

ẢNH HƯỞNG TỶ LỆ THAY THẾ HÀM LƯỢNG MUỐI NaCl BẰNG KCl ĐẾN ĐỘNG HỌC SẤY VÀ MÔ HÌNH ĐƯỜNG CONG SẤY CỦA KHÔ CÁ LÓC

(*Channa Striata*)

EFFECTS OF PARTIAL REPLACEMENT OF NaCl BY KCl ON DRYING KINETICS AND DRYING CURVE MODEL OF DRIED SNAKEHEAD FISH

(*Channa Striata*)

NGUYỄN QUỲNH NHƯ^{1,a}, NGUYỄN PHỤNG TIÊN¹ VÀ TRẦN HỒNG QUÂN²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Đại học Cần Thơ

^aTác giả liên hệ: nhunq@vlute.edu.vn

Nhận bài(Received): 18/02/2025; Phản biện (Reviewed):12/3/2025; Chấp nhận (Accepted):28/4/2025

TÓM TẮT

Ảnh hưởng của việc thay thế một phần muối NaCl bằng KCl đến động học biến đổi hàm ẩm của cá lóc phi lê trong thiết bị sấy không khí nóng được nghiên cứu thực nghiệm. Bốn mô hình sấy phổ biến đã được phát triển dựa trên số liệu thu thập. Kết quả cho thấy ở nhiệt độ sấy 50°C, thời gian sản phẩm đạt độ ẩm yêu cầu (27-30%) là 48 giờ đối với tỷ lệ NaCl: KCl lần lượt là 100:0%, 70:30%, 50:50%, 30:70%, 10:90% và 0:100%. Mô hình Page được chọn là mô hình phù hợp nhất để giải thích tiến trình sấy khô cá lóc ($R^2 > 0,9$) từ các mô hình áp dụng.

Từ khoá: Mô hình sấy, cá lóc, NaCl, KCl.

ABSTRACT

The effect of partial replacement of NaCl by KCl on the kinetics of moisture content change of snakehead fish fillets in hot air dryer was experimentally studied. Four common drying models were developed based on the collected data. The results showed that at a drying temperature of 50°C, the time for the product to reach the required moisture content (27-30%) was 48 hours for NaCl: KCl ratios of 100:0%, 70:30%, 50:50%, 30:70%, 10:90% and 0:100%, respectively. The Page model was selected as the most suitable model to explain the drying process of snakehead fish ($R^2 > 0,9$) from the all applied models.

Keywords: Drying model, snakehead fish, NaCl, KCl.

1. GIỚI THIỆU

Muối là phụ gia thực phẩm được sử dụng nhiều trong công nghiệp chế biến

thủy sản, không chỉ để cải thiện mùi vị của sản phẩm mà có vai trò như một chất bảo quản giúp làm giảm nhanh hoạt độ nước

(a_w) của sản phẩm [1]. Ở nhiều nước trên thế giới, lượng natri trung bình hàng ngày được tiêu thụ là trên 2 g (tương đương 5 g NaCl), đây là mức tối đa được Tổ chức Y tế Thế giới - WHO khuyến nghị [2]. Tại Việt Nam, theo kết quả khảo sát của Cục Y tế Dự phòng - Bộ Y tế năm 2015, trung bình một người trưởng thành tiêu thụ lên đến 9,4 g muối/người/ngày, cao hơn gần 2 lần so với mức khuyến nghị của WHO [3]. Việc tiêu thụ muối NaCl cao có thể liên quan đến nhiều vấn đề về sức khỏe, bao gồm tăng huyết áp và bệnh tim mạch [4]. WHO ước tính 2,5 triệu ca tử vong có thể được ngăn chặn mỗi năm nếu mức tiêu thụ natri toàn cầu giảm xuống mức khuyến nghị [5]. Do đó, biện pháp giảm tiêu thụ muối hay giảm lượng natri ăn vào cần được thực hiện cấp bách, một trong những nghiên cứu hiện nay là sử dụng thay thế một phần muối NaCl bằng KCl. Nguyên nhân có thể thay thế NaCl bằng KCl do sự giống nhau giữa KCl và NaCl về thành phần phân tử, độ mặn và hoạt tính kháng khuẩn [6], đặc biệt là khả năng ngăn ngừa hoặc kiểm soát tăng huyết áp, giảm tỉ lệ mắc bệnh và tử vong do tim mạch [7].

