

SỰ THAY ĐỔI HÀM LƯỢNG ACID AMIN VÀ PROTEIN HÒA TAN TRONG SUỐT QUÁ TRÌNH SẤY NÓNG MỘT SỐ LOẠI NẤM

CHANGES IN AMINO ACID AND PROTEIN CONTENT DURING HOT-AIR DRYING OF MUSHROOMS

Nguyễn Thị Thùy Dung, Nguyễn Thị Vân Linh, Đặng Thanh Thủy

Trường Đại học Nguyễn Tất Thành; dungntt@ntt.edu.vn

Tóm tắt - Trong nghiên cứu này, nấm bào ngư trắng (*Pleurotus ostreatus* var. *florida*), nấm rơm (*Volvariella volvacea*) và chân nấm đông cô (*Lentinula edodes*) được tách ẩm bằng phương pháp sấy đối lưu với nhiệt độ sấy thay đổi từ 50-70°C. Sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan và acid amin của từng nguyên liệu sẽ được theo dõi trong suốt quá trình sấy. Mô hình dự báo sự thay đổi các thành phần này được xác định dựa trên dữ liệu thực nghiệm. Kết quả cho thấy, mô hình bậc 0 phù hợp tiên đoán sự thay đổi hàm lượng acid amin, mô hình bậc 2 phù hợp mô tả sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan. Nhiệt độ sấy tăng làm tăng sự hình thành acid amin và tăng mức độ phân hủy protein. Năng lượng hình thành acid amin đối với nấm bào ngư trắng, nấm rơm, chân nấm đông cô lần lượt là 23,71; 31,17; 26,63 kJ/mol; năng lượng phân hủy protein lần lượt là 23,71; 15,74; 14,67 kJ/mol. Năng lượng kích hoạt cao cho thấy, cần nhiều năng lượng để giải phóng acid amin hoặc phân hủy protein trong quá trình sấy khô.

Từ khóa - Nấm bào ngư trắng; nấm rơm; chân nấm đông cô; mô hình động học; năng lượng hoạt hóa

Abstract - In this study, pearl oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* var. *florida*), straw mushroom (*Volvariella volvacea*) and stalks of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) are dehydrated in convective air dryer at drying air temperatures from 50 to 70°C. During the process, soluble protein and acid amin contents are investigated. The suitable kinetic model of changes in amino acid and soluble protein content is determined by fitting data corresponding. The results show that for all mushrooms, the most suitable model of changes in amino acid is the level 0 model; the most suitable model of changes in soluble protein is the second model. Amino acid formation and protein decomposition increase with drying temperature. The activation energy for formation in amino acid of pearl oyster mushroom, straw mushroom and stalks of shiitake mushroom is 23.71; 31.17; 26.63 kJ/mol; the activation energy for decomposition in protein is 23.71; 15.74; 14.67 kJ/mol. The activation is relatively high, suggesting that more energy is needed to change amino acid or protein by drying.

Key words - Pearl oyster mushroom; straw mushroom; stalks of shiitake mushroom; mathematical modeling; activation energy

1. Giới thiệu

Tại những nước phương Tây, nấm và một số sản phẩm từ nấm được xem là nguồn thực phẩm thay thế thịt. Đặc biệt, đối với nhóm người ăn chay thì nấm là nguồn thực phẩm duy nhất chứa vitamin D [1]. Ngoài ra, nấm cũng được xem là một nguồn cung cấp protein, chất xơ và cả những vitamin nhóm B. Nấm giàu protein, vitamin, khoáng chất và chitin, trong khi chứa ít calo và chất béo nên rất tốt cho sức khỏe và được coi là thực phẩm trị liệu [2, 3]. Nấm chứa vị umami rất đặc biệt, umami là một hợp chất tăng cường hương vị bởi muối natri của acid glutamic và aspartic cùng với hỗn hợp 5'-nucleotide [4-6]. Vị umami của nấm được đánh giá là phù hợp với hầu hết các sản phẩm thực phẩm, đó là lý do sản lượng tiêu thụ đối với các sản phẩm gia vị từ nấm trong chế biến thực phẩm ngày càng gia tăng [4].

Tuy nhiên, 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 tổn thất nhiều chi phí trong vấn đề bảo quản cũng như gây khó khăn trong khâu vận chuyển, phân phối và thương mại... Giải quyết vấn đề tồn thất sau thu hoạch của nấm 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 nấm 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 [7]. Các loại nấm sau khi sấy khô có thể phối trộn tạo hỗn hợp gia vị giàu vị umami.

