW
Tốc độ sấy, dM/dt (kg Â/kg VLK.phút)
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)

(b)



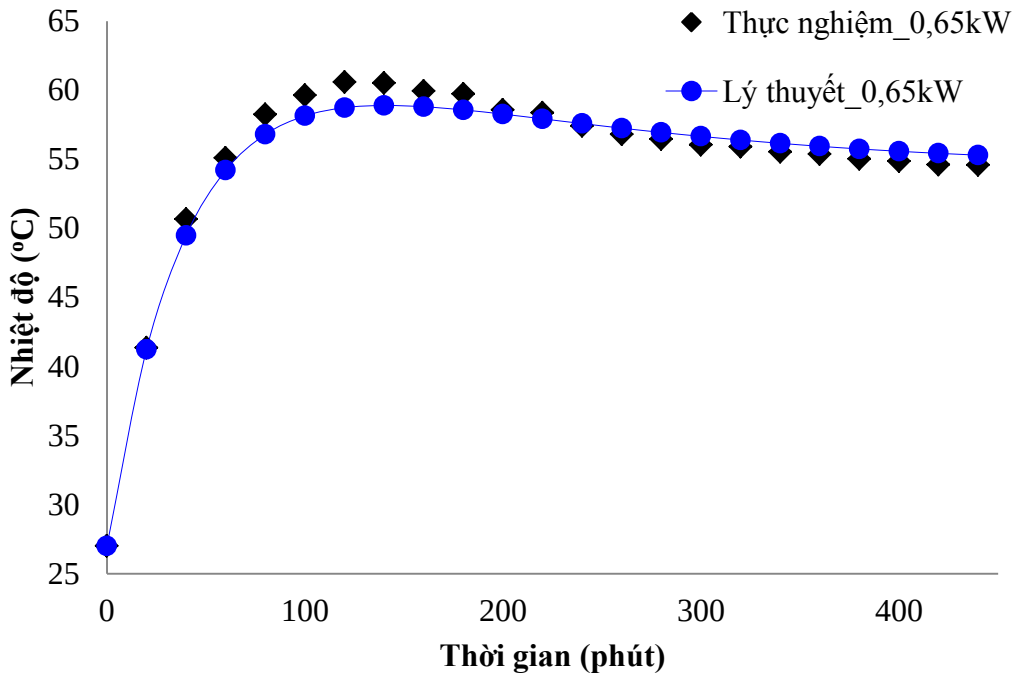
(c)

Hình 4.2. Đường cong tốc độ sấy kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát (0,65 kW (a); 1,3 kW (b) và 1,95 kW (c))

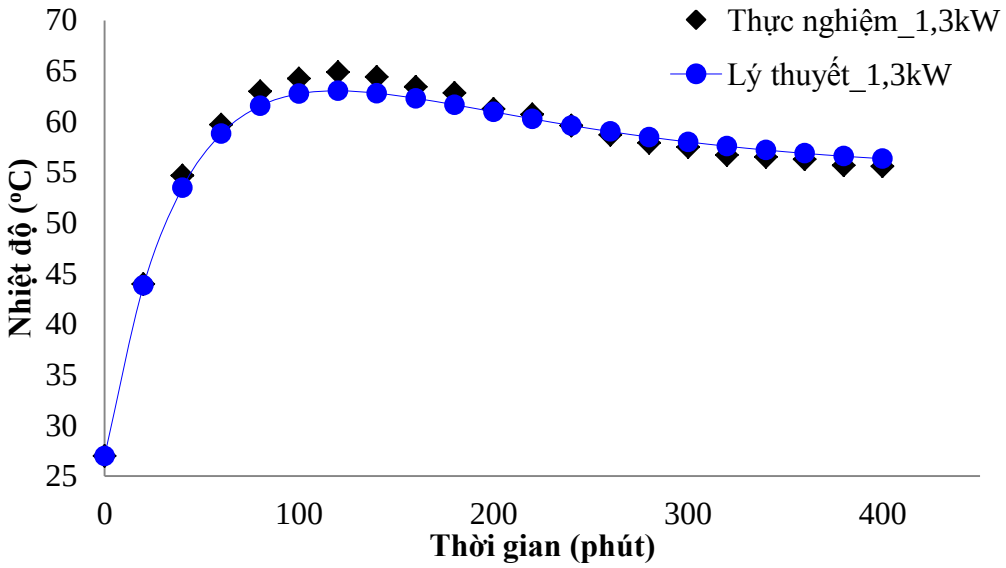
Bảng 4.2. Kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết về nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát RF

Thời gian (phút)	0,65 kW		1,3 kW		1,95 kW	
	Lý thuyết (^oC)	Thực nghiệm (^oC)	Lý thuyết (^oC)	Thực nghiệm (oC)	Lý thuyết (^oC)	Thực nghiệm (^oC)
0	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
20	41,22	41,34	43,83	43,95	47,30	47,42
40	49,49	50,67	53,47	54,66	58,54	59,72
60	54,21	55,10	58,81	59,70	64,43	65,32
80	56,80	58,24	61,55	62,99	67,17	68,60
100	58,15	59,63	62,75	64,23	68,07	69,55
120	58,74	60,58	63,04	64,88	67,92	69,76
140	58,90	60,51	62,81	64,42	67,20	68,81
160	58,81	59,93	62,30	63,43	66,20	67,33

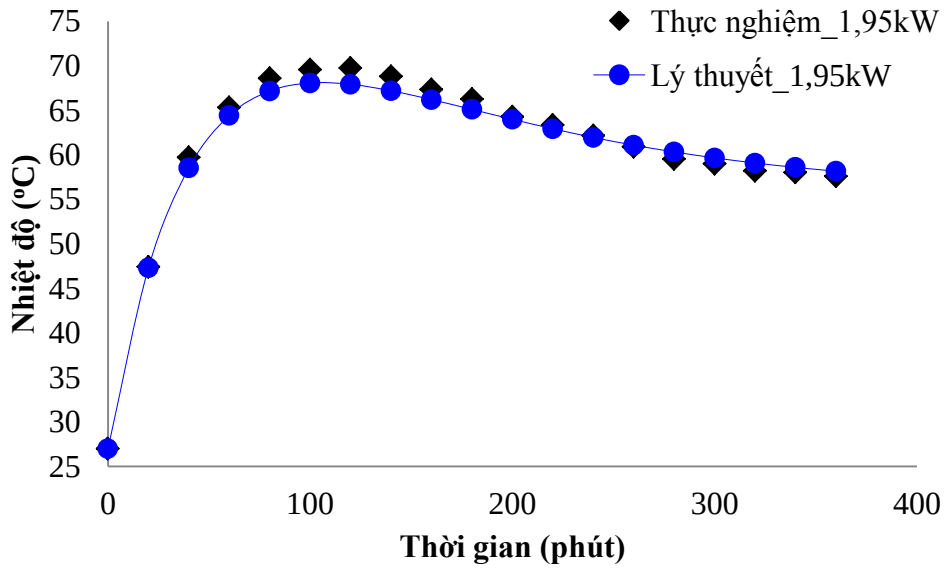
Thời gian (phút)	0,65 kW		1,3 kW		1,95 kW	
	Lý thuyết (^oC)	Thực nghiệm (^oC)	Lý thuyết (^oC)	Thực nghiệm (oC)	Lý thuyết (^oC)	Thực nghiệm (^oC)
180	58,58	59,74	61,66	62,82	65,10	66,26
200	58,28	58,56	60,97	61,26	63,99	64,28
220	57,93	58,36	60,27	60,70	62,93	63,36
240	57,59	57,42	59,62	59,60	61,95	62,18
260	57,26	56,80	59,02	58,70	61,09	60,91
280	56,95	56,46	58,48	57,90	60,33	59,52
300	56,66	56,05	58,00	57,50	59,66	59,02
320	56,40	55,90	57,57	56,70	59,08	58,20
340	56,16	55,54	57,20	56,50	58,59	58,02
360	55,95	55,38	56,87	56,30		
380	55,75	55,02	56,59	55,70		
400	55,58	54,86				
420	55,43	54,61				



(a)



(b)



(c)

Hình 4.3. Đường cong nhiệt độ TB VLS kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán xét đến sự thay đổi của công suất bộ phát (0,65 kW (a); 1,3 kW (b) và 1,95 kW (c))

❖ **Nhận xét:**

Kết quả bảng 4.1, hình 4.1 và hình 4.2 cho thấy tốc độ giảm ẩm trong giai đoạn sấy thực nghiệm ban đầu thấp hơn so với tính toán lý thuyết. Tuy nhiên sau khoảng 200 phút kéo dài đến cuối quá trình sấy, tốc độ giảm ẩm trong sấy thực nghiệm lại cao hơn so với tính toán lý thuyết. Trong khi đó sự sai khác về nhiệt độ TB VLS giữa thực nghiệm và lý thuyết (bảng 4.2 và hình 4.3) cũng theo quy luật

tương tự. Trong giai đoạn sấy thực nghiệm ban đầu khoảng 200 phút giá trị nhiệt độ TB VLS cao hơn so với lý thuyết và sau đó cho đến hết quá trình sấy thực nghiệm, nhiệt độ TB VLS lại thấp hơn so với lý thuyết.

Điều này được giải thích là do khay sấy ảnh hưởng cản trở dòng TNS làm giảm mật độ tiếp xúc giữa TNS với bề mặt dưới so với bề mặt trên của VLS trong khi giả thuyết bỏ qua sự chênh lệch này. Điều này khiến cho tốc độ trao đổi nhiệt - ẩm đối lưu giữa VLS và TNS giảm nên tốc độ giảm ẩm trong sấy thực nghiệm sẽ thấp hơn. Tuy nhiên sau khoảng 200 phút thì ảnh hưởng của hiện tượng co ngót VLS sẽ khiến hệ số khuếch tán ẩm tăng trong quá trình sấy thực nghiệm nên tốc độ giảm ẩm sẽ tăng cao hơn trong khi mô hình lý thuyết thì VLS coi như không bị biến dạng trong quá trình sấy.

Trong khi đó, sự sai khác về nhiệt độ TB VLS giữa thực nghiệm và lý thuyết được giải thích là do giai đoạn sấy thực nghiệm ban đầu trong khoảng 200 phút với ẩm độ VLS trong sấy thực nghiệm sẽ cao hơn nên nhiệt phát sinh do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF sẽ nhiều hơn (do công suất gia nhiệt của bộ phát RF tỉ lệ thuận với ẩm độ VLS như trình bày trong mục 3.3.7). Tuy nhiên sau khoảng 200 phút, tốc độ giảm ẩm trong quá trình sấy thực nghiệm sẽ cao hơn so với lý thuyết. Khi đó, ẩm độ VLS trong sấy thực nghiệm sẽ thấp hơn nên nhiệt phát sinh do ẩm trong VLS hấp thụ năng lượng sóng RF sẽ thấp hơn so với lý thuyết.

