

Ảnh hưởng của nhiệt độ đến động học quá trình sấy đối lưu của một số loại nấm tại Việt Nam

Nguyễn Thị Vân Linh, Nguyễn Quốc Duy, Trương Quỳnh Trân, Lê Thị Thu

Khoa Hoá học - Thực phẩm - Môi Trường, Đại học Nguyễn Tất Thành
 ntvlinh@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, bốn loại nguyên liệu nấm gồm nấm bào ngư trắng (*Pleurotus ostreatus* var. *florida*), nấm bào ngư xám (*Pleurotus ostreatus* var. *columbinus*), nấm rơm (*Volvariella volvacea*) và chân nấm đông cô (*Lentinula edodes*) được tách ẩm bằng phương pháp sấy đối lưu với tác nhân sấy là không khí nóng có nhiệt độ thay đổi từ 50 đến 70°C. Sự thay đổi ẩm của từng nguyên liệu tương ứng với từng nhiệt độ sấy sẽ được theo dõi trong suốt quá trình sấy. Dữ liệu này được dùng để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy lên mức độ thoát ẩm, ước lượng hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng, ước lượng năng lượng hoạt hóa của nguyên liệu. Kết quả chỉ ra rằng nhiệt độ tác nhân sấy càng cao thì ẩm thoát ra khỏi nguyên liệu càng nhanh. Hệ số khuếch tán ẩm của các nguyên liệu nấm dao động từ $1.69544 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đến $7.82706 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Các giá trị năng lượng hoạt hóa của các nguyên liệu nấm trong quá trình sấy đối lưu dao động từ 15.45 kJ/mol đến 24.79 kJ/mol, trong đó năng lượng để hoạt hóa quá trình bốc hơi chân nấm đông cô là cao nhất cho thấy để tách ẩm khỏi nguyên liệu này khó hơn so với những nguyên liệu còn lại.

Nhận 18.12.2017
 Được duyệt 26.02.2017
 Công bố 01.02.2018

Từ khóa

Nấm bào ngư trắng, nấm bào ngư xám, nấm rơm, chân nấm đông cô, sấy đối lưu, hệ số khuếch tán ẩm, năng lượng hoạt hóa

© 2018 Journal of Science and Technology - NTTU

1. Đặt vấn đề

Tại những nước phương Tây, nấm và một số sản phẩm nấm được xem là nguồn thực phẩm thay thế thịt. Mặc dù việc thay thế hoàn toàn thịt bởi nấm đòi hỏi nấm nguyên liệu phải có chất lượng tốt bao gồm hình dạng và kích thước thu hút nhưng những loại nấm có chất lượng thấp hơn cũng có thể được sử dụng để sản xuất những sản phẩm chế biến khác như omelet, pizza... Ngay cả việc thay thế một phần thịt và các sản phẩm thịt (như pepperoni, xúc xích) bằng nấm cũng làm giảm việc hấp thu năng lượng, chất béo, cholesterol và làm tăng lượng hấp thu xơ, đồng, kali và riboflavin. Đặc biệt, đối với nhóm người ăn chay thì nấm là nguồn duy nhất chứa vitamin D. Một nghiên cứu gần đây bởi Jasinghe và cộng sự (2005) xác nhận rằng vitamin D từ nấm dễ dàng được hấp thu và chuyển hóa trong cơ thể sống [1]. Ngoài ra nấm cũng được xem là một nguồn cung cấp protein, chất xơ và cả những vitamin nhóm B. Mặt khác, chúng còn cung cấp rất ít năng lượng, chất béo và đường nên thường được khuyến cáo trong các khẩu phần ăn có lợi cho sức khỏe. Nấm rất dễ hấp thu và tích lũy một số thành phần vô cơ bao gồm Se và Ge từ môi trường sống và chuyển hóa chúng thành các thành phần chức năng có bản

chất hữu cơ. Do đó, các nhà sản xuất đang nỗ lực để thương mại hóa nấm thành một nguồn cung cấp một số loại khoáng nhất định cho con người. Hơn nữa, nấm đông cô và nấm linh chi là thành phần quan trọng trong công thức của một số sản phẩm chức năng.