Cá lóc là một trong những loài cá đặc trưng ở vùng Đồng bằng sông Cửu Long, dễ nuôi, có chất lượng thịt ngon và có giá trị dinh dưỡng cao. Trong 100 g thịt cá lóc chứa 78 g nước; 97 kcal; 18,2 g protein; 2,7 g chất béo; 1,1 g tro và một số vitamin [8]. Việc ướp muối và sấy khô là các phương pháp bảo quản thường được sử dụng ở hầu

hết các quốc gia đang phát triển. Động học sấy là nghiên cứu về sự thay đổi hàm lượng ẩm của nguyên liệu trong quá trình sấy nhằm dự đoán và tối ưu hóa quá trình sấy của nguyên liệu. Các mô hình toán học đã được chứng minh là đóng vai trò quan trọng trong việc phân tích động học sấy, điều này quyết định đến việc kiểm soát quá trình sấy và có tầm quan trọng về mặt lý thuyết và thực tiễn trong việc đảm bảo chất lượng sấy, giảm tiêu thụ năng lượng, tối ưu hóa quá trình sấy,... [9, 10]. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định mô hình sấy phù hợp đối với khô cá lóc ở các tỷ lệ thay thế muối NaCl bằng KCl.

2. NỘI DUNG

2.1. Nguyên liệu

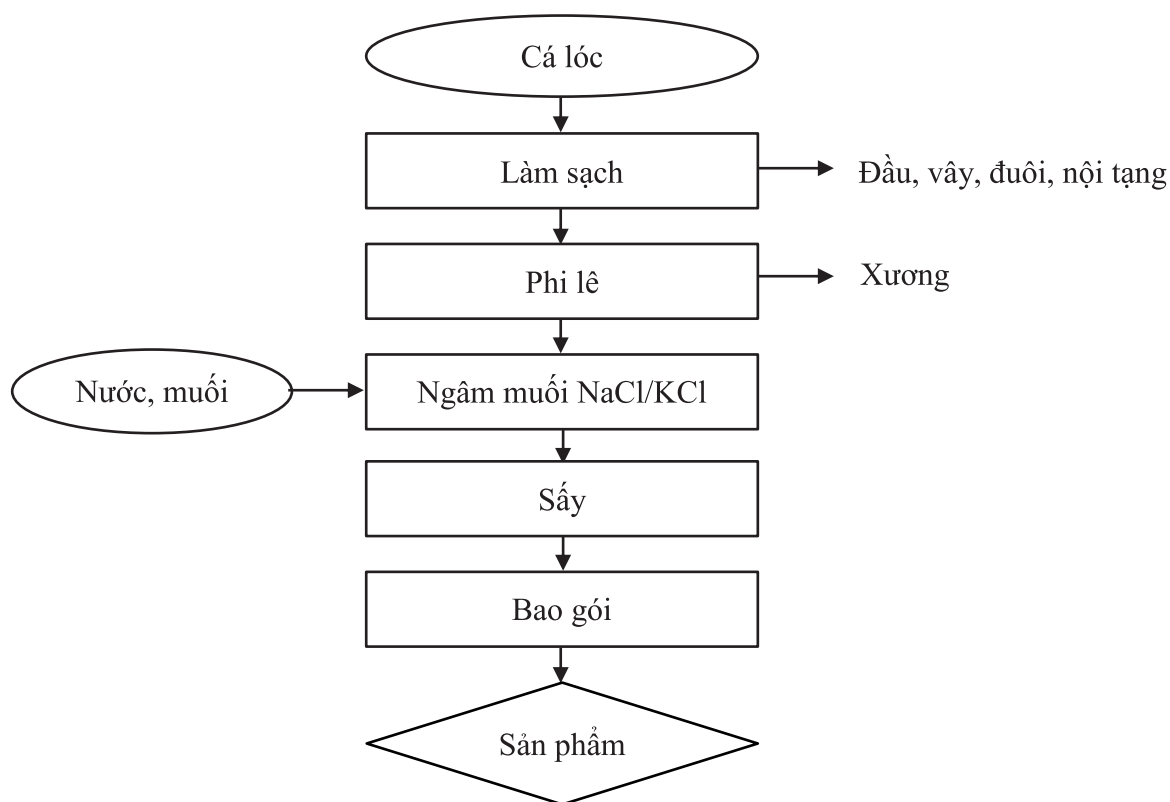
Cá lóc được mua tại chợ phường 8, thành phố Vĩnh Long, khối lượng cá dao động trong khoảng 700-800 g, cá sau khi mua được vận chuyển về phòng thí nghiệm và giữ sống trong thùng nhựa có chứa nước. Nguyên liệu được giữ ổn định ít nhất 1 giờ trước khi xử lý.