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

hoa, sấy tầng sôi... Tuy nhiên, đối với nguyên liệu dạng miếng, để thực hiện quá trình đơn giản và có tính kinh tế cao thì sấy đối lưu bằng không khí nóng là phương pháp phổ biến hơn hết. Khi thực hiện quá trình sấy, nhiệt độ cao sẽ tác động đến các thành phần của nấm, trong đó có protein hòa tan và acid amin, là các thành phần tạo vị umami. Trong nghiên cứu này, tác động của chế độ sấy đến hàm lượng protein hòa tan, hàm lượng acid amin của các loại nấm phổ biến (nấm bào ngư trắng, nấm rơm) và phụ phẩm từ nấm (chân nấm đông cô) được khảo sát. Kết quả khảo sát được sử dụng để xác định mô hình động học và ước lượng năng lượng hoạt hóa đối với sự thay đổi hàm lượng acid amin, protein hòa tan trong quá trình sấy. Với sự khan hiếm các nghiên cứu về động học sấy nấm và tầm quan trọng của kỹ thuật sấy khô bằng phương pháp lớp mỏng, nghiên cứu này có thể đóng vai trò tiền thân cho những nghiên cứu chuyên sâu hơn về động học sấy các nguyên liệu thực phẩm bằng các kỹ thuật sấy khác nhau.

2. Nguyên liệu, thiết bị và quá trình sấy

2.1. Nguyên liệu

Nấm bào ngư trắng, 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 đến kích thước dày 3 mm đối với nấm bào ngư trắng, dày 2 mm đối với nấm rơm và chân nấm đông cô.

2.2. Thiết bị sấy

Thiết bị sấy đối lưu bằng không khí nóng gồm 2 buồng sấy, mỗi buồng có 10 khay sấy, kích thước khay 80 × 80 × 3 cm và kích thước mắt lưới trên khay là 1 × 1 cm được sử dụng trong nghiên cứu này. Không khí vào thiết bị có nhiệt

độ $30,5 \pm 1,0^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối 83% và được gia nhiệt đến nhiệt độ tối đa 70°C .

2.3. Thực hiện quá trình sấy

Mẫu nguyên liệu (1000 g) được trải đều trên khay và được sấy ở 3 mức nhiệt độ 50, 60, 70°C đến hàm ẩm 4% (theo vật liệu ướt). Sự thay đổi về hàm lượng protein hòa tan, hàm lượng acid amin được theo dõi suốt trong quá trình sấy tại những thời điểm cách nhau 20 phút.

3. Xây dựng mô hình động học

3.1. Xác định hàm lượng protein hòa tan và acid amin

3.1.1. Phương pháp xử lý mẫu

10 g nấm được xay bằng máy xay Philip HR2120 cùng với 30ml nước cất trong 1 phút, lọc thu dịch. Phần bã được trích ly thêm 2 lần bằng 30 ml nước cất, lọc thu dịch. Toàn bộ dịch lọc được định mức 100ml.

3.1.2. Xác định hàm lượng protein hòa tan

Hàm lượng protein hòa tan được xác định theo phương pháp Lowry [8].

Lấy 0,5ml dịch lọc vào ống nghiệm, thêm vào 2ml dung dịch thuốc thử, lắc đều, để yên trong 10 phút. Sau đó, thêm vào hỗn hợp trong ống nghiệm 0,5ml folin đã pha loãng theo tỉ lệ folin : nước là 2:8, lắc đều và để yên trong 30 phút. Xác định trị số mật độ quang học (OD) của dung dịch ở bước sóng 750nm.

3.1.3. Xác định hàm lượng acid amin

Hàm lượng acid amin được xác định theo phương pháp Sorensen [9].

Lấy 5ml dịch lọc vào erlen, thêm vào 7 giọt chỉ thị hỗn hợp (gồm bromothymol blue và phenolphthalein), lắc đều. Bổ sung từng giọt NaOH 0,05N cho đến khi dung dịch trong erlen chuyển sang màu phớt xanh thì thêm 5ml formol trung tính 40%. Lắc đều dung dịch rồi chuẩn độ dung dịch bằng NaOH 0,05N.

3.2. Mô hình toán học mô tả sự thay đổi thành phần hóa học trong suốt quá trình sấy

Trong suốt quá trình sấy đối lưu, cấu trúc thành tế bào của nguyên liệu thực phẩm sẽ bị phá vỡ do sự thoát ẩm. Các thành phần hóa học, đặc biệt là những thành phần có hoạt tính sinh học sẽ bị phân hủy trong quá trình sấy. Động học biến đổi của các thành phần này thường tuân theo phản ứng bậc 0, bậc 1, bậc 2 [10].

$$\text{Mô hình động học bậc 0: } c = c_0 \pm k_0 t \quad (1)$$

$$\text{Mô hình động học bậc 1: } c = c_0 \exp(\pm k_1 t) \quad (2)$$

$$\text{Mô hình động học bậc 2: } \frac{1}{c_0} = \frac{1}{c} \pm k_2 t \quad (3)$$

Trong đó: c là hàm lượng acid amin hoặc protein hòa tan tại thời điểm t (g/100 g chất khô); c_0 là hàm lượng acid amin hoặc protein hòa tan ban đầu (g/100 g chất khô); k_0 , k_1 , và k_2 là hằng số tốc độ phản ứng bậc 0, bậc 1 và bậc 2.