Tuy nhiên, hiện nay nấm tươi có thời hạn sử dụng khá ngắn khoảng 5 ngày dưới điều kiện bảo quản lạnh ở 5°C. Chính vì vậy, nguyên liệu này gây tốn nhiều chi phí để bảo quản cũng như khó khăn trong các khâu vận chuyển, phân phối và thương mại... Điều này sẽ tạo động lực để chế biến nguyên liệu này thành những sản phẩm có thời gian sử dụng lâu hơn. Giải quyết vấn đề tồn thất sau thu hoạch của nguyên liệu này mang ý nghĩa kinh tế cao và thúc đẩy phát triển bền vững cả nông nghiệp lẫn công nghiệp chế biến thực phẩm. Một trong những phương pháp đơn giản nhất để tăng thời hạn sử dụng của nguyên liệu là tách ẩm khỏi nguyên liệu vì trong môi trường có hoạt tính nước thấp sẽ hạn chế sự phát triển của vi sinh vật gây hư hỏng [2]. Ngoài ra các loại nấm sau khi sấy khô vừa thuận tiện sử dụng mà còn có thể là bán thành phẩm để phát triển sản phẩm mới như bột nấm khô, hỗn hợp gia vị phối trộn.

Để tách ẩm ra khỏi nguyên liệu có nhiều phương pháp có thể sử dụng như sấy đối lưu, sấy chân không, sấy thăng hoa,

sấy tăng sôi... Tuy nhiên, đối với quá trình sấy dạng miếng, để thực hiện quá trình đơn giản và có tính kinh tế cao thì quá trình sấy đối lưu bằng không khí nóng là phương pháp phổ biến hơn hết. Do đó, trong nghiên cứu này, động học sấy của các loại nấm phổ biến (nấm bào ngư trắng, nấm bào ngư xám và nấm rơm) và phụ phẩm từ nấm (chân nấm đông cô) được khảo sát khi thay đổi nhiệt độ tác nhân sấy nhằm đánh giá khả năng thoát ẩm của các nguyên liệu cũng như cung cấp vào cơ sở dữ liệu nghiên cứu các giá trị hệ số khuếch tán ẩm và năng lượng hoạt hóa.

2. Giải quyết vấn đề

2.1 Nguyên liệu

Nguyên liệu nấm gồm nấm bào ngư trắng, nấm bào ngư xám, nấm rơm và chân nấm đông cô được thu mua tại chợ An Nhơn, Quận Gò Vấp, Tp.HCM. Nguyên liệu sau khi thu mua sẽ được rửa làm sạch và cắt hoặc xé nhỏ với kích thước dày 3 mm đối với nấm bào ngư trắng và xám; với kích thước dày 2 mm đối với nấm rơm và chân nấm đông cô. Sau đó nguyên liệu lần lượt sẽ được đưa vào thiết bị sấy để khảo sát khả năng thoát ẩm tương ứng với từng nhiệt độ khác nhau.

2.2 Quá trình sấy

Có 3 mức nhiệt độ khảo sát là 50°C, 60°C và 70°C. Mẫu nguyên liệu (100 g) được trải 1 lớp trên khay đựng mẫu và được sấy đến hàm ẩm đạt 0.04 kg nước/kg chất khô. Sự thay đổi về khối lượng nguyên liệu được theo dõi suốt trong quá trình sấy tại những thời điểm cách nhau 10 phút.

2.3 Hàm ẩm và tỉ lệ ẩm

Hàm ẩm (M) trong nghiên cứu được tính theo vật liệu khô, kg nước/kg chất khô, được tính như sau:

$$M = \frac{m_{H_2O}}{m_{CK}} \quad (1)$$

Trong đó, m_{H_2O} là khối lượng ẩm có trong nguyên liệu, m_{CK} là khối lượng chất khô có trong nguyên liệu.

Tỉ lệ ẩm (MR) là một đại lượng không thứ nguyên, biểu diễn bằng phương trình sau:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

Trong đó, M_t là hàm ẩm tại thời điểm t ; M_0 là hàm ẩm ban đầu và M_e là hàm ẩm cân bằng.

2.4 Ước lượng hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng

Theo định luật Fick thứ hai của quá trình khuếch tán không ổn định, sự khuếch tán ẩm của nguyên liệu nấm được mô tả theo phương trình sau:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (3)$$

Trong đó: M là hàm ẩm (kg nước/kg chất khô); D_{eff} là hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng (m^2/s).