Kết quả bảng 4.1 và 4.2 được tiến hành phân tích so sánh hai tổ hợp số liệu bằng phần mềm Stapraphics centuri 17 để xác định giá trị P-value và hai thông số so sánh bao gồm sai số bình phương trung bình RMSE và sai số tuyệt đối trung bình MAE được tính theo công thức (2.7) và (2.8). Giá trị được trình bày trong bảng 4.3 và bảng 4.4.

Kết quả bảng 4.3 và bảng 4.4 cho thấy tại các mức công suất RF khác nhau, giá trị P-value > 0,05 cho thấy không có sự sai khác rõ rệt về mặt thống kê đối với hai tổ hợp số liệu, tức chấp nhận được. Bên cạnh đó, giá trị các thông số so sánh như sai số bình phương trung bình RMSE và sai số tuyệt đối trung bình MAE tương đối nhỏ cho thấy kết quả hai tổ hợp số liệu có sự sai khác thấp và chấp nhận được.

Bảng 4.3. Giá trị các thông số so sánh hai tổ hợp số liệu về độ chứa ẩm TB VLS giữa thực nghiệm và lý thuyết

Mức công suất RF	Thông số so sánh		
	P-value	RMSE	MAE
P_{RF} = 0,65 kW	0,805	0,122	10,5%
P_{RF} = 1,3 kW	0,8	0,119	10%
P_{RF} = 1,9 kW	0,792	0,118	9%

Bảng 4.4. Giá trị các thông số so sánh hai tổ hợp số liệu về nhiệt độ TB VLS giữa thực nghiệm và lý thuyết

Mức công suất RF	Thông số so sánh		
	P-value	RMSE	MAE
P_{RF} = 0,65 kW	0,917	0,918	1,4%
P_{RF} = 1,3 kW	0,906	0,949	1,3%
P_{RF} = 1,9 kW	0,892	0,97	1,3%

❖ **Lý do sai khác giữa kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết**

Kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết có sự sai khác là do một số nguyên nhân chính sau:

i) VLS sấy trong quá trình sấy thực nghiệm sẽ bị thay đổi về hình dạng và kích thước. Điều này sẽ khiến hệ số khuếch tán ẩm thay đổi trong quá trình sấy. Trong khi đó, mô hình toán lý thuyết được thiết lập với giả thiết là VLS coi như không bị biến dạng trong quá trình sấy.

ii) Quá trình trao đổi nhiệt - ẩm giữa TNS và VLS trong quá trình sấy sẽ bị ảnh hưởng bởi khay sấy gây ra sự sai khác đối với quá trình trao đổi nhiệt - ẩm giữa TNS với bề mặt dưới và bề mặt trên của VLS. Trong khi đó, mô hình toán lý thuyết bỏ qua sự sai khác này.

4.2. Kết quả thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp đối với nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF.

4.2.1. Bài toán hộp đen

Các thông số đầu vào bao gồm nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và công suất bộ phát RF sẽ ảnh hưởng đồng thời đến hiệu quả về tốc độ sấy của hệ thống sấy và chất lượng sản phẩm sấy được đánh giá bởi hai thông số đầu ra là thời gian sấy và hàm lượng Polysaccharides trong nấm. Mô hình thống kê cho thiết bị sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được thực hiện.

Trong đó, t_a là nhiệt độ TNS (^oC); v_a là vận tốc TNS (m/s); P_{RF} là công suất bộ phát RF; PA là hàm lượng Polysaccharide (mg/g); TGS là thời gian sấy (phút).

4.2.2. Xác định vùng nghiên cứu

Phương án thực hiện được thiết kế có hai mức đối xứng ở tâm với miền thực nghiệm giới hạn trong khoảng giữa điểm trên (giá trị mã hóa là +1) và điểm dưới (giá trị mã hóa là -1). Các khoảng giá trị của thông số đầu vào được phân tích và chọn trong mục 2.3.4.1.

- Nhiệt độ TNS: t_a = 40 - 50^{o}C
  + Khoảng biến thiên: Δt_a = 5^{o}C
  + Mức cơ sở: $t_a^0 = 45℃$
  + Mức trên: $t_a^+ = 50℃$
  + Mức dưới: $t_a^- = 40℃$
- Vận tốc TNS: v_a = 1,2 - 2,0 m/s
  + Khoảng biến thiên: Δv_a = 0,4 m/s
  + Mức cơ sở: $v_a^0 = 1{,}6\ m/s$
  + Mức trên: $v_a^+ = 2{,}0 m/s$
  + Mức dưới: $v_a^- = 1{,}2\ m/s$
- Công suất điện bộ phát RF: P_{RF} = 0,65 - 1,95 kW
  + Khoảng biến thiên: ΔP_{RF} = 0,65 kW
  + Mức cơ sở: $P_{RF}^0 = 1{,}3$ kW
  + Mức trên: $P_{RF}^+ = 1{,}95$ kW
  + Mức dưới: $P_{RF}^- = 0{,}65$ kW

4.2.3. Lập ma trận thực nghiệm

Ma trận thí nghiệm được thiết lập trên máy tính bằng phần mềm Stagraphics Centurion 17. Các chế độ thí nghiệm là ngẫu nhiên dựa trên cơ sở thiết kế Box-Behnken design với số thí nghiệm là 15 bao gồm 3 thí nghiệm lặp ở mức cơ sở. Các thông số đầu vào và đầu ra được mã hóa cụ thể như sau:

+ Nhiệt độ TNS được mã hóa là: X_1

+ Vận tốc TNS được mã hóa là: X_2

+ Công suất bộ phát RF được mã hóa là: X_3

+ Hàm lượng Polysaccharide được mã hóa là: Y_1

+ Thời gian sấy, TGS được mã hóa là: Y_2

Tiến hành thực nghiệm theo ma trận đã lập, kết quả thu được trình bày trong bảng 4.5 và 4.6.

Bảng 4.5. Ma trận thực nghiệm và kết quả thực nghiệm ở dạng mã hóa

STT	Thông số đầu vào			Thông số đầu ra	
	X1	X2	X3	Y1	Y2
1	0	+	+	9,02	420
2	0	-	-	9,18	480
3	0	0	0	9,01	445
4	+	0	0	9,52	400
5	0	0	0	9,11	455
6	+	0	+	9,73	365
7	-	+	0	8,44	525
8	+	+	0	9,40	405
9	-	0	+	8,53	475
10	0	0	0	9,21	450
11	+	-	-	9,43	430
12	0	+	-	8,81	500
13	0	-	+	9,47	400
14	-	0	-	8,08	560
15	-	-	0	0,895	495

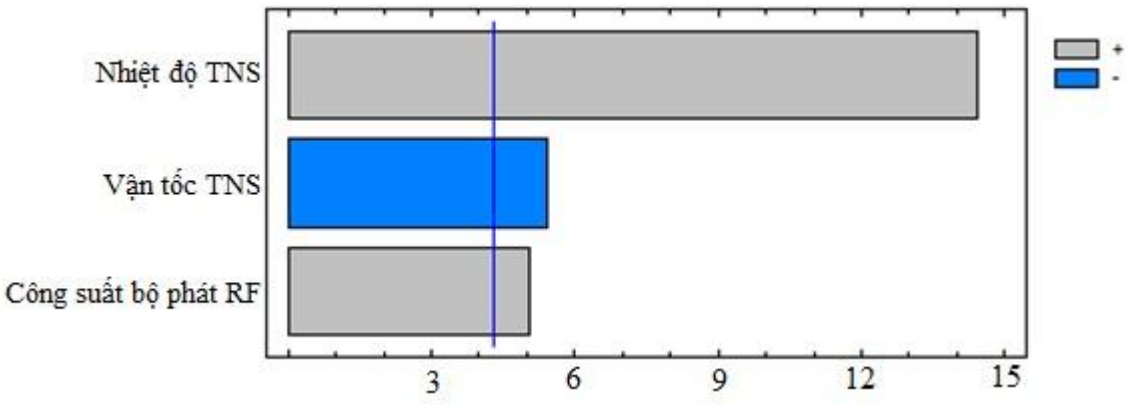
Bảng 4.6. Ma trận thực nghiệm và kết quả thực nghiệm ở dạng thực

STT	Thông số đầu vào			Thông số đầu ra	
	t_a (^oC)	v_a (m/s)	P_{RF} (kW)	PA (mg/g)	TGS (phút)
1	45	2,0	1,95	9,02	420
2	45	1,2	0,65	9,18	480
3	45	1,6	1,3	9,01	445
4	50	1,6	1,3	9,52	400
5	45	1,6	1,3	9,11	455
6	50	1,6	1,95	9,73	365
7	40	2,0	1,3	8,44	525
8	50	2,0	1,3	9,40	405
9	40	1,6	1,95	8,53	475
10	45	1,6	1,3	9,21	450
11	50	1,2	0,65	9,43	430
12	45	2,0	0,65	8,81	500
13	45	1,2	1,95	9,47	400
14	40	1,6	0,65	8,08	560
15	40	1,2	1,3	8,95	495

4.2.4. Kết quả phân tích phương sai

4.2.4.1. Hàm hàm lượng Polysaccharides

Từ số liệu thực nghiệm, tiến hành phân tích phương sai dạng đa thức bậc II đầy đủ. Kết quả phân tích phương sai cho thấy mô hình hàm hàm lượng Polysaccharides là phù hợp với giá trị Lack-of-fit = 0,3499 > 0,05. Tuy nhiên, tồn tại các hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy với mức ý nghĩa 0,05 như AA, AB, AC, BB, BC và CC được trình bày trong phụ lục 4.1. Tiến hành loại bỏ các hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy và phân tích phương sai lần 2, kết quả phân tích được trình bày trong phụ lục 4.2 và hình 4.4.



Hình 4.4. Kết quả phân tích phương sai hàm hàm lượng Polysaccharide lần 2

Kết quả trình bày trong phụ lục 4.2 cho thấy tất cả các hệ số hồi quy đều đảm bảo độ tin cậy với mức ý nghĩa 0,05 (P-Value < 0,05). Giá trị Lack-of-fit = 0,3057 > 0,05 chứng tỏ mô hình hồi quy đối với hàm lượng Polysaccharides là phù hợp.