Trong các phương trình này, (+) và (-) tương ứng với sự hình thành và sự phân hủy của thông số chất lượng.

Đánh giá sự phù hợp của mô hình được dựa trên các thông số thống kê gồm hệ số tương quan (R^2), sai số chuẩn (RMSE), và khi bình phương (χ^2). Các thông số thống kê này được xác định theo phương trình (4), (5), và (6).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (c_{\text{exp},i} - c_{\text{pre},i})^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{c}_{\text{exp}} - c_{\text{pre},i})^2} \quad (4)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (c_{\text{exp},i} - c_{\text{pre},i})^2} \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (c_{\text{exp},i} - c_{\text{pre},i})^2}{N - Z} \quad (6)$$

Trong đó, $c_{\text{exp},i}$ là giá trị thực nghiệm thứ i ; $c_{\text{pre},i}$ là giá trị tiên đoán thứ i ; $\bar{c}_{\text{exp}}$ là giá trị trung bình của tỷ lệ ẩm thực nghiệm; N là số mẫu quan sát; Z là số hằng số trong phương trình tiên đoán.

3.2.1. Ước lượng năng lượng hoạt hóa

Năng lượng hoạt hóa được tính toán bằng cách sử dụng phương trình Arrhenius [11, 12]

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (7)$$

Trong đó: E_a là năng lượng hoạt hóa (J/mol); R là hằng số khí lý tưởng (8,3143 J/mol.K), T_a là nhiệt độ không khí tuyệt đối (K), và k_0 là hệ số trước mũ (pre-exponential) của phương trình Arrhenius (m^2/s).

3.2.2. Phương pháp xử lý số liệu

Dữ liệu thực nghiệm được phân tích bằng phần mềm SPSS 15, sử dụng những kỹ thuật thống kê cơ bản. Tất cả thí nghiệm và những chỉ tiêu phân tích được lặp lại 3 lần.

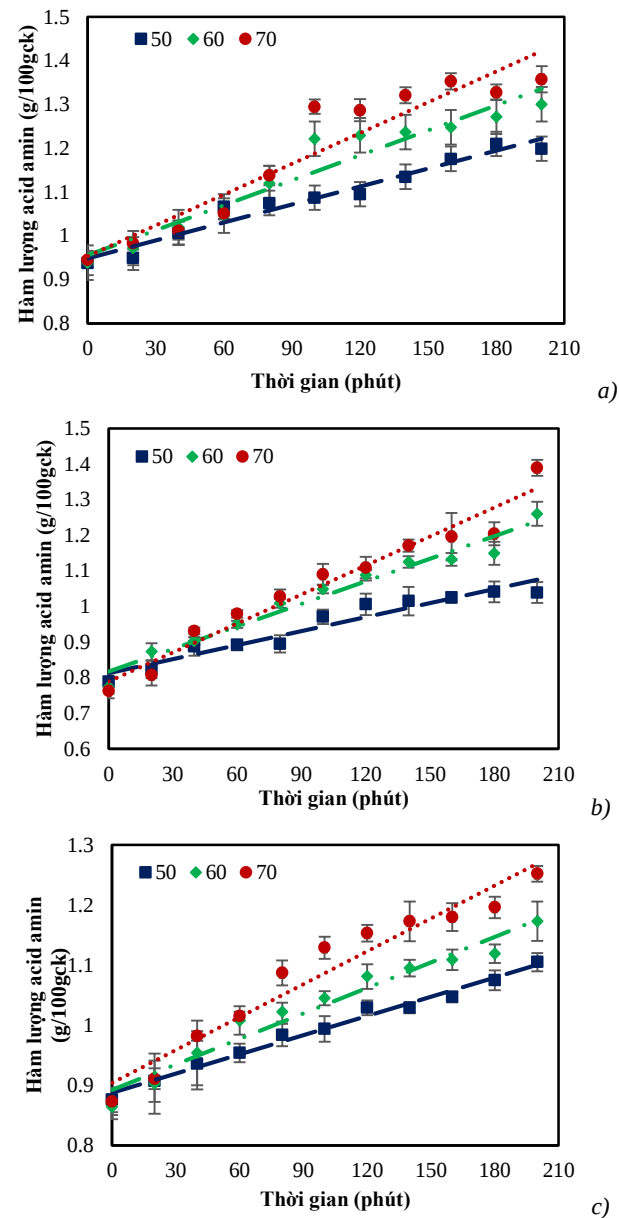
4. Kết quả và biện luận

4.1. Đánh giá mô hình dự báo sự thay đổi hàm lượng acid amin, protein hòa tan trong suốt quá trình sấy