Crank (1975) đã đưa ra lời giải giải tích ứng với những hình dạng khác nhau và giả định rằng ẩm chỉ bị khuếch tán thì hằng số khuếch tán ẩm được mô tả theo phương trình sau [3]:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t\right) \quad (4)$$

Trong đó: MR là tỉ lệ ẩm; L là nửa bề dày (m)

Khi sấy một thời gian dài thì số hạng đầu tiên (ứng với $n = 0$) trong chuỗi trên sẽ được xem là lời giải xấp xỉ và kết quả như sau:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(- \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t\right) \quad (5)$$

Phương trình trên có thể biểu diễn dưới dạng logarithmic:

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t\right) \quad (6)$$

Về mặt lý tưởng, các hệ số khuếch tán ẩm được mô tả thông qua số liệu thực nghiệm bằng đồ thị biểu diễn $\ln(MR)$ theo thời gian sấy (t , giây) và hệ số góc của đường thẳng hồi quy tuyến tính bằng $-\pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t$

2.5 Ước lượng năng lượng hoạt hóa

Năng lượng hoạt hóa được tính toán bằng cách sử dụng phương trình Arrhenius [4], [5]:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(- \frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (7)$$

Với: E_a là năng lượng hoạt hóa (kJ/mol); R là hằng số khí lý tưởng (8.3143 kJ/mol), T_a là nhiệt độ không khí tuyệt đối (K), và D_0 là hệ số trước mũ (pre-exponential) của phương trình Arrhenius (m^2/s)

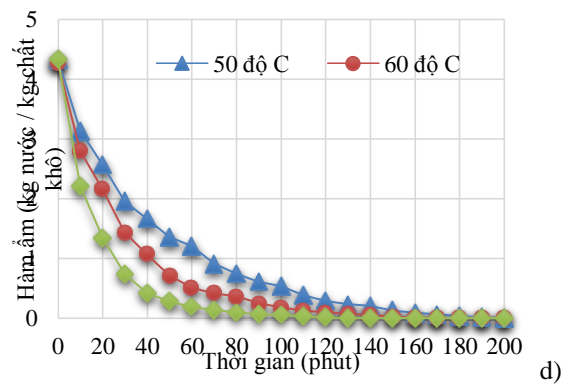
3. Kết quả và thảo luận

3.1 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến đường cong sấy của các nguyên liệu nấm khác nhau

Sấy là quá trình sử dụng nhiệt để tách nước ra khỏi mẫu nguyên liệu. Trong quá trình sấy, nước được tách ra khỏi nguyên liệu theo nguyên tắc bốc hơi hoặc thăng hoa. Trong quá trình sấy đối lưu thì không khí nóng được sử dụng làm tác nhân sấy. Quá trình thoát ẩm của nấm phụ thuộc vào nhiệt độ, và ở những thời điểm khác nhau hàm ẩm sẽ khác nhau. Sấy ở nhiệt độ càng cao thì lượng ẩm thoát càng nhanh. Ảnh hưởng của quá trình sấy lên hàm ẩm của nấm bào ngư trắng, nấm bào ngư xám, nấm rơm và chân nấm đông cô được biểu diễn qua hình 1.

Kết quả cho thấy khi nhiệt độ sấy tăng từ 50°C lên 70°C thì thời gian để các nguyên liệu đạt tới độ ẩm 4% (tương ứng hàm ẩm khoảng 0.04 kg nước/kg chất khô) càng rút ngắn.