Muối NaCl được mua tại siêu thị trên địa bàn thành phố Vĩnh Long.

Muối KCl được mua tại công ty Navico, thành phố Hồ Chí Minh.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ quy trình thí nghiệm tổng quát được thể hiện ở Hình 1 (thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại).



Hình 1. Sơ đồ quy trình thí nghiệm tổng quát

Cá lóc sau khi làm sạch được phi lê và ngâm trong dung dịch muối theo tỷ lệ cá: dung dịch là 1:2 (w/w) trong thời gian 3 giờ. Tỷ lệ NaCl: KCl trong dung dịch muối lần lượt là 100:0%, 70:30%, 50:50%, 30:70%, 100:90% và 0:100%. Sau khi ngâm, miếng cá phi lê (350 g) với độ ẩm trình bày ở Bảng 1, được sấy ở 50°C [11] và tiến hành xác định hàm ẩm của nguyên liệu sau mỗi 2 giờ sấy. Quá trình sấy ngừng lại khi độ ẩm của sản phẩm đạt 27-30% [11].

Bảng 1. Độ ẩm của cá lóc phi lê sau khi ngâm muối

Tỷ lệ NaCl: KCl	Độ ẩm (%)
100% : 0% (đối chứng)	74,70 ^b ±0,60
70% : 30%	73,97 ^a ±0,12
50% : 50%	75,17 ^b ±0,06
30% : 70%	76,43 ^c ±0,38
10% : 90%	76,30 ^c ±0,10
0% : 100%	76,33 ^c ±0,35

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt ý nghĩa ở mức 5% với kiểm định LSD.

Các giá trị thể hiện 3 lần lặp lại ± độ lệch chuẩn.

2.3. Phương pháp phân tích

Trong nghiên cứu này, sử dụng các mô hình đường cong sây đã được công bố

trong các nghiên cứu đối với sản phẩm sây (Bảng 2) để chọn mô hình thích hợp trong trường hợp sây khô cá lóc.

Bảng 2. Các mô hình đường cong sây

Tên mô hình	Biểu thức mô hình	Tài liệu tham khảo
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[12]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[13]
Henderson và Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	[14]
Wang và Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[15]

Với các mô hình tham khảo, tỷ lệ hàm ẩm (MR) được tính theo công thức:

$$MR = \frac{M}{M_0} \tag{1}$$

Trong đó:

M: Độ ẩm (%) của sản phẩm theo thời gian t (phút)

M₀: Độ ẩm ban đầu (%) của sản phẩm

k, a, b và n: Các hằng số của mô hình

t: Thời gian sây (phút)

Các mô hình Lewis, Page, Henderson và Pabis được tuyến tính hóa như trình bày ở Bảng 3. Dữ liệu thí nghiệm thu nhận để vẽ ln(MR) theo thời gian t đối với mô hình Lewis, Henderson và Pabis; ln(-ln(MR)) theo ln(t) đối với mô hình Page và MR theo thời gian t đối với mô hình Wang và Singh, từ đó xác định các giá trị k, a, b và n tương ứng.