4.1.1. Mô hình dự báo sự thay đổi hàm lượng acid amin

Sự thay đổi hàm lượng acid amin trong suốt quá trình sấy nóng các loại nấm được trình bày ở Hình 1. Kết quả cho thấy, cả 3 nguyên liệu nấm có hàm lượng acid amin khá cao (nấm bào ngư trắng có hàm lượng acid amin cao nhất, trên 0,9 g/100 g chất khô, tương đồng với kết quả được Kayode và cộng sự [13] công bố, đối với nấm bào ngư ở Nigeria có hàm lượng acid amin khoảng 0,96 g/100 g chất khô và hàm lượng acid amin của tất cả các loại nấm đều tăng khi tăng nhiệt độ và thời gian sấy.

Bảng 2 trình bày dữ liệu và kết quả phân tích hồi quy phi tuyến đánh giá sự phù hợp của mô hình động học biến đổi bậc 0, 1, 2 đối với hàm lượng acid amin của ba loại nấm được khảo sát.



Hình 1. Sự thay đổi hàm lượng acid amin (g/100g chất khô) khi sấy nóng các loại nấm khác nhau gồm nấm bào ngư trắng (a); nấm rơm (b); và chân nấm đông cô (c)

Bảng 2. Kết quả phân tích thống kê các mô hình động học đối với sự thay đổi hàm lượng acid amin khi sấy

Loại nấm	Nhiệt độ	Bậc phản ứng	R ²	RMSE	X ²
Nấm bào ngư trắng	50	bậc 0	0,954023	0,018942	0,000395
		bậc 1	0,939071	0,021806	0,000523
		bậc 2	0,916837	0,025476	0,000714
	60	bậc 0	0,925845	0,033962	0,001269
		bậc 1	0,892846	0,040825	0,001833
		bậc 2	0,844040	0,049253	0,002668
	70	bậc 0	0,901264	0,049045	0,002646
		bậc 1	0,867361	0,056845	0,003554
		bậc 2	0,811933	0,067688	0,005040

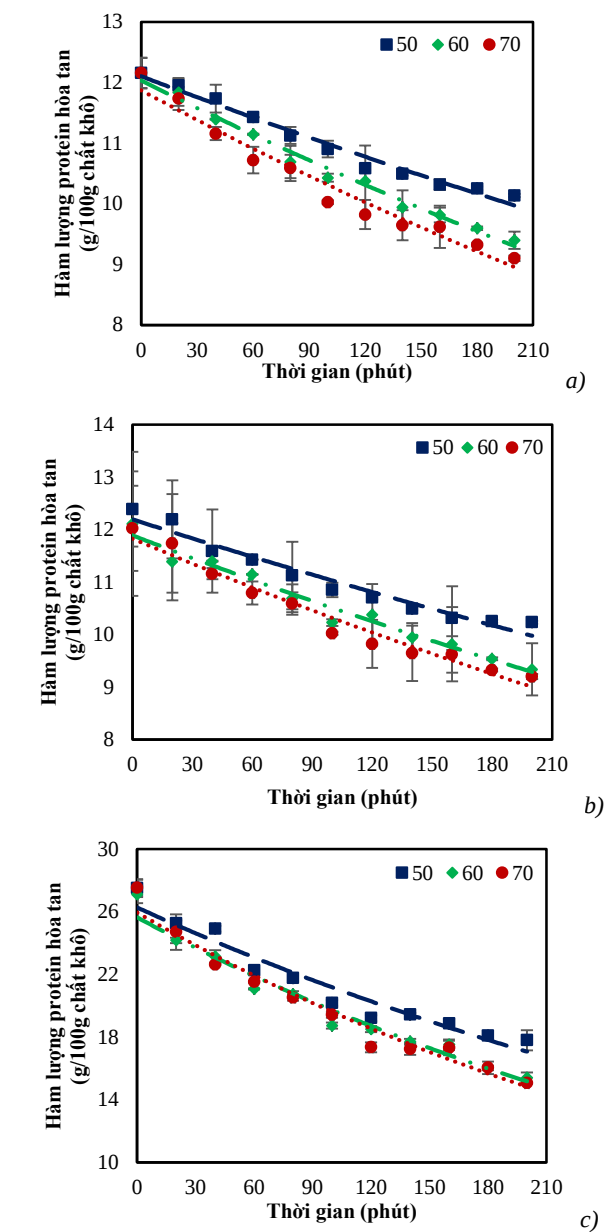
Loại nấm	Nhiệt độ	Bậc phản ứng	R ²	RMSE	X ²
Nấm rơm	50	bậc 0	0,909911	0,025838	0,000734
		bậc 1	0,872447	0,030745	0,001040
		bậc 2	0,821199	0,036401	0,001458
	60	bậc 0	0,938116	0,033822	0,001258
		bậc 1	0,887008	0,045702	0,002298
		bậc 2	0,807316	0,059681	0,003918
	70	bậc 0	0,950623	0,039011	0,001674
		bậc 1	0,916092	0,050854	0,002845
		bậc 2	0,849670	0,068068	0,005097
Chân nấm đông cô	50	bậc 0	0,977736	0,010130	0,000113
		bậc 1	0,965901	0,012536	0,000173
		bậc 2	0,948837	0,015356	0,000259
	60	bậc 0	0,930825	0,023988	0,000633
		bậc 1	0,894192	0,029667	0,000968
		bậc 2	0,845590	0,035839	0,001413
	70	bậc 0	0,928427	0,031680	0,001104
		bậc 1	0,881917	0,040692	0,001821
		bậc 2	0,816838	0,050679	0,002825