Thực hiện phân tích hồi quy đa yếu tố đối với hàm hàm lượng Polysaccharide theo giá trị trong bảng 4.6, phương trình hồi quy cho hàm hàm lượng Polysaccharide ở dạng thực có dạng như phương trình 4.1.

$$PA = 4{,}879 + 0{,}102.t_a - 4{,}81.v_a + 0{,}277.P_{RF} \quad (4.1)$$

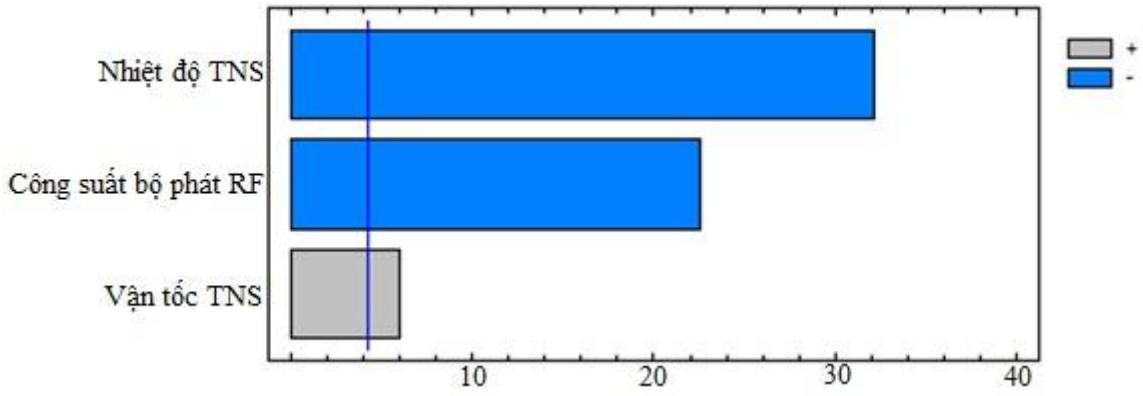
✓ **Nhận xét kết quả phân tích phương sai:**

Như kết quả phân tích phương sai trình bày trong phụ lục 4.2 và đồ thị hình 4.4 cho thấy thông số đầu vào có mức độ ảnh hưởng cao nhất đối với thông số đầu ra hàm lượng Polysaccharides trong VLS là nhiệt độ TNS, kế tiếp theo là vận tốc TNS và công suất bộ phát RF. Trong đó, khi tăng giá trị nhiệt độ TNS và công suất bộ phát RF sẽ giúp tăng hàm lượng Polysaccharides trong VLS; còn khi tăng giá trị vận tốc TNS sẽ khiến giảm hàm lượng Polysaccharides trong VLS. Điều này được giải thích là do bởi tính nhạy nhiệt của hoạt chất Polysaccharides trong VLS. Khi tăng giá trị nhiệt độ TNS và công suất bộ phát RF trong khoảng giá trị đã chọn sẽ giúp giảm thời gian sấy khiến rút ngắn được thời gian tiếp xúc với nhiệt độ sấy sẽ giúp duy trì được hàm lượng Polysaccharides trong VLS cao hơn. Trong khi đó, khi tăng vận tốc TNS sẽ khiến tăng thời gian sấy làm cho thời gian tiếp xúc giữa VLS và nhiệt độ lâu hơn sẽ khiến hàm lượng Polysaccharides trong VLS giảm. Kết quả

thực nghiệm tương tự như nghiên cứu của các tác giả trước đây về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và thời gian sấy đối với hàm lượng Polysaccharides trong nấm linh chi [47,48, 50, 51].

4.2.4.2. Hàm thời gian sấy

Từ số liệu thực nghiệm, tiến hành phân tích phương sai dạng đa thực bậc II đầy đủ. Kết quả phân tích phương sai cho thấy mô hình hàm thời gian sấy, TGS là phù hợp với giá trị Lack-of-fit = 0,9665 > 0,05. Tuy nhiên, tồn tại các hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy với mức ý nghĩa 0,05 như AA, AB, AC, BB, BC và CC được trình bày trong phụ lục 4.3. Tiến hành loại bỏ các hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy và phân tích phương sai lần 2, kết quả phân tích được trình bày trong phụ lục 4.4 và hình 4.5.



Hình 4.5. Kết quả phân tích phương sai hàm thời gian sấy lần 2

Kết quả trình bày trong phụ lục 4.4 cho thấy tất cả các hệ số hồi quy đều đảm bảo độ tin cậy với mức ý nghĩa 0,05 (P-Value < 0,05). Giá trị Lack-of-fit = 0,4588 > 0,05 chứng tỏ mô hình hồi quy đối với hàm thời gian sấy là phù hợp.

Thực hiện phân tích hồi quy đa yếu tố đối với hàm thời gian sấy theo giá trị trong bảng 4.6, phương trình hồi quy cho hàm thời gian sấy ở dạng thực có dạng như phương trình (4.2).

$$TGS = 1003{,}161 - 11{,}375.\,t_a + 26{,}587.\,v_a - 61{,}661.\,P_{RF} \qquad (4.2)$$

✓ **Nhận xét kết quả phân tích phương sai:**

Như kết quả phân tích phương sai trình bày trong phụ lục 4.4 và đồ thị hình 4.5 cho thấy thông số đầu vào có mức độ ảnh hưởng cao nhất đối với thông số đầu ra thời gian sấy là nhiệt độ TNS, kế tiếp theo là công suất bộ phát và vận tốc TNS. Trong đó, khi tăng giá trị nhiệt độ TNS và công suất bộ phát RF thì thời gian sấy sẽ giảm, còn khi tăng giá trị vận tốc TNS thì thời gian sấy sẽ tăng. Điều này được giải thích do khi tăng nhiệt độ TNS sẽ tăng lượng nhiệt hấp thụ bởi VLS và khi tăng công suất bộ phát RF, VLS sẽ hấp thụ năng lượng sóng RF nhiều hơn. Cả hai trường hợp này đều giúp tăng tốc độ gia nhiệt và quá trình khuếch tán ẩm trong VLS sẽ diễn ra nhanh hơn giúp tăng tốc độ sấy. Kết quả này phù hợp với cơ chế gia nhiệt bằng sóng RF của các nghiên cứu trước đây về thực nghiệm gia nhiệt bằng sóng RF cho quả óc chó [135] và cho bột ngô [136] nhằm nghiên cứu về tốc độ gia nhiệt và mức độ đồng đều trong phân bố nhiệt độ trong VLS. Trong khi đó, khi tăng vận tốc TNS sẽ làm tăng lưu lượng TNS tiếp xúc với bề mặt VLS. Trong khi đó cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF hầu như giúp duy trì nhiệt độ VLS cao hơn nhiệt độ TNS trong suốt quá trình sấy nên khi khi tăng vận tốc TNS sẽ làm tăng lưu lượng TNS tiếp xúc với bề mặt VLS và sẽ khiến nhiệt độ bề mặt VLS giảm khiến cho nhiệt độ trung bình VLS sẽ thấp hơn so với tại chế độ vận tốc TNS thấp hơn. Điều này khiến kéo dài thời gian sấy. Kết quả này phù hợp với cơ chế gia nhiệt bằng hồng ngoại và vi sóng trong quá trình thực nghiệm sấy tỏi [138, 139].

4.2.5. Xác định các thông số chỉ tiêu thích hợp cho thiết bị sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp RF

Bài toán tối ưu được thiết lập dựa trên hai hàm mục tiêu PA và TGS đặc trưng cho các chỉ tiêu về chất lượng sản phẩm sấy và hiệu quả về tốc độ sấy của thiết bị sấy.

Chỉ tiêu tối ưu về hàm hàm lượng Polysaccharides, PA đặc trưng cho chỉ tiêu chất lượng sản phẩm về mặt dinh dưỡng và dược tính với giá trị hàm lượng Polysaccharides càng cao thì chất lượng sản phẩm về mặt dinh dưỡng và dược tính càng cao.

Chỉ tiêu tối ưu về hàm thời gian sấy, TGS đặc trưng cho chỉ tiêu về hiệu quả về tốc độ sấy của thiết bị sấy. Giá trị thời gian sấy càng thấp thì hiệu quả của thiết bị sấy được nâng cao.

Chỉ tiêu tối ưu chung hay còn gọi là đa mục tiêu trong đó bài toán được giải quyết nhằm đạt chất lượng sản phẩm và hiệu quả về tốc độ sấy của thiết bị là cao nhất. Khi đó giá trị các thông số đầu ra như hàm lượng Polysaccharide cần đạt mức cao nhất và thời gian sấy cần đạt mức thấp nhất.

Bài toán tối ưu cần được giải quyết được trình bày cụ thể như sau:

- **Hàm đa mục tiêu: PA→Max và TGS→Min**

$$PA = 4{,}879 + 0{,}102.t_a - 4{,}81.v_a + 0{,}277.P_{RF} \rightarrow \mathbf{Max}$$

$$TGS = 1003{,}161 - 11{,}375.t_a + 26{,}587.v_a - 61{,}661.P_{RF} \rightarrow \mathbf{Min}$$

Hàm điều kiện:

$40 \leq t_a \leq 50$

$1{,}2 \leq v_a \leq 2{,}0$

$0{,}65 \leq P_{RF} \leq 1{,}95$

Giải bài toán tối ưu đa yếu tố bằng phần mềm Excel 2010, trong đó kết quả được xử lý dựa trên hàm đa mục tiêu, hàm điều kiện và giá trị các thông số trong bảng ma trận thực nghiệm. Kết quả xử lý được trình bày dưới đây:

Thông số thích hợp:

+ Nhiệt độ TNS: $t_a = 47^oC$

+ Vận tốc TNS: $v_a = 1{,}53$ m/s

+ Công suất bộ phát RF: $P_{RF} = 1{,}61$ kW.

+ Giá trị hàm lượng Polysaccharide: PA = 9,39 mg/g.

+ Giá trị thời gian sấy: TGS = 409 phút.

4.3. Kết luận chương 4

Chương 4 đã đạt được một số nội dung chính sau:

- Thực nghiệm kiểm chứng được mức độ phù của mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF. Trong đó, sự thay đổi về độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS theo thời gian sấy

dựa trên kết quả giải HPTTNTA theo mô hình toán được thiết lập có biên dạng và xu hướng phù hợp với diễn biến trong suốt quá trình sấy thực tế.

- Xác định được mức độ ảnh hưởng của các thông số đầu vào đối với các chỉ tiêu về chất lượng sản phẩm và hiệu quả tốc độ sấy của hệ thống sấy. Trong đó, thông số nhiệt độ TNS và công suất bộ phát RF có ảnh hưởng rõ rệt còn vận tốc TNS có ảnh hưởng nhưng không đáng kể.
- Dựa trên cơ sở quy hoạch thực nghiệm và giải quyết các bài toán tối ưu đã xác định được chế độ sấy phù hợp đối với phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF cho nấm linh chi.

KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả nghiên cứu của luận án, mục tiêu và nội dung nghiên cứu của luận án đã đạt được yêu cầu đề ra. Từ kết quả nghiên cứu của luận án, một số nội dung kết luận chính được rút ra và trình bày dưới đây:

1. Dựa trên kết quả nghiên cứu tổng quan về các công trình nghiên cứu trong nước và trên thế giới về nấm linh chi và công nghệ gia nhiệt bằng sóng RF đã đề xuất được phương án nghiên cứu của luận án là kỹ thuật sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF.
2. Bằng thực nghiệm đã xây dựng được phương trình xác định công suất gia nhiệt của bộ phát RF và phương trình xác định các thông số nhiệt - vật lý của nấm linh chi như khối lượng riêng, nhiệt dung riêng, độ ẩm cân bằng, ẩn nhiệt hóa hơi và hệ số khuếch tán ẩm.
3. Mô hình toán học mô tả quá trình TNTA trong quá trình nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF được xây dựng. Trong đó, quá trình TNTA trong quá trình sấy được xem là một chiều có xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến truyền nhiệt và nguồn sinh nhiệt bên trong VLS do năng lượng sóng RF được hấp thụ bởi ẩm trong lòng VLS.
4. Hệ phương trình TNTA được giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn dựa trên thuật toán sử dụng ngôn ngữ lập trình Matlab. Kết quả giải HPTTNTA được sử dụng để phân tích lý thuyết động học quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng radio trong đó có xét đến ảnh hưởng của các thông số như công suất bộ phát RF, nhiệt độ tác nhân sấy và vận tốc tác nhân sấy. Kết quả cho thấy khi tăng công suất bộ phát RF và tăng nhiệt độ TNS sẽ giúp rút ngắn đáng kể thời gian sấy trong khi tăng vận tốc TNS sẽ kéo dài thời gian sấy.
5. Thực nghiệm kiểm chứng được mức độ phù của mô hình toán TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng bơm nhiệt kết hợp sóng RF. Trong đó, sự thay đổi về độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS theo thời gian sấy dựa trên kết quả giải

HPTTNTA theo mô hình toán được thiết lập có biên dạng và xu hướng phù hợp với diễn biến trong suốt quá trình sấy thực tế.

6. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã xác định được mô hình hồi quy biểu diễn sự phụ thuộc của hàm thời gian sấy và hàm hàm lượng Polysaccharide theo các thông số đầu vào là nhiệt độ TNS, vận tốc TNS và công suất bộ phát RF. Trong đó, thông số nhiệt độ TNS và công suất bộ phát RF có ảnh hưởng rõ rệt còn vận tốc TNS có ảnh hưởng nhưng không đáng kể.

7. Dựa trên cơ sở quy hoạch thực nghiệm và giải quyết các bài toán tối ưu đã xác định được chế độ sấy phù hợp đối với phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF cho nấm linh chi.

KHUYẾN NGHỊ

Nội dung luận án đã đạt được mục tiêu và nội dung nghiên cứu đề ra. Luận án đã tập trung vào nghiên cứu các vấn đề liên quan đến quá trình TNTA trong quá trình sấy nấm linh chi bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF và hai chỉ tiêu hiệu quả quá trình sấy là chỉ tiêu về kỹ thuật hiệu quả vận hành của hệ thống sấy (được đặc trưng bởi thông số thời gian sấy) và chỉ tiêu về chất lượng sản phẩm sấy (được đặc trưng bởi hàm lượng Polysaccharide trong nấm linh chi). Vì vậy, cần triển khai nghiên cứu và thực nghiệm ở quy mô lớn hơn để đánh giá hiệu quả kinh tế của kỹ thuật sấy nấm linh chi sấy bơm nhiệt kết hợp sóng RF.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Yang Jiao, Juming Tang, YifenWang, Tony L. Koral, 2018. Radio-Frequency Applications for Food Processing and Safety. Journal of Food Science and Technology 9: 105 - 127.

2. Batra, P., Sharma, A.K., Khajuria, R., 2013. Probing Lingzhi or Reishi Medicinal Mushroom Ganoderma lucidum: A Bitter Mushroom with Amazing Health Benefits. Journal of Medicinal Mushroom, 15 (2), 127 -143.

3. Trigos, A., Medellin, J.S., 2011. Biologically active matabolitesof the genus Ganoderma. Three decades myco-chemistry research, Revision, 34: 63 - 83.

4. Nguyễn Đức Lợi, Phạm Văn Tùy (1998). Hệ thống sấy lạnh bằng bơm nhiệt ở HAIHACO. Tạp chí KHCN Nhiệt, 2:10 - 15.

5. Perera, C.O., 2001. Modified Atmosphere Heat Pump Drying of Food Products, In Proc. 2nd Asia-Oceania Drying Conference, ed by Daud et al., pp.469-476. 2001.

6. Oktay Z, Hepbasil A., 2003. Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener dryer. Energ Convers Manage 2003;44:1193–1207. http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00140-1.

7. Phạm Văn Tùy, Nguyễn Thanh Liêm, Vũ Huy Khuê, Nguyễn Luận, Đỗ Thái Sơn, Nguyễn Đắc Tuyên, Dương Văn Vường (2003). Nghiên cứu công nghệ hút ẩm và sấy lạnh nông sản thực phẩm bằng bơm nhiệt máy nén. Đề tài NCKH cấp bộ, Hà Nội 2003.

8. Kohayakawa MN, Silveria-Junior V, Telis-Romero J, 2004. Drying of mango slices using heat pump dryer. Paper presented at the Proceedings of the 14th Int Drying Symp, Sao Paulo, Brazil, pp. 22–28.

9. P.K. Adapa và G.J. Schonenau, 2005. Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis. International journal of Energy Research 29: 916 - 972.

10. Hawlader MNA, Perera CO, Tian M, 2006. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods. Food Eng 74: 392–401.

11. Hawlader MNA, Jahangeer KA, 2006. Solar heat pump drying and water heating in the tropics. Journal of Sol Energy 80(5): 492–499.

12. Chegini G, Khayaei J, Rostami HA, Sanjari AR, 2007. Designing of a heat pump dryer for drying of plum. Journal of Res Appli Agric Eng 52 (2):63–65.

13. Guochen, Z., s. arason and s. arnason, 2009. dehydration property of Shrimp (Pandalus borealis) undergoing heat pump drying processes. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 2: 92–97.

14. Nguyễn Mạnh Hùng (2012). Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt truyền chất trong hệ thống sấy lạnh dùng bơm nhiệt và các giải pháp tiết kiệm năng lượng. Luận án tiến sỹ trường đại học Bách Khoa Hà Nội, 2012.

15. Lê Quang Huy (2017). Nghiên cứu kỹ thuật sấy phấn hoa ở Việt Nam. Luận án tiến sỹ trường đại học Nông Lâm TP.HCM, 2017.

16. Aktaş M, Ceylan I, Yilmaz S, 2009. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. Journal of Desalination 239(1–3): 266–275.

17. Lê Thị Đoan Thùy, 2012. Nghiên cứu chế độ sấy hành lá bằng phương pháp sấy bơm nhiệt máy nén kết hợp hồng ngoại. Luận văn, trường Đại học Nha Trang.

18. J. Yue, X. Song, Y. Deng, Y. Xhao, 2013. Effects of far infrared-assisted heat pump drying on drying characteristics, water status, total phenols and antioxidant properties of banana (Musa sapientum L.) slices. Journal of Food Agriculture and Environment 11(3):505-510

19. Chien Hwa Chong, Adam Figiel, Chung Lim Law, Aneta Wojdylo, 2014. Combined Drying of Apple Cubes by Using of Heat Pump, Vacuum-Microwave, and Intermittent Techniques. Food Bioprocess Technology 7:975–989.

20. Gokul G Nair, Jeoju M Issac, Nidhin A R, Binu Varghese, Swagath V Mohan, 2017. Experimental Investigation of a Heat Pump Assisted Fluidized Bed Dryer. GRD Journals- Global Research and Development Journal for Engineering 2 (6): 124 - 129.

21. Electron.Code Fed.Regul. (ECFR), 2017. Industrial, scientific andmedical equipment: operating frequencies.47CFR§18.301.https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-

dx?SID=80fd10dce26d52c6cc69567136c8f684&mc=true&node=pt47.1.18
&rgn=div5#se47.1.18_1301.

22. B. Zhou và S. Avramidis, 1999. On the loss factor of wood during Radio Frequency heating. Wood Science and Technology 33: 199 – 310.

23. Balakrishnan, P. A., Vedaraman, N., Sundar, V. J., Muralidharan, C., & Swaminathan, G., 2004. Radio frequency heating-a prospective leather drying system for future. Drying Technology 22(8): 1969–1982.

24. Jumah R. 2005. Modelling and simulation of continuous and intermittent radio frequency–assisted fluidized bed drying of grains. Food Bioprod. Process. 83(3):203–10

25. Yunyang Wang, Li Zhang, Menxiang Gao, Juming Tang và Shaojin Wang, 2012. Temperature and Moisture dependent Dielectric properties. Food Biology Technol 6: 2165 – 2176.

26. Piyachat Akaranuchat, Wolfgang Lucke, 2012. Combining Radio Frequency drying with hot air oven for energy reduction in GABA rice. Conference on International research on food security, University of Gottingen & University of Kassel Witzenhausen, pp. 19 – 21.

27. Yunyang Wang, Li Zhang, Judy Johnson, 2013. Developing Hot air assisted Radio frequency drying for in-Shell Macadamia Nut. Food Bioprocess Technol (2014) 7:278–288 - DOI 10.1007/s11947-013-1055-2.

28. Yunyang Wang, Li Zhang, Judy Johnson, Mengxiang Gao, Juming Tang, Joseph R. Powers, Shaojin Wang, 2014. Developing hot air-assisted radio frequency drying for in-shell macadamia nuts. Food and Bioprocess Technology 7(1): 278–288.

29. Wang YY, Zhang L, GaoMX, Tang J,Wang SJ., 2014. Pilot-scale radio frequency drying of macadamia nuts: heating and drying uniformity. Dry. Technol. 32(9): 1052–1059

30. Jiao S, Zhu D, Deng Y, Zhao Y., 2016. Effects of hot air–assisted radio frequency heating on quality and shelf-life of roasted peanuts. Food and Bioprocess Technology 9(2): 308–319.

31. Zhou, X., Gao, H., Mitcham, E. J., Wang, S., 2018. Comparative analyses of three dehydration methods on drying characteristics and oil quality of in-shell walnuts. Drying Technology 36(4): 477–490.

32. Koral, T., 2004. Radio frequency heating and post-baking. Biscuit World 7(4): 1–7.

33. Luechapattanaporn, K., Wang, Y., Wang, J., Tang, J., Hallberg, L. M., & Dunne, C. P., 2005. Sterilization of scrambled eggs in military polymeric trays by radio frequency energy. Journal of Food Science 70(4): 288–294.