Khi tăng nhiệt độ sấy, ẩm bên ngoài bề mặt nguyên liệu sẽ bị chuyển pha từ pha lỏng sang pha hơi, sau đó tách ra khỏi nguyên liệu nhờ nguồn không khí khô nóng được cung cấp. Sự chênh lệch giữa ẩm ở trong tâm và bề mặt nguyên liệu sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho ẩm thoát ra ngoài. Quá trình khuếch tán và chuyển pha kết thúc khi áp suất hơi của môi trường (không khí nóng khô) và áp suất hơi trên bề mặt nguyên liệu bão hòa. Khi tăng nhiệt độ, quá trình chuyển pha diễn ra nhanh nên sự thoát ẩm càng nhanh [41]. Theo nghiên cứu của Giri và cộng sự (2007) về phương pháp sấy nóng với mức nhiệt độ 50°C và 70°C, khả năng thoát ẩm ở 70°C cao hơn so với 50°C [6]. Theo nghiên cứu của Chong và cộng sự (2008) thời gian sấy tỉ lệ nghịch với nhiệt độ sấy, sấy ở nhiệt độ càng cao thì thời gian thoát ẩm sẽ càng nhanh [7]

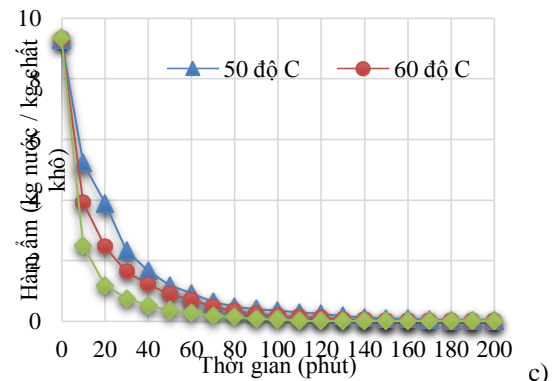
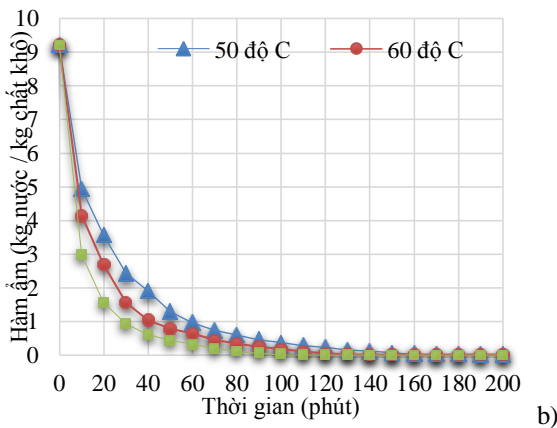
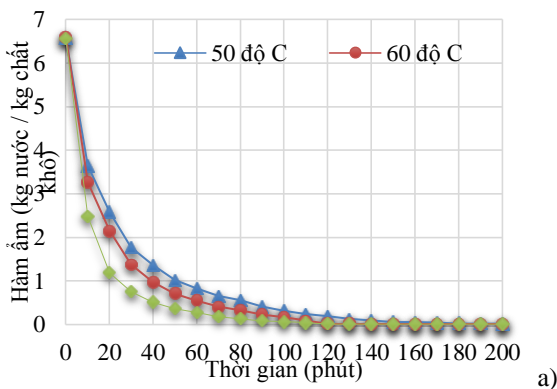


Hình 1 Đồ thị biểu diễn đường cong sấy của nấm bào ngư trắng (a); bào ngư xám (b); nấm rơm (c) và chân nấm đông cô (d)..