Mô hình phù hợp nhất để dự báo sự thay đổi của hàm lượng acid amin là mô hình cho hệ số tương quan (R^2) cao nhất, bình phương trung bình (RMSE) thấp nhất và khi bình phương (X^2) thấp nhất. Kết quả cho thấy, giá trị hệ số tương quan dao động trong khoảng 0,910 đến 0,978 đối với bậc 0; 0,867 đến 0,966 đối với bậc 1; và 0,807 đến 0,949 đối với bậc 2. Tương ứng với từng điều kiện sấy của từng nguyên liệu nấm thì mô hình bậc 0 có giá trị R^2 cao nhất và các giá trị sai số chuẩn cũng như khi bình phương nhỏ nhất so với bậc 1 và bậc 2. Vì vậy, trong nghiên cứu này, mô hình bậc 0 phù hợp mô tả sự thay đổi hàm lượng acid amin đối với cả 3 loại nấm trong suốt quá trình sấy nóng ở các nhiệt độ khác nhau từ 50 đến 70°C.

4.1.2. Mô hình dự báo sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan

Sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan trong suốt quá trình sấy nóng các loại nấm được trình bày ở Hình 2. Kết quả cho thấy các loại nấm trước khi sấy có hàm lượng protein hòa tan dao động trong khoảng 12 g/100 g chất khô đến trên 27 g/100 g chất khô, có sự tương đồng với nghiên cứu của Bonatti và cộng sự [14] về protein trong các loại nấm với hàm lượng dao động từ 1,54–3,1g/100g nấm tươi và hàm lượng protein này giảm khi tăng thời gian cũng như nhiệt độ sấy.

Bảng 3, trình bày dữ liệu và kết quả phân tích hồi quy phi tuyến đánh giá sự phù hợp của các mô hình động học biến đổi hàm lượng protein hòa tan đối với ba loại nấm bào ngư trắng, nấm rơm, chân nấm đông cô. Với nguyên tắc như khi xác định mô hình phù hợp dự báo sự thay đổi acid amin, kết quả ở Bảng 3 cho thấy, mô hình phù hợp nhất đối với sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan của cả 3 loại nấm khi sấy là mô hình bậc 2.



Hình 2. Sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan (g/100g chất khô) khi sấy nóng các loại nấm khác nhau gồm nấm bào ngư trắng (a); nấm rơm (b); và chân nấm đông cô (c)

Bảng 3. Kết quả phân tích thống kê các mô hình động học đối với sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan khi sấy

Loại nấm	Nhiệt độ	Bậc phản ứng	R ²	RMSE	X ²
Nấm bào ngư trắng	50	bậc 0	0,968323	0,122432	0,016488
		bậc 1	0,978175	0,101623	0,011360
		bậc 2	0,984333	0,086103	0,008155
	60	bậc 0	0,969556	0,153169	0,025807
		bậc 1	0,983868	0,111498	0,013675
		bậc 2	0,991836	0,079318	0,006921
	70	bậc 0	0,918477	0,273233	0,082122
		bậc 1	0,949966	0,214056	0,050402
		bậc 2	0,971304	0,162108	0,028907