34. Lagunas-Solar, M. C., Pan, Z., Zeng, N. X., Truong, T. D., Khir, R., & Amaratunga, K. S. P., 2007. Application of radio frequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes. Applied Engineering in Agriculture 23: 647–654

35. Farag KW, Lyng JG, Morgan DJ, Cronin DA. 2008. A comparison of conventional and radio frequency tempering of beef meats: effects on product temperature distribution. Meat Sci. 80(2):488–95

36. Manzocco L, Anese M, Nicoli MC. 2008. Radiofrequency inactivation of oxidative food enzymes in model systems and apple derivatives. Food Res. Int.J. 41(10):1044–49.

37. Farag KW, Duggan E, Morgan DJ, Cronin DA, Lyng JG. 2009. A comparison of conventional and radio frequency defrosting of lean beef meats: effects on water binding characteristics. Meat Sci. 83(2):278–84.

38. Farag, K. W., Marra, F., Lyng, J. G., Morgan, D. J., & Cronin, D. A., 2010. Temperature changes and power consumption during radio frequency tempering of beef lean/fat formulations. Food and Bioprocess Technology 3(5): 732–740.

39. KenWatanabe AlhassanAbubakari, CiprianLazarescu StavrosAvramidis, 2011. Softwood heating in Radio Frequency fields. Eur. J. Wood Prod 69: 295 – 301.

40. Llave Y, Terada Y, FukuokaM, Sakai N, 2014. Dielectric properties of frozen tuna and analysis of defrosting using a radio-frequency system at low frequencies. J. Food Eng. 139:1–9.

41. Uyar R, Bedane TF, Erdogdu F, Palazoglu TK, Farag KW,Marra F., 2015. Radio-frequency thawing of food products: a computational study. J. Food Eng. 146:163–71.

42. Alfaifi, B., Tang, J., Rasco, B., Wang, S., Sablani, S., 2016. Computer simulation analyses to improve radio frequency (RF) heating uniformity in dried fruits for insect control. Innovative Food Science & Emerging Technologies 37: 125–137.

43 Zheng-Wei Cui, Shi-Ying Xu, Da-Wen Sun và Wei Chen, 2006. Dehydration of Concentrated Ganoderma lucidum Extraction by Combined Microwave-Vacuum and Conventional Vacuum Drying. Drying technology 24: 595 - 599.

44. Christina Vimala Supramaniam & Arun S. Mujumdar, 2008. Thin layer drying characteristics and quality aveluation of air drying Ganoderma. Drying technology 26: 1524 – 1533.

45. Siew Kian Chin, Chung Lim Law, Poh Guat Cheng, 2011. Effect of drying on crude ganoderic acids and water soluble Polysaccharides content in Ganoderma lucidum. Int. J. Pharm Pharm Sci 3 (1): 38 – 43.

46. Liuping Fan, Jinwei Li , Kequan Deng,Lianzhong Ai, 2012. Effects of drying methods on the antioxidant activities of polysaccharides extracted from Ganoderma lucidum. International Journal of Scientific and Research Publication 87: 1849–1854.

47. Siew Kian Chin & Chung Lim Law, 2012. Optimation of convective air drying Ganoderma slice using response surface methodology. International Journal of Scientific and Research Publication, ISSN 2250 – 3153, 2(5): 1- 11.

48. Jun-Wen Bai, Hong-Wei Xiao, Zheng Lou, Zhen-Jiang Gao, 2013. Mathematical modeling and polysaccharide content of Ganoderma lucidum by hot air impingement drying. ASABE Annual International Meeting Paper, Paper Number: 131619320, 2013, pp 1 - 9.

49. Siew Kian Chin và Chung Lim Law, 2014. Maximizing the Retention of Ganoderic Acids and Water-Soluble Polysaccharides Content of Ganoderma

lucidum Using Two-Stage Dehydration Method. Journal of Drying Technology 32(6): 644 - 656.

50. Septi Nur Hayati, Vita Taufika Rosyida, Wuri Apriyana, Cici Darsih, Crescentiana Dewi, 2016. Effects of different drying techniques on the water-soluble polysaccharides content and antioxidant activities of Ganoderma lucidum Karst. Advances of Science and Technology for Society, AIP Conference Proceedings 1755, 130004 (2016); doi: 10.1063/1.4958548, 1755: 1 - 5.

51. D J Prasetyo, T H Jatmiko, C D Poeloengasih, M Kismurtono, 2017. Drying Characteristics and Water-soluble Polysaccharides Evaluation of Kidney Shape Ganoderma lucidum Drying in Air Circulation System. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 101 (2017) 012012, doi:10.1088/1755-1315/101/1/012012.

52. Perumal K., 2009. Indigenous technology on organic cultivation of Reishi (Ganoderma lucidum), Chennai: Shri AMM Murugappa Chettiar Research Centre, Taramani Chennai 600 - 113, 2009, 12 pages.

53. Hoàng Văn Chước, 1999. Kỹ thuật sấy. NXB Khoa học kỹ thuật 1999, 283 trang.

54. Trần Văn Phú, 2001. Tính toán và thiết kế hệ thống sấy. NXB Giáo dục, Hà Nội 2001, 267 trang.

55. A.Luikov, 1980. Heat and mass transfer / A. Luikov; T. Kortneva (translator), Mir Publishers, Moscow 1980, 623 pages.

56. Francesco Marra, Lu Zhang b, James G. Lyng, 2009. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. Journal of Food Engineering 91: 497–508.

57. Ciprian Lazarescu và Stavros Avramidis, 2011. Radio-Frequency Heating Kinetics of Softwood Logs. Drying Technology 29(6):673-681.

58. L. Chen, Z. Huang, K. Wang, W. Li & S. Wang, 2016. Simulation and validation of radio frequency heating with conveyor movement. Journal of Electromagnetic Waves and Applications 30 (4): 473 - 491.

59. Shunshan Jiao, Yun Deng, Yu Zhong, DanfengWang & YanyunZhao, 2015. Investigation of radio frequency heating uniformity of wheat kernels by using the developed computer simulation model. Food Research International 71: 41–49.

60 Rahmi Uyara, Ferruh Erdogdua, Francesco Marra, 2014. Effect of load volume on power absorption and temperature evolution during radio-frequency heating of meat cubes: A computational study. Food and bioproducts processing 92: 243–251.

61 Rahmi Uyara, Ferruh Erdogdub, Fabrizio Sarghini, Francesco Marra, 2016. Computer simulation of radio-frequency heating applied to block-shaped foods: Analysis on the role of geometrical parameters. Food and bioproducts processing 98: 310–319.

62. Ahmet Kaya, 2015. Numerical Analysis Of A Radio FrequencyAssisted Convective Drying. International Journal Of Scientific & Technology Research 4 (6): 234 – 241.

63. Jian Wang, Kunchalee Luechapattanaporn, Yifen Wang, Juming Tang, 2012. Radio-frequency heating of heterogeneous food – Meat lasagna. Journal of Food Engineering 108: 183–193.

64. Yang Jiao, Juming Tang, Shaojin Wang, 2014. A new strategy to improve heating uniformity of low moisture foods in radio frequency treatment for pathogen control. Journal of Food Engineering 141: 128–138.

65. Yang Jiao, HuojieShi, Juming Tang, Feng Li, ShaojinWang, 2015. Improvement of radio frequency (RF) heating uniformity on low moisture foods with Polyetherimide (PEI) blocks. Food Research International 74: 106–114.

66. Bandar Alfaifi, JumingTang, Barbara Rasco, Shaojin Wang, ShyamSablani, 2016. Computer simulation analyses to improve radio frequency (RF) heating uniformity in dried fruits for insect control. Innovative Food Science and Emerging Technologies 37: 125–137.

67. Zhi Huang, Francesco Marra, Shaojin Wang, 2016. A novel strategy for improving radio frequency heating uniformity of dry food products using computational modeling. Innovative Food Science and Emerging Technologies 34: 100–111

68. Zhi Huang, BoZhang, Francesco Marra, ShaojinWang, 2016. Computational modelling of the impact of polystyrene containers on radio frequency heating

uniformity improvement for dried soybeans. Innovative Food Science and Emerging Technologies 33: 365–380.

69. Ferruh Erdogdu, Ozan Altin, Francesco Marra, Tesfaye Faye Bedane, 2017. A computational study to design process conditions in industrial radio-frequency tempering/thawing process. Journal of Food Engineerin, 213: 99 - 112.

70. Jiajia Chen, Soon Kiat Lau, Long Chena, Shaojin Wang, Jeyamkondan Subbiah, 2017. Modeling radio frequency heating of food moving on a conveyor belt. Food and bioproducts processing 102: 307–319.

71. Hankun Zhu, Dong Li, Shujun Li, Shaojin Wang, 2017. A novel method to improve heating uniformity in mid-high moisture potato starch with radio frequency assisted treatment. Journal of Food Engineering 206: 23 - 36.

72. Nazmi Izli, Esref Isik, 2014. Effect of different drying methods on drying characteristics, colour and microstructure properties of mushroom. Journal of Food and Nutrition Research 53 (2): 105–116

73. Mohsen Beigi, 2015. Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying. Food Sci. Technol, Campinas 36(1): 145 – 150.

74. Nguyen Hay, Le Anh Duc, Pham Van Kien, 2018. Study on designing and manufacturing a Radio frequency generator using in drying technology. IEEE Xplore Digital library, ISBN: 978-1-5386-5125-4, DOI: 10.1109/GTSD. 2018.8595618, 2018. pp. 416 – 422.

75. Białobrzewski Ireneusz, Magdalena Zielinska, Arun S. Mujumdar, 2008. Heat and mass transfer during drying of a bed of shrinking particles – Simulation for carrot cubes dried in a spout fluidized bed drier. International Journal of Heat and Mass Transfer 51: 4704–4716

76. Cegel Yunus A., 2010. Heat and mass transfer. McGraw-Hill Science, 4 edition, ISBN-10: 0077366646, 924 pages.

77. Krokida, M. K., Maroulis, Z. B, 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration. International Journal of Food Science and Technology 36: 529 – 538.

78. Giri, Suresh Prasad, 2006. Modeling shrinkage and density changes during

microwave-vacuum drying of button mushroom. International Journal of Food Properties 9: 409 – 419.

79. Zhengyong Yan, Maria J., Sousa-Gallagher, Fernanda A.R., Oliveira, 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. Journal of Food Engineering 84: 430 – 440.

80. Mustafa Paksoy, Cevat Aydın, Önder Türkmen, Musa Seymen, 2014. Modeling of Moisture-Dependent Properties & Mineral Contents of Dry Mushroom. Selcuk J Agr Food Sci 28(1): 22 – 28.

81. Nagvanshi, Shrivastava, Goswami, 2017. Study of Changes in Shrinkage and Density as a Function of Moisture Content during Microwave Vacuum Drying under Various Operating Conditions. Journal of Food, Nutrition and Population Health 1 : 2–13.

82. Singh, K. K., Goswami, T. K. , 2000. Thermal properties of cumin seed. Journal of Food Engineering 45: 181 – 187.

83. Aviara, N. A., Haque, M. A., 2001. Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. Journal of Food Engineering 47: 109 – 113.