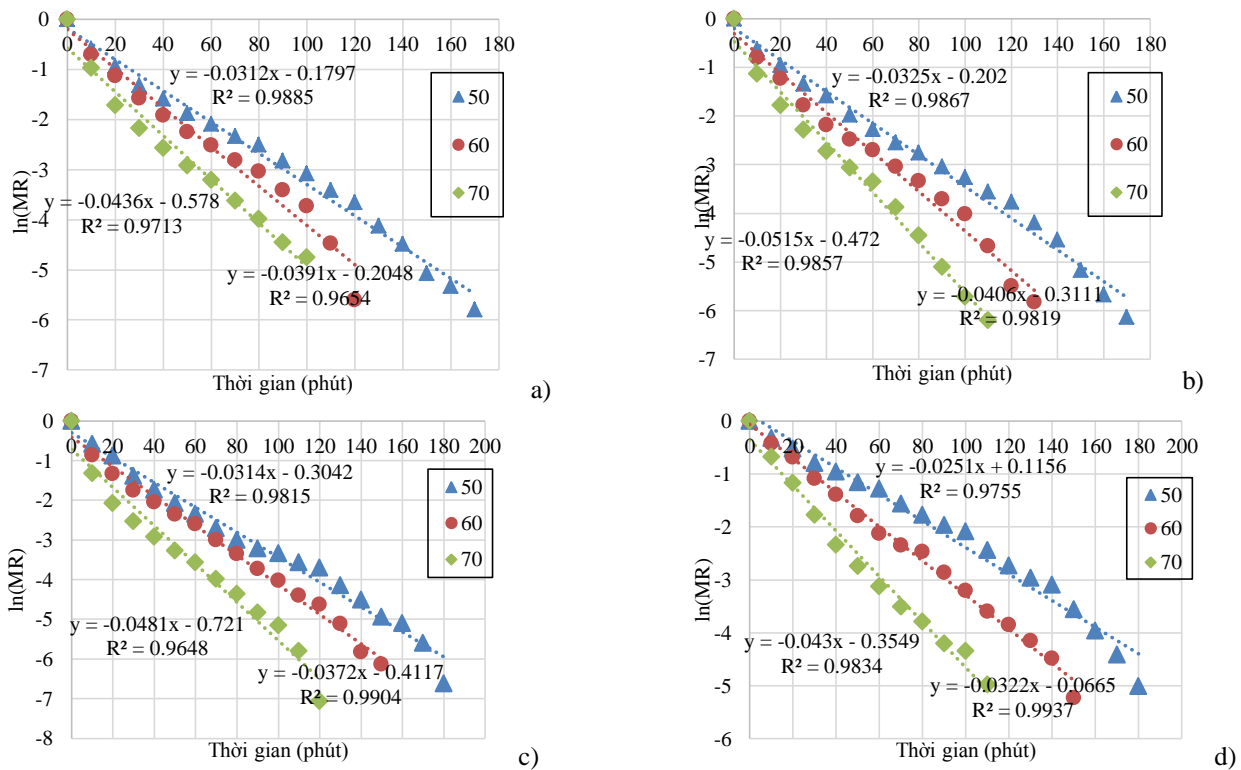
3.2 Ước tính giá trị khuếch tán ẩm hiệu dụng khi sấy các loại nấm ở nhiệt độ khác nhau

Bảng 1 Tổng hợp hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng tương ứng của từng nguyên liệu nấm sấy ở nhiệt độ khác nhau

Nguyên liệu	T ⁰ C sấy	Hệ số góc	D _{eff} (m ² /s)
Nấm bào ngư trắng	50°C	-0.0312	4.74183E-10
	60°C	-0.0391	5.94249E-10
	70°C	-0.0436	6.62641E-10
Nấm bào ngư xám	50°C	-0.0325	4.93941E-10
	60°C	-0.0406	6.17046E-10
	70°C	-0.0438	7.82706E-10
Nấm rơm	50°C	-0.0314	2.12099E-10
	60°C	-0.0372	2.51277E-10
	70°C	-0.0481	3.24903E-10
Chân nấm đông cô	50°C	-0.0251	1.69544E-10
	60°C	-0.0322	2.17503E-10
	70°C	-0.0430	2.90454E-10



Hình 2 thể hiện mối tương quan tuyến tính giữa ln(MR) và thời gian sấy (t) ở các nhiệt độ sấy khi nhau khi sấy các nguyên liệu nấm khác nhau (nấm bào ngư trắng, nấm bào ngư xám, nấm rơm và chân nấm đông cô). Kết quả hồi quy tuyến tính được dùng để tính toán hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng. Hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng tương ứng với từng nguyên liệu ở những nhiệt độ khác nhau và tương ứng đó là hệ số tương quan R² khi hồi quy tuyến tính giá trị thực nghiệm ln(MR) với thời gian sấy (t) được trình bày trong Bảng 1.