Loại nấm	Nhiệt độ	Bậc phản ứng	R ²	RMSE	X ²
Nấm rơm	50	bậc 0	0,918662	0,208121	0,047646
		bậc 1	0,941522	0,176468	0,034255
		bậc 2	0,958944	0,147863	0,024050
	60	bậc 0	0,938622	0,208108	0,047640
		bậc 1	0,956196	0,175808	0,033999
		bậc 2	0,967111	0,152339	0,025528
	70	bậc 0	0,935738	0,234552	0,060516
		bậc 1	0,960334	0,184275	0,037353
		bậc 2	0,976250	0,142590	0,022365
Chân nấm đông cô	50	bậc 0	0,861490	1,155820	1,469513
		bậc 1	0,924988	0,850579	0,795834
		bậc 2	0,961307	0,610893	0,410509
	60	bậc 0	0,868812	1,254496	1,731136
		bậc 1	0,940181	0,847114	0,789363
		bậc 2	0,976016	0,536398	0,316495
	70	bậc 0	0,861193	1,380454	2,096219
		bậc 1	0,940339	0,905027	0,900982
		bậc 2	0,978147	0,547734	0,330013

4.2. Động học biến đổi hàm lượng acid amin và protein hòa tan

4.2.1. Động học biến đổi hàm lượng acid amin

Sự thay đổi của hằng số tốc độ phản ứng (k) theo mô hình bậc 0 khi khảo sát sự thay đổi hàm lượng acid amin theo nhiệt độ sấy được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả hằng số tốc độ phản ứng ở các nhiệt độ sấy khác nhau đối với hàm lượng acid amin

Loại nấm	Nhiệt độ (°C)	Hằng số tốc độ phản ứng (g ⁻¹ 100gck phút ⁻¹)
Nấm bào ngư trắng	50	-0,001440
	60	-0,002020
	70	-0,002410
Nấm rơm	50	-0,001480
	60	-0,002421
	70	-0,002902
Chân nấm đông cô	50	-0,001149
	60	-0,001617
	70	-0,002046

Kết quả ở Bảng 4 cho thấy, tất cả các giá trị k đều âm, điều này có nghĩa là quá trình sấy làm giải phóng các acid amin. Khi nhiệt độ sấy tăng từ 50 đến 70°C thì giá trị k đối với cả 3 loại nấm giảm dần, như vậy, nhiệt độ sấy tăng làm tăng lượng acid amin tự do trong sản phẩm.

Nghiên cứu của Cepeda và cộng sự [9] phát hiện enzyme trypsin có trong nấm, enzyme này bắt đầu hoạt động ở 37°C. Theo nghiên cứu của Wang và cộng sự [8], một số loại nấm như nấm bào ngư có chứa enzyme protease. Loại protease này có nhiệt độ hoạt động tối ưu ở 50°C [15]. Trypsin và protease xúc tác phản ứng thủy phân

protein trong quá trình sấy, giải phóng các acid amin. Mặc dù, nhiệt độ hoạt động tối ưu của protease là 50°C, enzyme này vẫn duy trì được hoạt tính ở nhiệt độ cao hơn. Hơn nữa, nhiệt độ sấy càng cao protein bị biến tính càng mạnh, các liên kết peptide ứng với trung tâm hoạt động của protease xuất hiện càng nhiều, dẫn đến hàm lượng acid amin được giải phóng nhiều hơn. Khi tăng nhiệt độ sấy từ 50 đến 70°C thì hàm lượng acid amin tăng dần. Tuy nhiên, sự thay đổi hàm lượng acid amin giữa chế độ sấy ở 60°C và 70°C không có sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê. Có thể khi sấy ở 70 °C một lượng acid amin được giải phóng bị phân hủy bởi nhiệt. Ngoài ra, nhiệt độ sấy càng cao, nguy cơ tổn thất dinh dưỡng do sự phân hủy các hợp chất nhạy cảm nhiệt, tổn thất các hợp chất hữu cơ bay hơi cũng tăng theo.

4.2.2. Động học biến đổi hàm lượng protein hòa tan

Sự thay đổi của hằng số tốc độ phản ứng (k) theo mô hình bậc 2 khi khảo sát sự thay đổi hàm lượng protein hòa tan theo nhiệt độ sấy được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả hằng số tốc độ phản ứng ở các nhiệt độ sấy khác nhau đối với hàm lượng protein hòa tan

Loại nấm	Nhiệt độ (°C)	Hằng số tốc độ phản ứng (g ⁻¹ 100gck phút ⁻¹)
Nấm bào ngư trắng	50	0,000089
	60	0,000125
	70	0,000149
Nấm rơm	50	0,000100
	60	0,000126
	70	0,000140
Chân nấm đông cô	50	0,000113
	60	0,000145
	70	0,000155