Bảng 3. Tuyến tính hoá phương trình động học

Tên mô hình	Biểu thức mô hình	Biểu thức tuyến tính hoá	Tham khảo
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	$\ln(MR) = -kt$	[16]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	$\ln(-\ln(MR)) = \ln(k) + n \ln(t)$	
Henderson và Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	$\ln(MR) = \ln(a) - kt$	[16]
Wang và Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	$MR = 1 + at + bt^2$	[16]

Ba chỉ tiêu được sử dụng để đánh giá mối quan hệ giữa dữ liệu thực nghiệm với các mô hình là hệ số xác định tương quan (R²),

Chi bình phương (χ²) và sai số bình phương trung bình (RMSE) [17]. Các giá trị này được tính toán bằng các phương trình sau [18]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i}) \cdot \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})^2}} \tag{2}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \tag{3}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \tag{4}$$

Trong đó:

$MR_{exp,i}$: Tỷ lệ hàm ẩm thực nghiệm thứ i

$MR_{pre,i}$: Tỷ lệ hàm ẩm dự đoán thứ i

N : Số lượng quan sát

z : Hằng số của mô hình

Mô hình tốt nhất để mô tả quá trình sấy là mô hình có R^2 cao nhất, χ^2 và RMSE thấp nhất [19].

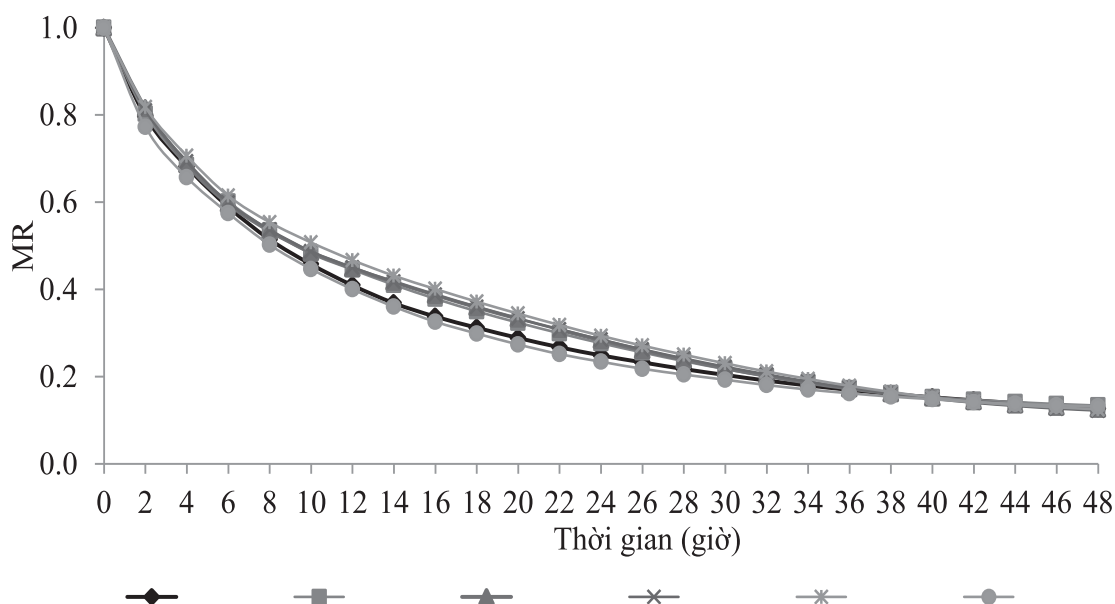
2.4. Phương pháp xử lý dữ liệu

Các dữ liệu thu thập được tính toán và vẽ đồ thị bằng phần mềm Microsoft Excel. Phân tích phương sai (ANOVA) để kết luận về sự sai khác giữa trung bình các nghiệm

thức. Số liệu được thu thập và xử lý bằng phần mềm Statgraphic 4.0.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Quá trình sấy làm thay đổi độ ẩm/tỷ lệ ẩm của nguyên liệu. Hình 2 biểu diễn sự thay đổi tỷ lệ ẩm (MR) theo thời gian sấy ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl khác nhau. Với nhiệt độ sấy 50°C , thời gian sản phẩm đạt độ ẩm yêu cầu (27-30%) là 48 giờ đối với tỷ lệ NaCl: KCl lần lượt là 100:0%, 70:30%, 50:50%, 30:70%, 10:90% và 0:100%. Như vậy, với các tỷ lệ NaCl: KCl khác nhau, thời gian sản phẩm đạt độ ẩm yêu cầu là như nhau.