Hình 2 Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của $\ln(MR)$ theo thời gian (phút) của nấm bào ngư trắng (a); bào ngư xám (b); nấm rơm (c) và chân nấm đông cô (d) trong suốt quá trình sấy ở 50°C, 60°C và 70°C

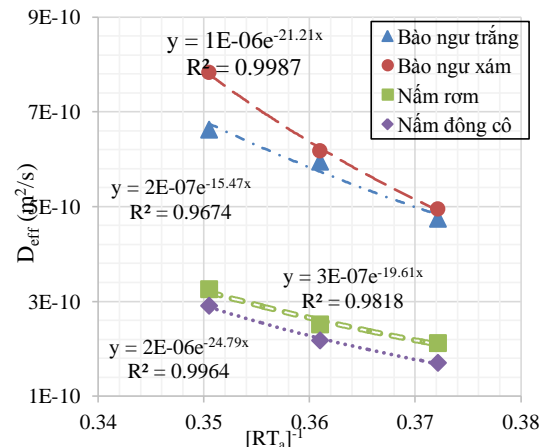
Từ kết quả bảng 1, cho thấy giá trị D_{eff} dao động từ $1.69544 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đến $7.82706 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Kết quả này khá phù hợp với những nghiên cứu về sấy thực phẩm có tính toán hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng. Trong một nghiên cứu tổng quan về các hệ số khuếch tán ẩm trong nghiên cứu sấy thực phẩm cho thấy khoảng giá trị của D_{eff} dao động từ 10^{-12} đến $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Thêm vào đó, trên 80% giá trị của D_{eff} dao động trong khoảng từ 10^{-11} đến $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ và $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ là giá trị thường gặp trong các sản phẩm thực phẩm. Tuy nhiên, hơn 95% số nghiên cứu này không cân nhắc ảnh hưởng của sự co rút của thực phẩm trong suốt quá trình sấy lên giá trị D_{eff} [8].

Xét riêng từng đối tượng nguyên liệu nấm thì khi nhiệt độ sấy tăng từ 50°C đến 70°C thì các giá trị D_{eff} dao động từ $4.74183 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đến $6.62641 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đối với nấm bào ngư trắng, $4.93941 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đến $7.82706 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đối với nấm bào ngư xám, $2.12099 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đến $3.24903 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đối với nấm rơm và $1.69544 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đến $2.90454 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ đối với chân nấm đông cô. Kết quả cũng cho thấy khả năng thoát ẩm ở nhóm nguyên liệu nấm bào ngư là cao nhất, trong khi đối với nấm rơm và chân nấm đông cô rất thấp. Nguyên nhân có thể do cấu trúc nấm bào ngư xốp hơn, khả năng liên kết nước thấp hơn nên các phân tử nước dễ dàng di chuyển ra bề mặt bốc hơi.

3.3 Ước lượng năng lượng hoạt hóa của quá trình sấy đối lưu đối với các nguyên liệu nấm khác nhau

Như vậy, từ các giá trị khuếch tán ẩm hiệu dụng, khi biểu diễn đồ thị sự thay đổi của giá trị D_{eff} theo $1/RT_a$ (hình 3) và sử dụng phương pháp phân tích hồi quy phi tuyến sẽ xác định được năng lượng hoạt hóa tương ứng với từng nguyên liệu sấy.

Kết quả về năng lượng hoạt hóa của các nguyên liệu được tổng hợp trình bày trong bảng 2, các giá trị E_a dao động từ 15.47 đến 24.79 kJ/mol. Kết quả cũng phù hợp với nhiều nghiên cứu về các quá trình sấy rau nấm, khi mà có hơn 90% kết quả nghiên cứu nằm trong khoảng 14.42 đến 43.26 kJ/mol, chỉ trừ một số ít trường hợp nằm trong khoảng 78.93 đến 130.61 kJ/mol [8]



Hình 3 Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của D_{eff} theo $1/RT_a$.

Bảng 2 Các giá trị năng lượng hoạt hóa khi sấy đối lưu các loại nấm (bào ngư trắng, bào ngư xám, nấm rơm và chân nấm đông cô)

Loại nấm	Năng lượng hoạt hóa, kJ/mol	Hệ số tương quan, R ²
Nấm bào ngư trắng	15.47	0,97
Nấm bào ngư xám	21.21	0,99
Nấm rơm	19.61	0,98
Chân nấm đông cô	24.79	0,99