84. Subramanian, S., Viswanathan, R., 2003. Thermal properties of minor millet grains and flours. Biosystems Engineering 84(3): 289 – 296.

85. Seyed M.A., Razavi, Masoud Taghizadeh, 2006. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. Journal of Food Engineering 79: 158 – 167.

86. F. Kaymak Ertekin, M. Sultanoglu, 2001. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. Journal of Food Engineering 47: 225–231.

87. P. Kumar, H.N. Mishra, 2006. Moisture sorption characteristics of mango soy fortified yogurt powder. International Journal of Dairy Technology 59: 22–28.

88. R.V. Tonon, A.F. Baroni, C. Brabet, O. Gibert, D. Pallet, M.D. Hubinger, 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried acai juice. Journal of Food Engineering 94: 215–221.

89. Khalid Muzaffar, Pradyuman Kumar, 2016. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. Powder Technology 291: 322–

327.

90. R. Martınez LasHeras, A. Heredia, M. L. Castello, A. Andres, 2014. Influence of drying method and extraction variables on the antioxidant properties of persimmon leaves. Journal of Food Bioscience 6: 1–8.

91. A.C. Babetto, F.B. Freire, M.A.S. Barrozo, J.T. Freire, 2011. Drying of garlic slices: Kinetics and nonlinearity measures for selecting the best equilibrium moisture content equation. Journal of Food Engineering 107: 347–352.

92. T.L. Thompson, R.M. Peart, G. H. Foster, 1968. Mathematical simulation of corn drying a new model. Transactions of the ASAE 24: 582–586.

93. H.B. Pfost, S.G. Maurer, D. S. Chung, G. A. Milliken, 1976. Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains. ASAE, Michigan, USA, 1976, pp. 76-352.

94. H.A. Iglesias, J. Chirife, 1976. Prediction of effect of temperature on water sorption isotherms of food materials. Journal of Food Technology 11: 109-116.

95. C.R. Oswin, 1946. The kinetics of package life, Journal of Chemical Industry. 65: 419- 421.

96. Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., Hall, C.W., 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. The AVI Publishing Company, Westport, 1992, 450 pages.

97. Brook, R.C., Foster G.H., 1981. Drying, cleaning and conditioning. In: CRC Handbook of Transportation, Marketing and Agriculture, v.2, CRC Press, Boca Raton, 1981.

98. Al-Mahasneh, M.A., Rababah, T.M, Yang, W., 2007. Moisture sorption thermodynamics of defatted sesame meal (DSM). Journal of Food Engineering 81: 735 – 740.

99. Kaleemullah, S., Kailappan, R., 2005. Latent heat of vaporization of moisture from red chillies. International Journal of Food Properties 8: 199 – 205.

100. Prado, M.M., Sartori, D.J.M., 2008. Simultaneous heat and mass transfer in packed bed drying of seeds having a mucilage coating. Brazilian Journal of Chemical Engineering 25: 39 – 50.

101. Wilton Pereira da Silva, Cleide Maria Diniz Pereira da Silva e Silva, Fernando

José de Almeida Gama, Josivanda Palmeira Gomes, 2012. An empiric equation for the latent heat of vaporization of moisture in bananas during its isothermal drying. Argriculture science 3: 214 – 220.

102. Bùi Hải, 2006.. Kỹ thuật nhiệt. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 218 trang.

103. Choi, Y. and Okos, M.R., 1986. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In Food Engineering and Process Applications, Transport Phenomena. Le Maguer, M. and Jelen, P., Eds., Elsevier, New York. 1: 93–101.

104. M. A. Rao, S. S. H. Rizvi, A. K. Datta, 2005. Engineering Properties of Foods. 3rd edition, Taylor &Francis Group, Boca Raton, London, Newyork 2005, International Standard Book Number-10: 0-8247-5328-3, 761 pages.

105. Le Anh Duc, Jea Woong Han, Dong Hyuk Keum, 2011. Thin layer drying characteristics of rapeseed (Brassica napus L.). Journal of Stored products research 47(1): 32–38.

106. Pankaj B. Pathare, Sharma, G.P., 2006. Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying. Journal of Bio systems Engineering 93(3): 285–291.

107. Bhattacharya M., Srivastav P.P., Mishra H.N., 2015. Thin-layer modeling of convective and microwave-convective drying of oyster mushroom (Pleurotus ostreatus). Journal of Food science technology 52(4): 2013–2022.

108. Ali Motevali, Saeid Minaei, Ahmad Banakar, Barat Ghobadian, Hosain Darvishi, 2016. Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 15: 179–187.

109. Evin D., 2012. Thin layer drying kinetics of Gundelia tournefortii L, Food and Bioproducts Processing 90: 323-332.

110. Nelson, S., Trabelsi, S., 2006. Dielectric spectroscopy of wheat from 10 MHz to 1.8 GHz. Meas. Sci. Technol 17 (8): 2294 – 2298.

111. Shrestha, B., Baik, O.-D., 2013. Radio frequency selective heating of stored-grain insects at 27.12 MHz: A feasibility study. Biosyst. Eng 114 (3): 195 – 204.

112. Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Cavalieri, R.P., 2013. Heating uniformity and differential heating of insects in almonds associated with radio frequency energy. J. Stored Prod. Res. 55: 15 – 20.

113. Jiao, Y., Tang, J., Wang, S., Koral, T., 2014. Influence of dielectric properties on the heating rate in free-running oscillator radio frequency systems. J. Food Eng. 120: 189 – 203.

114. Samet Ozturka, Fanbin Kong, Samir Trabelsi và Rakesh K. Singh, 2016. Dielectric properties of dried vegetable powders and their temperature profile during radio frequency heating. Journal of Food Engineering 169: 91 – 100.

115. Birla, S. L., Wang, S., & Tang, J., 2008. Computer simulation of radio frequency heating of model fruit immersed in water. Journal of Food Engineering 84(2): 270 – 280.

116. J.M.Łechtańska, J.Szadzińska, S.J.Kowalski, 2015. Microwave- and infrared-assisted convective drying of green pepper: Quality and energy considerations. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification 98: 155-164.

117. Gokhan Bingol, Zhongli Pan, John S. Roberts, Y. Onur Devres, Murat O. Balaban, 2008. Mathematical modeling of microwave-assisted convective heating and drying of grapes. Int J Agric & Biol Eng 1(2): 46 - 54.

118. Preeda Prakotmak, 2014. Finite Element Modeling of Heat and Mass Transfer in Food materials during Microwave Heating. Journal of Applied Sciences Research 9 (12): 6115 – 6121.

119. Javier R. Arballo, Laura A. Campañone and Rodolfo H. Mascheroni, 2012. Numerical solution of coupled mass and energy balances during osmotic microwave dehydration. Comp. Appl. Math., 31(3): 539–558.

120. Giri, S. K. – Prasad, S., 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave vacuum and convective hot-air dried mushrooms. Journal of Food Engineering 78(2): 512–521.

121. Nagaraj G, Singh R, Hung YC, Mohan A., 2015. Effect of radio-frequency on heating characteristics of beef homogenate blends. LWT Food Sci. Technol. 60 (1): 372 –76

122. M.E. Monzon, B. Biasi, T.L. Simpson, J. Johnson, X. Feng, D.C. Slaughter, E.J. Mitchama, 2006. Effect of radio frequency heating as a potential quarantine treatment on the quality of 'Bing' sweet cherry fruit and mortality of codling moth larvae. Postharvest Biology and Technology 40: 197–203

123. Shunsha, Didi Zhu, Yun Deng, Yanyun Zhao, 2016. Effects of Hot Air-assisted Radio Frequency Heating on Quality and Shelf-life of Roasted Peanuts. Food Bioprocess Technol 9: 308 – 319.

124. Đặng Quốc Phú, Trần Thế Sơn, Trần Văn Phú, 2006. Truyền nhiệt. NXB Giáo dục, Hà nội, 320 trang

125. A. Khouya, A. Draoui, B. Zeghmati, S. Abide, X. Chesneau, 2014. The Effect of Combined Convective and Microwave Heating on Mechanical Behaviour of Wood during Drying. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering 3 (4): 8287 – 8299.

126. Hoàng Đình Tín, 2001. Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt. NXB Khoa học kỹ thuật, 547 trang.

127. Phạm Thanh, 2007. Kỹ thuật sấy 1, Trường Đại học Đà Nẵng – Đại học Bách khoa Đà Nẵng, 41 trang.

128. Jack P. Holman, 2009. Heat transfer. 10th edition, McGraw-Hill Science, ASIN: B00LMT07EC, 2009, 752 pages.

129. Baehr H.D, Karl Stephan, 2006. Heat and Mass Transfer. 2nd revised Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Printed in Germany, ISBN-10 3-540-29526-7 Second Edition Springer Berlin Heidelberg New York, 2006, 705 pages,

130. Ch J. Boukouvalas , M. K. Krokida , Z. B. Maroulis & D. Marinos-Kouris, 2006. Effect of Material Moisture Content and Temperature on the True Density of Foods. International Journal of Food Properties 9(1): 109 - 125.

131. Krokida, M.K.; Maroulis, Z.B., 2000. Quality change during drying of food materials. In Drying Tech-nology in Agriculture and Food Sciences; Mujumdar, A.S.; Ed.; Science Publishers Inc.: Enfield (NH), USA. 65: 61–106.

132. L´ opez-Ortiz A, Rodriguez-Ram´ ırez J, M´ endez-Lagunas L., 2013. The effects of drying air temperature on the structural properties of garlic evaluated during the drying process. Intl J Food Prop 16: 1516–1529.

133. Beigi M., 2016. Hot air drying of apple slices: dehydration characteristics and quality assessment. Journal of Heat and Mass transfer 52(8): 1435–1442.

134. Demiray E., Tulek Y., 2012. Thin-layer drying of tomato (Lycopersicum esculentum Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer. Journal of Heat and Mass transfer 48(5): 841–847.

135. Lixia Houa, Bo Linga, Shaojin Wang, 2016. Development of thermal treatment protocol for disinfesting chestnuts using radio frequency energy. Postharvest Biology and Technology 98: 65 – 71.

136. Samet Ozturk, Fanbin Kong, Rakesh K. Singh, Jese Daniel Kuzy và Changying Li, 2017. Radio frequency heating of corn flour: Heating rate and uniform. Innovative Food Science and Engineering technology 171: 234 – 241.

137. Celma, A.R., Cuadros, F., Lopez-Rodriguez, F., 2009. Review: characterization of industrial tomato by-products from infrared drying process. Food Bioprod. Process. 87: 282 – 291.

138. Mahmoud Younis, Diaeldin Abdelkarim, Assem Zein El-Abdein, 2017. Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. Saudi Journal of Biological Sciences 80: 25 – 32.