Hình 2. Sự thay đổi MR của khô cá lóc theo thời gian sấy ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl

Ghi chú: $MR = M/M_0$, với M là độ ẩm của nguyên liệu theo thời gian t và M_0 là độ ẩm ban đầu của nguyên liệu.

Áp dụng các mô hình khác nhau cho quá trình sấy khô cá lóc (như đã đề cập ở Bảng 2), kết quả phân tích cho thấy bốn mô hình có hệ số R^2 dao động từ 0,9476 đến 0,9986, dao động từ 0,0002 đến 0,1192 và RMSE dao động từ 0,0126 đến 0,3452. Trong số bốn mô hình được áp dụng, mô hình Page

thể hiện sự tương thích cao hơn (ở tất cả các tỷ lệ muối NaCl: KCl) so với các mô hình khác (Bảng 4) với các hệ số xác định tương quan khá cao ($R^2 \geq 0,9950$), đồng thời giá trị χ^2 (từ 0,0002 đến 0,0017) và RSME (từ 0,0126 đến 0,0407) thu được thấp nhất.

Bảng 4. Kết quả tính toán các thông số của các mô hình đường cong sấy đối với khô cá lóc ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl

Mô hình	Tỷ lệ NaCl: KCl	Các hằng số của mô hình		R ²	χ^2	RMSE
Lewis (Newton) (1985)	100:0%	k = 0,0008		0,9786	0,0089	0,0941
	70:30%	k = 0,0008		0,9855	0,0059	0,0766
	50:50%	k = 0,0008		0,9884	0,0055	0,0739
	30:70%	k = 0,0008		0,9896	0,0052	0,0724
	10:90%	k = 0,0008		0,9915	0,0040	0,0631
	0:100%	k = 0,0008		0,9739	0,0110	0,1048
Henderson và Pabis (1961)	100:0%	k = 0,0007	a = 1,3932	0,9604	0,0950	0,3082
	70:30%	k = 0,0007	a = 1,3087	0,9774	0,0626	0,2501
	50:50%	k = 0,0007	a = 1,2788	0,9842	0,0544	0,2333
	30:70%	k = 0,0007	a = 1,2657	0,9870	0,0510	0,2258
	10:90%	k = 0,0007	a = 1,2327	0,9898	0,0401	0,2002
	0:100%	k = 0,0007	a = 1,4476	0,9476	0,1192	0,3452
Wang và Singh (1978)	100:0%	a = 0,0008	b = 0,0000002	0,9484	0,0793	0,2816
	70:30%	a = 0,0008	b = 0,0000002	0,9569	0,0786	0,2804
	50:50%	a = 0,0008	b = 0,0000002	0,9553	0,0787	0,2805
	30:70%	a = 0,0008	b = 0,0000002	0,9557	0,0786	0,2804
	10:90%	a = 0,0008	b = 0,0000002	0,9623	0,0783	0,2799
	0:100%	a = 0,0009	b = 0,0000002	0,9461	0,0896	0,2994
Page (1949)	100:0%	k = 0,0096	n = 0,6819	0,9951	0,0006	0,0241
	70:30%	k = 0,0083	n = 0,6947	0,9986	0,0004	0,0190
	50:50%	k = 0,0074	n = 0,7094	0,9970	0,0017	0,0407
	30:70%	k = 0,0073	n = 0,7113	0,9979	0,0011	0,0326
	10:90%	k = 0,0063	n = 0,7277	0,9982	0,0002	0,0126
	0:100%	k = 0,0121	n = 0,6538	0,9950	0,0004	0,0208

Ghi chú: k, a, b và n là các hằng số của mô hình.