4. Kết luận và đề xuất

Khi thay đổi nhiệt độ sấy từ 50°C đến 70°C thì thời gian sấy các nguyên liệu càng được rút ngắn. Nhiệt độ càng cao càng tăng tốc độ truyền nhiệt, khuếch tán ẩm và bốc hơi bề mặt của nguyên liệu. Hệ số khuếch tán ẩm của các nguyên liệu nấm cũng được tính toán và kết quả dao động từ 1.69544×10^{-10} m²/s đến 7.82706×10^{-10} m²/s. Cấu trúc nguyên liệu có thể ảnh hưởng đến khả năng khuếch tán ẩm

Tài liệu tham khảo

- [1] V. J. Jasinghe, C. O. Perera, and P. J. Barlow, "Bioavailability of vitamin D2 from irradiated mushrooms: an in vivo study," *Br. J. Nutr.*, vol. 93, no. 6, p. 951, 2005.
- [2] P. H. S. Santos and M. A. Silva, "Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables - A review," *Dry. Technol.*, vol. 26, no. 12, pp. 1421–1437, 2008.
- [3] J. Crank, *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed. Oxford (UK): Clarendon Press, 1975.
- [4] A. Lopez, A. Iguaz, A. Esnoz, and P. Virseda, "Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market," *Dry. Technol.*, vol. 18, no. 4–5, pp. 995–1006, Apr. 2000.
- [5] E. Akpinar, A. Midilli, and Y. Bicer, "Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling," *Energy Convers.*

của nguyên liệu cụ thể là nhóm nấm bào ngư có hệ số thoát ẩm cao hơn so với nấm rơm và chân nấm đông cô. Các giá trị năng lượng hoạt hóa của quá trình sấy của các nguyên liệu nấm cũng được xác định. Kết quả dao động từ 15.45 kJ/mol đến 24.79 kJ/mol, trong đó năng lượng để hoạt hóa quá trình bốc hơi chân nấm đông cô là cao nhất cho thấy để tách ẩm khỏi nguyên liệu này bằng cách bốc hơi sẽ khó thực hiện. Điều này có thể liên quan đến cấu trúc và sự liên kết chặt giữa ẩm với thành tế bào của nguyên liệu. Ngoài ra, cần phải nghiên cứu và xác định mô hình mô tả đặc tính của quá trình sấy các nguyên liệu này cũng như khảo sát tác động của nhiệt độ lên hàm lượng dinh dưỡng và những chất tạo vị đặc trưng có trong nguyên liệu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ NTTU trong đề tài mã số 2017.01.76

Manag., vol. 44, no. 10, pp. 1689–1705, 2003.

[6] S. K. Giri and S. Prasad, "Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms," *J. Food Eng.*, vol. 78, no. 2, pp. 512–521, 2007.

[7] C. Chong, C. Law, M. Cloke, C. Hii, L. Abdullah, and W. Daud, "Drying kinetics and product quality of dried Chempedak," *J. Food Eng.*, vol. 88, no. 4, pp. 522–527, 2008.

[8] D. I. Onwude, N. Hashim, R. B. Janius, N. M. Nawi, and K. Abdan, "Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 15, no. 3, pp. 599–618, 2016.

Effect of air-drying temperature on drying kinetics of four mushroom species in Vietnam

Thi-Van-Linh Nguyen, Quoc-Duy Nguyen, Quynh-Tran Truong, Thi-Thu Le
Faculty of Chemistry - Food - Environment, Nguyen Tat Thanh University

Abstract In this study, four mushroom species including pearl oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* var. *florida*), blue oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* var. *columbinus*), straw mushroom (*Volvariella volvacea*) and stalks of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) were dehydrated in convective air dryer at drying air temperatures of 50, 60 and 70°C. During the process, moisture contents were investigated to examine the effect of drying temperature on the rate of moisture loss, to estimate effective diffusion coefficients and activation energy for each material. The results showed that the higher drying temperature the faster the moisture was removed from the materials. Diffusion coefficients and activation energy for each mushroom were in the range of 1.69544×10^{-10} to 7.82706×10^{-10} m²/s and 15.45 to 24.79 kJ/mol, respectively. Moreover, the activation energy for shiitake stalks was relatively higher compared to those of the other mushrooms which indicated that removal of water in shiitake stalks requires more harsh conditions i.e. higher temperature and higher drying time

Keywords pearl oyster mushroom, blue oyster mushroom, straw mushroom, stalks of shiitake mushroom, convective air drying, moisture diffusivity coefficient, activation energy.