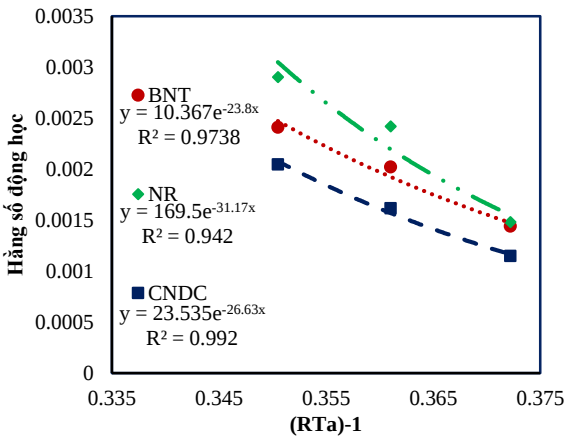
Kết quả ở Bảng 5 cho thấy, tất cả các giá trị k đều dương, điều này có nghĩa là quá trình sấy làm phân hủy protein. Khi nhiệt độ sấy tăng từ 50 đến 70°C thì giá trị k đối với cả 3 loại nấm tăng dần. Như vậy, nhiệt độ sấy càng cao thì lượng protein hòa tan trong sản phẩm càng giảm.

Theo kết quả Mục 4.2.1, khi nhiệt độ sấy tăng, quá trình thủy phân protein giải phóng acid amin tăng, như vậy hàm lượng protein sẽ giảm. Nhiệt độ cũng làm thay đổi cấu trúc bậc hai, ba, bốn của protein nhưng không phá vỡ cấu trúc bậc một, điều này làm giảm khả năng hòa tan của protein do các gốc kỵ nước hướng ra ngoài. Nhiệt độ càng cao protein biến tính càng mạnh dẫn đến hàm lượng protein hòa tan giảm mạnh. Theo Cepeda và cộng sự (1998), nguyên liệu có hàm lượng protein càng cao thì trong quá trình sấy càng dễ bị tác động bởi nhiệt [9].

4.3. Ước lượng năng lượng hoạt hóa

4.3.1. Năng lượng hình thành acid amin

Đồ thị thay đổi giá trị hằng số động học theo 1/RT_a đối với sự hình thành acid amin khi sấy các loại nấm được thể hiện trong Hình 3. Sử dụng phương pháp phân tích hồi quy phi tuyến, năng lượng hoạt hóa E_a đối với nấm bào ngư trắng, nấm rơm, chân nấm đông cô lần lượt được xác định là 23,80; 31,17 và 26,63 kJ/mol.

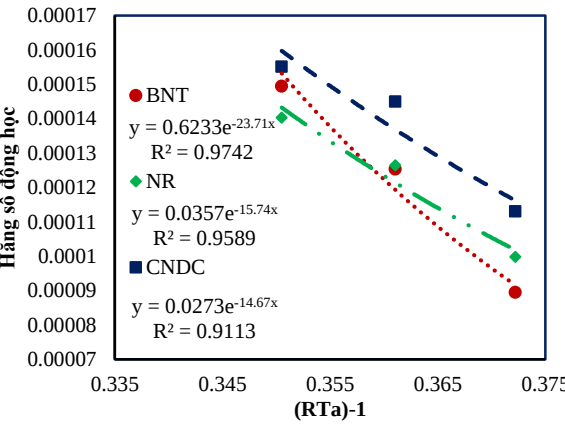


Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến động học biến đổi hàm lượng acid amin của nấm bào ngư trắng (BNT), nấm rơm (NR), và chân nấm đông cô (CNDC)

Kết quả năng lượng kích hoạt cho sự hình thành acid amin khi sấy các loại nấm khá cao. Do đó, việc hình thành acid amin khi sấy nấm có thể khó khăn. Điều này cho thấy, để làm khô nấm với mục đích thu sản phẩm giàu acid amin nên đặt thời gian sấy hoặc nhiệt độ sấy ở mức cao.

4.3.2. Năng lượng phân hủy protein hòa tan

Đồ thị thay đổi giá trị hằng số động học theo 1/RT_a đối với sự phân hủy protein hòa tan khi sấy các loại nấm được thể hiện trong Hình 4. Sử dụng phương pháp phân tích hồi quy phi tuyến, năng lượng hoạt hóa E_a đối với nấm bào ngư trắng, nấm rơm, chân nấm đông cô lần lượt được xác định là 23,71; 15,74, 14,67 kJ/mol.