Mô hình Page được chọn trong trường hợp sấy khô cá lóc, sự thay đổi hàm ẩm của khô cá lóc ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl theo thời gian sấy được thiết lập (phương trình 5, 6, 7, 8, 9 và 10). Cao et al. [16] cho rằng

mô hình Page phù hợp để mô tả động học sấy của quá trình sấy cá rô phi phi lê. Mô hình Page cũng được tìm thấy là phù hợp với mô hình sấy cá cơm [20].

$$\text{NaCl: KCl} = 100:0\% \text{ có } MR = \exp(-0,0096t^{0,6819}) \quad (R^2 = 0,9951) \quad (5)$$

$$\text{NaCl: KCl} = 70:30\% \text{ có } MR = \exp(-0,0083t^{0,6947}) \quad (R^2 = 0,9986) \quad (6)$$

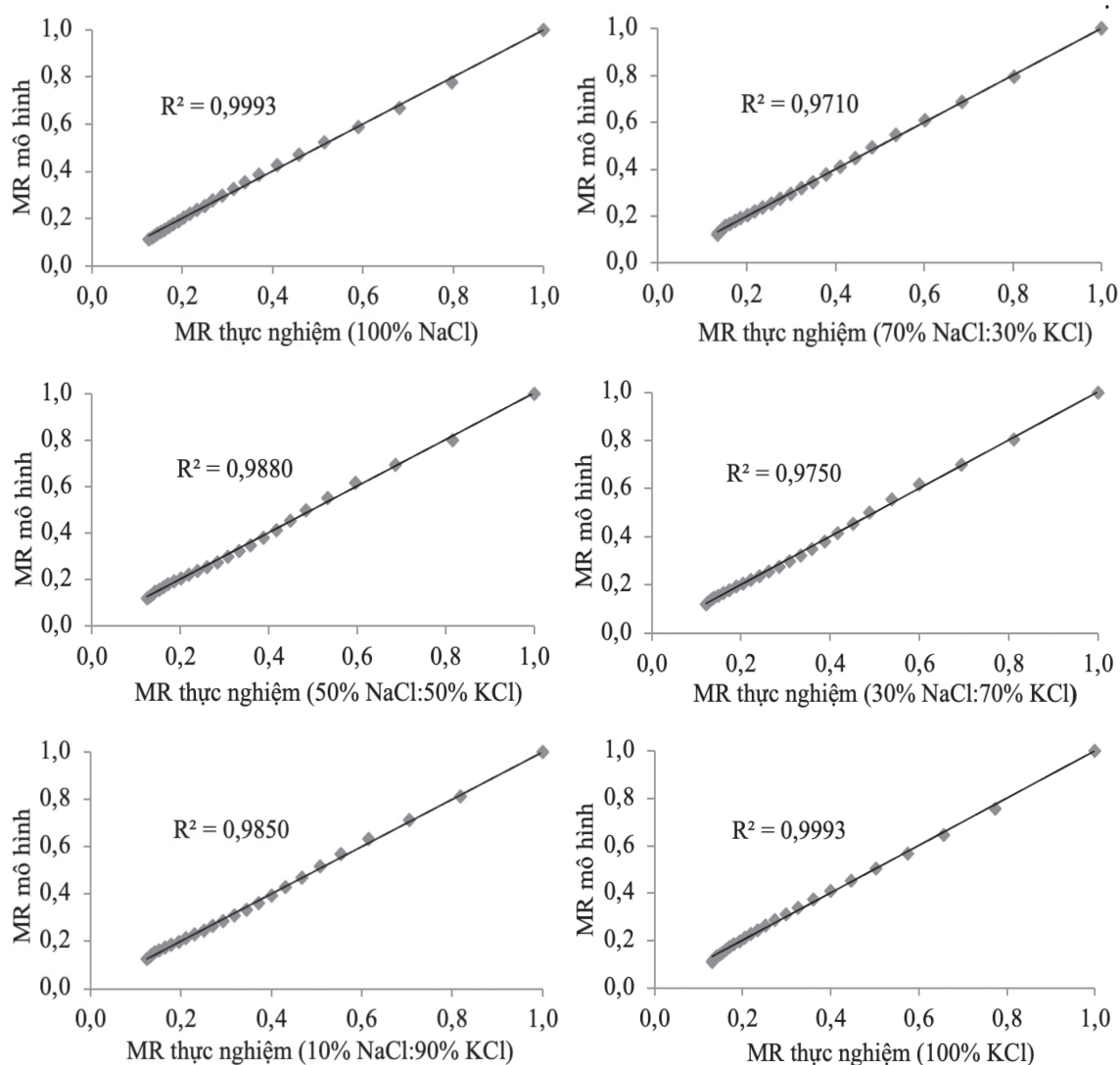
$$\text{NaCl: KCl} = 50:50\% \text{ có } MR = \exp(-0,0074t^{0,7094}) \quad (R^2 = 0,9970) \quad (7)$$