139. G.P. Sharma, Suresh Prasad and V.K. Chahar, 2009. Moisture transport in garlic cloves undergoing microwave-convective drying. Journal of Food and bioproducts processing 87: 11 – 16.

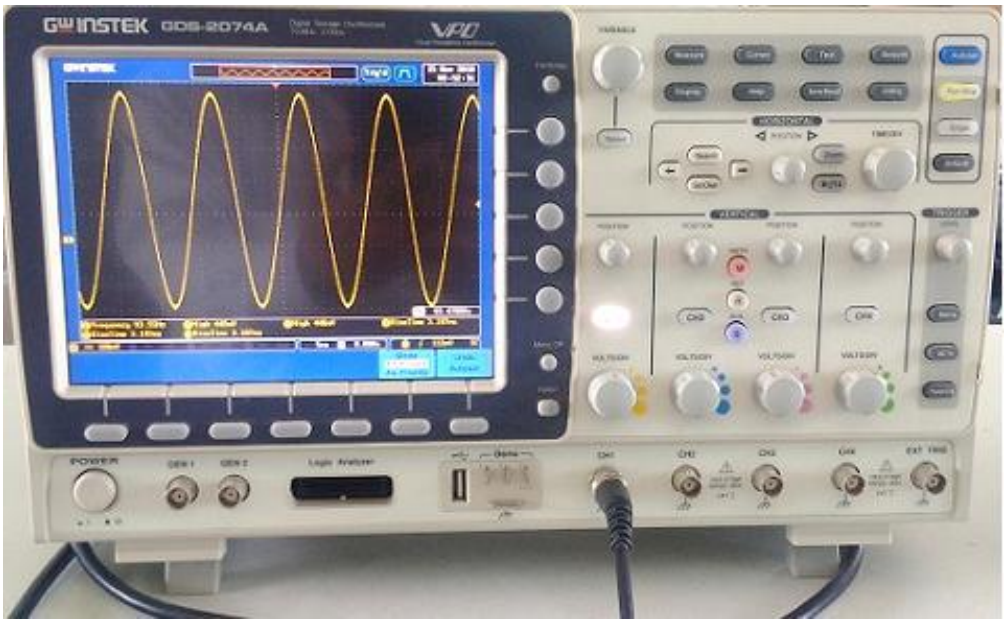
PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Hình ảnh thiết bị đo

Hình PL1.1. Thiết bị đo nhiệt độ (cảm biến nhiệt PT100) và ẩm độ TNS (ẩm kế Extech 445713)

Hình PL1.2. Thiết bị đo vận tốc TNS (Lutron - AM 4205A)

Hình PL1.3. Ampere kế (C.A401)



Hình PL1.4. Thiết bị đo tần số (GDS - 2074A)

Hình PL1.5. Cảm biến nhiệt độ đo nhiệt độ VLS (AYN-MF59-104F-3950FB-1000)

Phụ lục 2. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS

Phụ lục 2.1. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: $t_a = 40^oC$; $v_a = 1,2$ m/s; $P_{RF} = 1,3$ kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)	TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)
0	3	27	260	0,45	50,45
20	1,963	39,9	280	0,403	49,89
40	1,719	47,22	300	0,362	49,37
60	1,511	51,22	320	0,327	48,9
80	1,329	53,24	340	0,296	48,46
100	1,17	54,08	360	0,269	48,08
120	1,032	54,23	380	0,245	47,73
140	0,912	53,99	400	0,225	47,42
160	0,806	53,52	420	0,207	47,14
180	0,714	52,94	440	0,191	46,89
200	0,634	52,31	460	0,177	46,67
220	0,564	51,67	480	0,165	46,48
240	0,503	51,05	500	0,155	46,28
			511	0,1505	46,09

Phụ lục 2.2. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: t_a = 45^{o}C; v_a = 1,2 m/s; P_{RF} = 1,3 kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^{o}C)	TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^{o}C)
0	3	27	240	0,433	55,43
20	1,994	41,87	260	0,384	54,82
40	1,671	50,36	280	0,341	54,26
60	1,449	55,04	300	0,305	53,76
80	1,258	57,43	320	0,273	53,3
100	1,093	58,46	340	0,246	52,89
120	0,952	58,71	360	0,223	52,53
140	0,83	58,48	380	0,203	52,21
160	0,725	58	400	0,185	51,92
180	0,635	57,4	420	0,17	51,67
200	0,558	56,74	440	0,157	51,45
220	0,491	56,08	454	0,150	51,26

Phụ lục 2.3. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: $t_a = 50^oC$; $v_a = 1,2$ m/s; $P_{RF} = 1,3$ kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)	TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)
0	3	27	220	0,419	60,27
20	1,901	43,83	240	0,367	59,62
40	1,618	53,47	260	0,322	59,02
60	1,381	58,81	280	0,284	58,48
80	1,181	61,55	300	0,252	58
100	1,011	62,75	320	0,224	57,57
120	0,868	63,04	340	0,201	57,2
140	0,746	62,81	360	0,182	56,87
160	0,643	62,3	380	0,165	56,59
180	0,556	61,66	400	0,153	56,35
200	0,482	60,97	402	0,150	56,3

Phụ lục 2.4. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: $t_a = 50^oC$; $v_a = 1,2$ m/s; $P_{RF} = 0,65$ kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)	TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)
0	3	27	240	0,422	57,59
20	1,929	41,22	260	0,373	57,26
40	1,664	49,49	280	0,331	56,95
60	1,439	54,21	300	0,294	56,66
80	1,247	56,8	320	0,263	56,4
100	1,081	58,15	340	0,237	56,16
120	0,939	58,74	360	0,214	55,95
140	0,817	58,9	380	0,194	55,75
160	0,713	58,81	400	0,177	55,58
180	0,622	58,58	420	0,162	55,43
200	0,545	58,28	440	0,151	55,3
220	0,479	57,93	441	0,150	55,25

Phụ lục 2.5. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: t_a = 50^{o}C; v_a = 1,2 m/s; P_{RF} = 1,3 kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^{o}C)	TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^{o}C)
0	3	27	220	0,419	60,27
20	1,901	43,83	240	0,367	59,62
40	1,618	53,47	260	0,322	59,02
60	1,381	58,81	280	0,284	58,48
80	1,181	61,55	300	0,252	58
100	1,011	62,75	320	0,224	57,57
120	0,868	63,04	340	0,201	57,2
140	0,746	62,81	360	0,182	56,87
160	0,643	62,3	380	0,165	56,59
180	0,556	61,66	400	0,151	56,37
200	0,482	60,97	403	0,150	56,34

Phụ lục 2.6. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: $t_a = 50^oC$; $v_a = 1,2$ m/s; $P_{RF} = 1,95$ kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)	TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)	Nhiệt độ TB VLS (^oC)
0	3	27	200	0,421	63,99
20	1,871	47,3	220	0,363	62,93
40	1,569	58,54	240	0,315	61,95
60	1,319	64,43	260	0,274	61,09
80	1,111	67,17	280	0,241	60,33
100	0,938	68,07	300	0,213	59,66
120	0,794	67,92	320	0,19	59,08
140	0,674	67,2	340	0,17	58,59
160	0,573	66,2	360	0,157	58,19
180	0,49	65,1	366	0,150	58,15

Phụ lục 2.7. Kết quả tính toán độ chứa ẩm TB VLS và nhiệt độ TB VLS tại chế độ sấy: t_a = 50^{o}C; v_a = 1,2, 1,6 và 2,0 m/s; P_{RF} = 1,3 kW.

TGS (phút)	Độ chứa ẩm TB VLS (kg Â/kg VLK)		
	1,2 m/s	1,6 m/s	2 m/s
0	3	3	3
20	2	2,01	2,017
40	1,618	1,6222	1,6298
60	1,381	1,3863	1,396
80	1,181	1,1866	1,1975
100	1,011	1,0173	1,0289
120	0,868	0,8738	0,8856
140	0,746	0,7521	0,7638
160	0,643	0,6489	0,6602
180	0,556	0,5614	0,5722
200	0,482	0,4872	0,4974
220	0,419	0,4244	0,4339
240	0,367	0,3711	0,3799
260	0,322	0,3259	0,334
280	0,284	0,2876	0,295
300	0,252	0,255	0,2617
320	0,224	0,2274	0,2335
340	0,201	0,204	0,2095
360	0,182	0,1841	0,189
380	0,165	0,1672	0,1717
400	0,151	0,153	0,1569
403	0,150		

Phụ lục 3.1. Kết quả thử nghiệm mẫu

Phụ lục 3.1. Kết quả thử nghiệm xác định thành phần phần trăm của các thành phần chất trong nấm Linh chi

Thành phần chất	x_w^0	x_P^0	x_F^0	x_{CHO}^0	x_{ASH}^0	x_{Fi}^0
% thành phần (giá trị TB)	0,0003	0,0752	0,0405	0,274	0,018	0,592

Phụ lục 3.1. Kết quả thử nghiệm xác định hàm lượng Polysaccharides trong mẫu sản phẩm sấy nấm Linh chi .

STT	Chế độ sấy			Hàm lượng Polysaccharides (mg/g)	Mã hóa
	t_a (^oC)	v_a (m/s)	P_{RF} (kW)		
1	40	1,2	1,3	8,95	HP+RF_01
2	45	2,0	0,65	8,81	HP+RF_02
3	40	1,6	0,65	8,08	HP+RF_03
4	50	2,0	1,3	9,40	HP+RF_04
5	50	1,6	1,95	9,73	HP+RF_05
6	45	1,6	1,3	9,21	HP+RF_06
7	45	1,2	1,95	9,47	HP+RF_07
8	50	1,6	0,65	9,22	HP+RF_08
9	45	1,6	1,3	9,11	HP+RF_09
10	45	1,6	1,3	9,01	HP+RF_010
11	40	2,0	1,3	8,44	HP+RF_011
12	50	1,2	1,3	9,77	HP+RF_012
13	45	2,0	1,95	9,02	HP+RF_013
14	45	1,2	0,65	9,18	HP+RF_014
15	40	1,6	1,95	8,53	HP+RF_015
16	50	1,6	1,3	9,52	HP+RF_016
17	50	1,2	0,65	9,43	HP+RF_017
18	40	1,2	0	7,16	HP_01
19	45	1,2	0	7,82	HP_02
20	50	1,2	0	8,26	HP_03