Hình 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến động học biến đổi hàm lượng protein hòa tan của nấm bào ngư trắng (BNT), nấm rơm (NR), và chân nấm đông cô (CNDC)

Kết quả năng lượng phân hủy protein khi sấy các loại nấm thấp hơn năng lượng hoạt hóa để hình thành acid amin, tuy nhiên năng lượng này cũng khá cao. Từ đó có thể thấy, protein hòa tan khó mất đi khi sấy nấm, trong quá trình sấy, ngoài sự thủy phân protein thành các acid amin còn có sự thay đổi về cấu hình ảnh hưởng đến sự hòa tan, hoặc sự chuyển hóa protein thành các sản phẩm khác ngoài acid amin.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được mô hình toán học phù hợp để dự báo sự thay đổi hàm lượng acid amin, protein hòa tan

trong quá trình sấy đôi lưu một số loại nấm phổ biến ở Việt Nam. Trong quá trình sấy, nhiệt độ sấy tăng tương ứng với lượng protein hòa tan giảm dần và acid amin tăng dần. Kết quả tính toán năng lượng hoạt hóa cho thấy, để hình thành acid amin hay phân hủy protein của nấm cần năng lượng sấy lớn. Tuy nhiên, khi chọn chế độ sấy cần lưu ý các thành phần dinh dưỡng khác trong nguyên liệu.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Nguyễn Tất Thành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Rai and T. Arumuganathan, "Value-addition in Mushrooms", *Mushroom Biology and Biotechnology*, vol. 213, p. 265, 2007.
- [2] A. Ranogajec, S. Beluhan, and Z. Šmit, "Analysis of nucleosides and monophosphate nucleotides from mushrooms with reversed-phase HPLC", *Journal of separation science*, vol. 33, no. 8, pp. 1024-1033, 2010.
- [3] U. V. Mallavadhani, A. V. Sudhakar, K. Satyanarayana, A. Mahapatra, and W. Li, "Chemical and analytical screening of some edible mushrooms", *Food chemistry*, vol. 95, no. 1, pp. 58-64, 2006.
- [4] Y. Zhang, C. Venkitasamy, Z. Pan, and W. Wang, "Recent developments on umami ingredients of edible mushrooms—A review", *Trends in food science & technology*, vol. 33, no. 2, pp. 78-92, 2013.
- [5] S. C. Kinnamon, "Umami taste transduction mechanisms", *The American journal of clinical nutrition*, vol. 90, no. 3, pp. 753S-755S, 2009.
- [6] M. Motono, *Flavor Nucleotides Usages in Foods* (Chemistry of Foods and Beverages Recent Developments). 1982.
- [7] G. Martínez-Soto, R. Ocanna-Camacho, and O. Paredes-López, "Effect of pretreatment and drying on the quality of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*)", *Drying Technology*, vol. 19, no. 3-4, pp. 661-672, 2001.
- [8] H. Wang and T. Ng, "Pleureryn, a novel protease from fresh fruiting bodies of the edible mushroom *Pleurotus eryngii*", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, vol. 289, no. 3, pp. 750-755, 2001.
- [9] E. Cepeda, M. Villaran, and N. Aranguiz, "Functional properties of faba bean (*Vicia faba*) protein flour dried by spray drying and freeze drying", *Journal of Food Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 303-310, 1998.
- [10] R. Villota and J. G. Hawkes, "Reaction kinetics in food systems", in *Handbook of food engineering*, D. R. Heldman and D. B. Lund, Eds. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2006, pp. 137-298.
- [11] N. Mishra and V. M. Puri, "Modeling the Inactivation of *L. isteria monocytogenes* by Combined High Pressure and Temperature Using Weibull Model", *Journal of Food Process Engineering*, vol. 36, no. 5, pp. 598-607, 2013.
- [12] H.-Y. Ju, C.-L. Law, X.-M. Fang, H.-W. Xiao, Y.-H. Liu, and Z.-J. Gao, "Drying kinetics and evolution of the sample's core temperature and moisture distribution of yam slices (*Dioscorea alata* L.) during convective hot-air drying", *Drying technology*, vol. 34, no. 11, pp. 1297-1306, 2016.
- [13] R. Kayode, T. Olakulehin, B. Adediji, O. Ahmed, T. Aliyu, and A. Badmos, "Evaluation of amino acid and fatty acid profiles of commercially cultivated oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) grown on gmelina wood waste", *Nigerian Food Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 18-21, 2015.
- [14] M. Bonatti, P. Karnopp, H. Soares, and S. Furlan, "Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes", *Food chemistry*, vol. 88, no. 3, pp. 425-428, 2004.
- [15] L. Cui, Q. Liu, H. Wang, and T. Ng, "An alkaline protease from fresh fruiting bodies of the edible mushroom *Pleurotus citrinopileatus*", *Applied microbiology and biotechnology*, vol. 75, no. 1, pp. 81-85, 2007.

(BBT nhận bài: 21/8/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 18/10/2019)