$$\text{NaCl: KCl} = 30:70\% \text{ có } MR = \exp(-0,0073t^{0,7113}) \quad (R^2 = 0,9979) \quad (8)$$

$$\text{NaCl: KCl} = 10:90\% \text{ có } MR = \exp(-0,0063t^{0,7277}) \quad (R^2 = 0,9982) \quad (9)$$

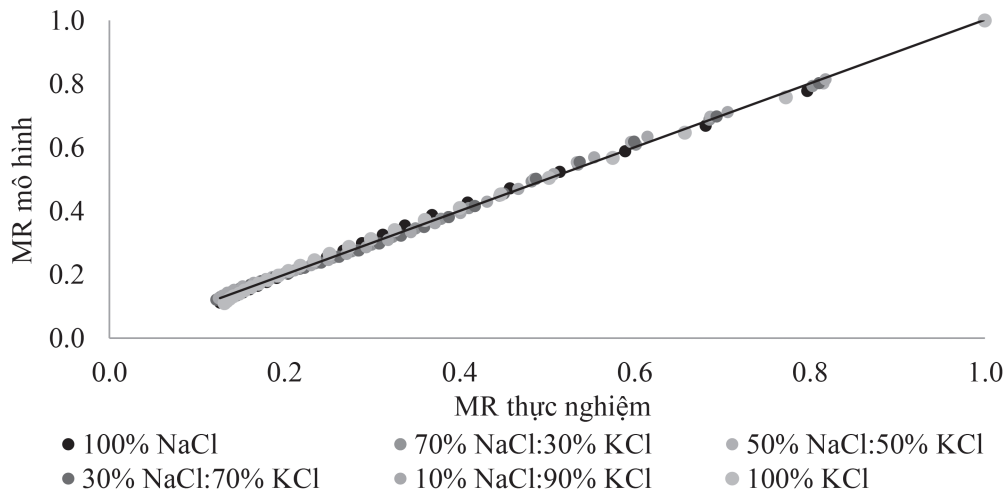
$$\text{NaCl: KCl} = 0:100\% \text{ có } MR = \exp(-0,0121t^{0,6538}) \quad (R^2 = 0,9950) \quad (10)$$

Sự tương thích cao giữa dữ liệu thực nghiệm và mô hình đồng thời được tìm thấy (Hình 3). Các phương trình tương quan giữa giá trị MR thực nghiệm và dự đoán từ mô hình đều cho hệ số xác định tương quan khá cao ($R^2 \geq 0,9710$) ở tất cả các tỷ lệ muối NaCl: KCl khác nhau.



Hình 3. Tương quan giữa dữ liệu thực nghiệm và dữ liệu theo mô hình Page ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl

Thay đổi tỷ lệ ẩm (MR) ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl khác nhau theo thực nghiệm và mô hình Page được trình bày ở Hình 4.



Hình 4. Sự thay đổi MR (thực nghiệm và mô hình Page) ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl

4. KẾT LUẬN

Trong số các mô hình được áp dụng, mô hình Page được chọn là mô hình phù hợp nhất để dự đoán sự thay đổi độ ẩm của khô cá lóc ở các tỷ lệ muối NaCl: KCl khác nhau và xác định thời gian sấy đến khi độ