Phụ lục 4. Kết quả phân tích phương sai

Phụ lục 4.1. Kết quả phân tích phương sai hàm hàm lượng Polysaccharide lần 1.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Nhiet do TNS	0,0204884	1	0,0171676	171,68	0,0058
B:Van toc TNS	0,00346482	1	0,00345311	34,53	0,0278
C:Cong suat bo phat RF	0,00272873	1	0,00283738	28,37	0,0335
AA	0,00037904	1	0,00037904	3,79	0,1909
AB	0,00000695	1	0,00000695	0,7	0,8167
AC	0,00006282	1	0,00006282	0,63	0,5111
BB	0,00069116	1	0,00069116	6,91	0,1193
BC	0,00003427	1	0,00003427	0,34	0,6175
CC	0,00067516	1	0,00067516	6,75	0,1217
Lack-of-fit	0,00060140	3	0,00020046	2,00	0,3499
Pure error	0,0002	2	0,0001		
Total (corr.)	0,0282489	14			

Phụ lục 4.2. Kết quả phân tích phương sai hàm hàm lượng Polysaccharide lần 2.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Nhiet do TNS	0,020808	1	0,020808	208,08	0,0048
B:Van toc TNS	0,00291938	1	0,00291938	29,19	0,0326
C:Cong suat bo phat RF	0,00256051	1	0,00256051	25,61	0,0369
Lack-of-fit	0,00236843	9	0,00026315	2,63	0,3057
Pure error	0,0002	2	0,0001		
Total (corr.)	0,0282489	14			

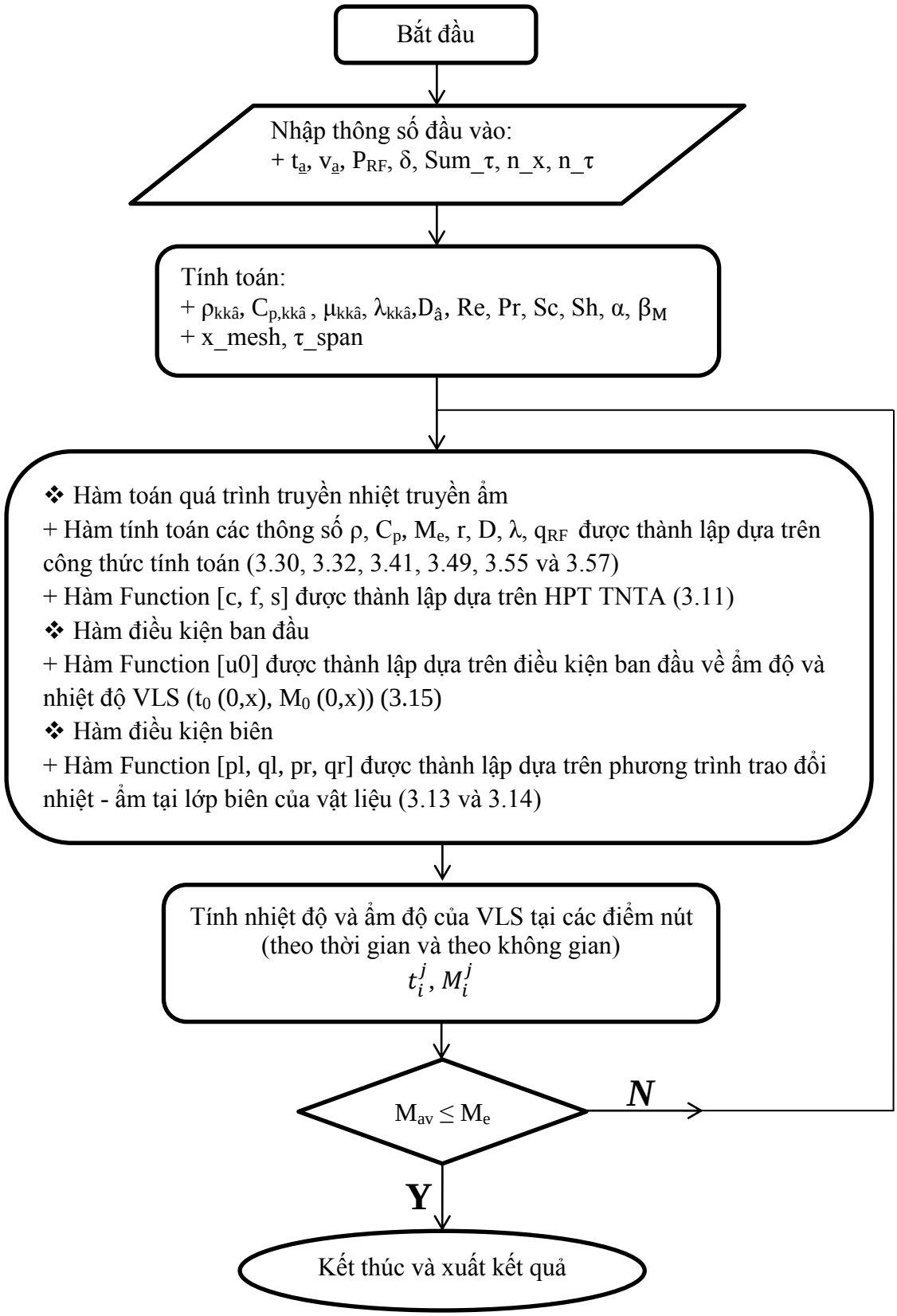
Phụ lục 4.3. Kết quả phân tích phương sai hàm thời gian sấy lần 1.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Nhiet do TNS	20699,9	1	20699,9	828,00	0,0012
B:Van toc TNS	601,417	1	601,417	24,06	0,0391
C:Cong suat bo phat RF	10875,8	1	10875,8	435,03	0,0023
AA	172,46	1	172,46	6,90	0,1195
AB	38,3564	1	38,3564	1,53	0,3411
AC	16,7462	1	16,7462	,67	0,4991
BB	34,7358	1	34,7358	1,39	0,3597
BC	0,0441735	1	0,0441735	0,00	0,9703
CC	32,7495	1	32,7495	1,31	0,3709
Lack-of-fit	5,80218	3	1,93406	0,08	0,9665
Pure error	50,0	2	25,0		
Total (corr.)	39173,3	14			

Phụ lục 4.4. Kết quả phân tích phương sai hàm thời gian sấy lần 2.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Nhiet do TNS	25878,1	1	25878,1	1035,13	0,010
B:Van toc TNS	890,675	1	890,675	35,63	0,0269
C:Cong suat bo phat RF	12650,0	1	12650,0	506,00	0,0020
Lack-of-fit	342,034	9	38,0037	1,52	0,4588
Pure error	50,0	2	25,0		
Total (corr.)	39173,3	14			

Phụ lục 5. Lưu đồ thuật toán giải hệ phương trình TNTA



TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 18N103(10)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 07/05/2018 - 21/05/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	Thành phần	Carbohydrate	%	27,4	TCVN 4594:1988
		Xơ thô (Fiber)	%	59,2	TCVN 5103:1990
		Protein thô	g/kg	75,2	AOAC 987.04 - 1997
		Chất béo (Fat)	%	4,05	AOAC 871.01 - 1997
		Tro (Ash)	%	1,80	AOAC 935.12 - 2000

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*
Kết quả thực hiện trên nền mẫu thử.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 21 tháng 05 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

KT. Viện trưởng

TS. LÊ THỊ DIỆU TRANG

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (1)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 15/08/2017 - 25/08/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 01	Polysaccharide	mg/kg	8951	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 08 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HỒ CHÍ MINH

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (2)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 15/08/2017 - 25/08/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 02	Polysaccharide	mg/kg	8812	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 08 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (3)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 15/08/2017 - 25/08/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 03	Polysaccharide	mg/kg	8079	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 08 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (4)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 15/09/2017 - 25/09/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 04	Polysaccharide	mg/kg	9402	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 09 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (5)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 15/09/2017 - 25/09/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 05	Polysaccharide	mg/kg	9731	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 09 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HỒ CHÍ MINH

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (6)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 15/09/2017 - 25/09/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 06	Polysaccharide	mg/kg	9210	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 09 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (7)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/10/2017 - 27/10/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 07	Polysaccharide	mg/kg	9469	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 10 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP HỒ CHÍ MINH

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (8)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/10/2017 - 27/10/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 08	Polysaccharide	mg/kg	9221	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 10 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (9)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/10/2017 - 27/10/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 09	Polysaccharide	mg/kg	9112	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 10 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (10)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 14/11/2017 - 27/11/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 10	Polysaccharide	mg/kg	9012	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 11 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (11)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 14/11/2017 - 27/11/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 11	Polysaccharide	mg/kg	8446	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 11 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (12)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN
Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai
Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01
Thời gian phân tích: 14/11/2017 - 27/11/2017

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 12	Polysaccharide	mg/kg	9773	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 11 năm 2017

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HỒ CHÍ MINH

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (13)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 12/03/2018 - 23/03/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 13	Polysaccharide	mg/kg	9023	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 23 tháng 03 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (14)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 12/03/2018 - 23/03/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 14	Polysaccharide	mg/kg	9187	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 23 tháng 03 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (15)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 12/03/2018 - 23/03/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 15	Polysaccharide	mg/kg	8530	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 23 tháng 03 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS.TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 19N032(1)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/04/2018 - 27/04/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 16	Polysaccharide	mg/kg	9522	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 04 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

TS. Nguyễn Ngọc Hà

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 19N032(2)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/04/2018 - 27/04/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP + RF - 17	Polysaccharide	mg/kg	9433	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 04 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

TS. Nguyễn Ngọc Hà

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (16)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/04/2018 - 27/04/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP - 01	Polysaccharide	mg/kg	7160	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 04 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (17)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN

Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai

Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01

Thời gian phân tích: 16/04/2018 - 27/04/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP - 02	Polysaccharide	mg/kg	7822	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 04 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC & MÔI TRƯỜNG
Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 84.8.37220294 Fax: 84.8.38972262
Email: ribe@hcmuaf.edu.vn

Mã số: 16b/HĐ-CNSH&MT (18)

PHIẾU KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Tên khách hàng: PHẠM VĂN KIÊN
Địa chỉ: Long Phước - Long Thành - Đồng Nai
Tên mẫu: Nấm linh chi **Số lượng mẫu:** 01
Thời gian phân tích: 16/04/2018 - 27/04/2018

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Stt	Tên/loại mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
01	HP - 03	Polysaccharide	mg/kg	8261	USP 38 - NF

Ghi chú: *Kết quả chỉ có giá trị trên mẫu được gửi.*

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 04 năm 2018

Trưởng PTN/ QLKT

ThS. Phùng Võ Cẩm Hồng

Viện trưởng

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SINH HỌC VÀ MÔI TRƯỜNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HỒ CHÍ MINH

PGS. TS. LÊ ĐÌNH ĐÔN

Thời gian lưu mẫu 07 ngày kể từ ngày trả kết quả (ngoại trừ mẫu vi sinh)
Kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gởi đến
Hết thời gian lưu mẫu, chúng tôi không chịu trách nhiệm về việc khiếu nại về việc kết quả thử nghiệm của khách hàng
Kết quả này không được sao chép từng phần ngoại trừ toàn bộ, nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Lãnh đạo Viện.