ẩm của sản phẩm đạt yêu cầu. Việc thay thế muối NaCl bằng KCl trong chế biến sản phẩm khô cá lóc được xem là phương pháp tiềm năng trong bảo quản sản phẩm và giúp cải thiện vấn đề sức khoẻ đối với việc giảm lượng natri tiêu thụ hàng ngày.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Serra, J. A. and Barat, J. M., (2010), “Development of a smoked sea bass product with partial sodium replacement”, *LWT-Food Science and Technology*, 43(9), 1426-1433.
- [2]. WHO, (2013), “Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020”, https://www.who.int/nmh/events/ncd_action_plan/en/.
- [3]. Bộ Y tế, (2015), “Hướng dẫn điều trị dinh dưỡng lâm sàng”, NXB Y học.
- [4]. Oberleithner, H. and De Wardener, H. E., (2011), “Sodium: a wolf in sheep’s clothing”, *Blood Purification*, 31(1-3), 82-85.
- [5]. WHO, (2016), “Salt reduction”, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction>.
- [6]. Gomes, M. D. S. A., Kato, L. S., de Carvalho, A. P. A., de Almeida, A. E. C. C. and Conte-Junior, C. A., (2021), “Sodium replacement on fish meat products—A systematic review of microbiological, physicochemical and sensory effects”, *Trends in Food Science & Technology*, 118, 639-657.
- [7]. Aaron, K. J. and Sanders, P. W., (2013), “Role of dietary salt and potassium intake in cardiovascular health and disease: a review of the evidence”, *In Mayo Clinic Proceedings*, 88, 9, 987-995.

- [8]. Nguyễn Công Khẩn và Hà Thị Anh Đào, (2007), “*Bảng thành phần thực phẩm Việt Nam*”.
- [9]. Perea-Flores, M. J., Garibay-Febles, V., Chanona-Perez, J. J., Calderon-Dominguez, G., Mendez-Mendez, J. V., Palacios-González, E. and Gutierrez-Lopez, G. F., (2012), “*Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures*”, *Industrial Crops and Products*, 38, 64-71.
- [10]. Puente-Díaz, L., Ah-Hen, K., Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R. and Scala, K. D., (2013), “*Combined infrared-convective drying of murta (*Ugni molinae Turcz*) berries: Kinetic modeling and quality assessment*”, *Drying Technology*, 31(3), 329-338.
- [11]. Nguyễn Văn Mười và Trần Thanh Trúc, (2016), “*Ảnh hưởng của việc điều khiển độ hoạt động của nước đến chất lượng khô từ cá lóc nuôi tại tỉnh Đồng Tháp*”, *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 92-97.
- [12]. Bruce, D. M., (1985), “*Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150 C*”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-348.
- [13]. Page, G. E., (1949), “*Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers*”, *Purdue University*.
- [14]. Henderson, S. M. and Pabis, S., (1961), “*Grain drying theory*”, *Temperature effect on drying coefficient*.
- [15]. Wang, C. Y. and Singh, R. P., (1978), “*Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying*”, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 11(6), 668-672.
- [16]. Cao, F., Zhang, R., Tang, J., Li, F. and Jiao, Y., (2021), “*Radio frequency combined hot air (RF-HA) drying of tilapia (*Oreochromis niloticus L.*) fillets: Drying kinetics and quality analysis*”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 74, 102791.
- [17]. Ismail, O. and Kocabay, O., (2018), “*Infrared and microwave drying of rainbow trout: drying kinetics and modelling*”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(2).
- [18]. Anh, N. N. H., Xuyen, N. T. K., Quyen, N. H. T., Vi, N. H. Y., Giau, T. N., Hao, H. V., ... and Thuy, N. M., (2024), “*Mathematical modelling of thin layer foam mat drying kinetics of *Artemia (Artemia franciscana)**”, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 23(4), 405-414.
- [19]. Delgado, T., Pereira, J. A., Baptista, P., Casal, S. and Ramalhosa, E., (2014), “*Shell's influence on drying kinetics, color and volumetric shrinkage of *Castanea sativa Mill. fruits**”, *Food Research International*, 55, 426-435.
- [20]. Ye, Y., Zhou, T., Liu, T. and Shi, W., (2024), “*Quality-based selection of the optimal hot air gradient drying method for anchovy and modeling of drying kinetics*”, *Aquaculture and Fisheries*.