

**NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ SẤY TỐI ƯU CHO TÔM THẺ CHÂN TRẮNG BẰNG BƠM NHIỆT KẾT HỢP VỚI BỨC XẠ HỒNG NGOẠI**  
**EXPERIMENTAL RESEARCH TO DETERMINATE THE OPTIMIZED DRYING PARAMETERS FOR WHITE LEG SHRIMP BY FAR INFRARED ASSISTED HEAT PUMP DRYER**

**Lê Như Chính**

Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Nha Trang

Email: chinhn@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/08/2022; Ngày phân biện thông qua: 24/09/2022; Ngày duyệt đăng: 28/09/2022

**TÓM TẮT**

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định các thông số sấy tối ưu của tôm thẻ chân trắng bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp với bức xạ hồng ngoại. Các thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp của Taguchi với các thông số sấy bao gồm nhiệt độ sấy ( $t$ ), vận tốc tác nhân sấy ( $V$ ), khoảng cách bức xạ hồng ngoại ( $H$ ) và công suất hồng ngoại ( $IP$ ). Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp bề mặt đáp ứng RSM đã thu được các thông số sấy tối ưu sao cho tôm khô có chất lượng tốt, thời gian sấy ngắn và tiết kiệm năng lượng. Cụ thể là các thông số sấy tối ưu cho tôm khô được xác định như sau  $t = 59,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 1,98\text{ m/s}$ ,  $H = 35,23\text{ cm}$ ,  $IP = 1750\text{ W}$ , độ ẩm tương đối của tác nhân sấy  $\phi = 15 \div 17\%$ , thời gian sấy  $\tau_{\text{sấy}} = 165\text{ phút}$ .

**Từ khóa:** Sấy tôm thẻ chân trắng, sấy tôm thẻ chân trắng bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại.

**ABSTRACT**

This paper presents the results of experimental research to determine the optimal drying parameters of white leg shrimp by heat pump drying method combined with infrared radiation. The experiment was designed according to Taguchi's method with drying parameters including drying temperature ( $t$ ), drying agent velocity ( $V$ ), infrared radiation distance ( $H$ ) and infrared power ( $IP$ ). As a result of multi-objective optimization by RSM response surface method, optimal drying parameters were obtained for good quality dried shrimp, short drying time and energy saving. Specifically, the optimal drying parameters for dried shrimp are determined as follows  $t = 59.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 1.98\text{ m/s}$ ,  $H = 35.23\text{ cm}$ ,  $IP = 1750\text{ W}$ , relative humidity of the air drying  $\phi = 15 \div 17\%$ , drying time  $\tau_{\text{drying}} = 165\text{ minutes}$ .

**Keywords:** Drying white-leg shrimp, drying white-leg shrimp by heat pump combined with infrared.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Việt Nam là nước có tổng chiều dài bờ biển đến 3670 km, đây là một điều kiện tự nhiên hết sức thuận lợi cho việc khai thác và nuôi trồng thủy sản. Kết quả thống kê của Tổng cục Thủy sản cho thấy năm 2022 sản lượng tôm các loại tôm đạt khoảng 980.000 tấn, trong đó tôm sú đạt 275.000 tấn, tôm thẻ chân trắng đạt 675.000 tấn và còn lại là loài tôm khác; kim ngạch xuất khẩu tôm ước đạt 4 tỷ USD, dự kiến sẽ tăng 2,56% so với năm 2021 [14]. Có thể nói, tôm thẻ chân trắng đông lạnh xuất khẩu đạt đến trên 70% giá trị tôm xuất khẩu. Tuy nhiên, mặt hàng tôm khô chế biến cũng còn nhiều hạn chế, phương pháp chế biến chủ yếu là chế biến nhỏ lẻ, thủ công từ các làng nghề bằng phương pháp truyền thống như phơi nắng nên

chất lượng tôm khô bị giảm đáng kể. Đặc biệt, một số cơ sở chế biến tôm khô vẫn sử dụng các dạng lò sấy tự chế dùng nhiên liệu than đá, củi,... Các phương pháp trên thường có nhiệt độ sấy cao, thời gian sấy dài, khói và bụi than làm biến đổi màu sắc, mùi vị và giảm chất lượng của sản phẩm [1- 3]. Bên cạnh đó là vấn đề về vệ sinh, an toàn thực phẩm không đảm bảo, làm giảm giá trị sử dụng, giá trị kinh tế và làm giảm giá trị xuất khẩu [2, 5]. Hiện nay, phương pháp sấy bằng bơm nhiệt (HP) và sấy bằng bức xạ hồng ngoại (IR) đã và đang được ứng dụng nhiều trong thực tế, mỗi phương pháp đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Do đó, nghiên cứu kết hợp phương pháp sấy bằng HP với IR (IR-HP) nhằm phát huy những ưu điểm và hạn chế nhược điểm để phù hợp cho sấy tôm

thẻ chân trắng là thực sự cần thiết [1- 2, 9, 11- 12].

**2. ĐỐI TƯỢNG, THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1. Đối tượng nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu là tôm thẻ chân trắng (White leg shrimp), kích cỡ đạt 20 ÷ 22gam/con với màu sắc, mùi tanh tự nhiên của tôm thẻ chân trắng. Tôm thẻ được thu mua tại vịnh Cam Ranh tỉnh Khánh Hòa, quá trình vận chuyển tôm được bảo quản bằng nước đá rồi chuyển về phòng thí nghiệm Nhiệt lạnh, Trường Đại học Nha Trang. Tại đây, tôm được rửa sạch và luộc với thời gian khoảng 7 phút trong dung dịch nước muối (NaCl) có nồng độ 3 % (Hình 2). Tôm sau khi luộc được tiến hành sấy trên máy IR-HP với các thông số sấy đã được thiết kế theo ma trận quy hoạch thực nghiệm của Taguchi (Bảng 2). Quá trình sấy của mỗi thí nghiệm (TN) được kết thúc khi hàm lượng ẩm cuối của tôm khô đạt khoảng 20 ± 1 % [2- 4, 7].

**2.2. Thiết bị nghiên cứu**

**2.2.1. Tủ sấy bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại IR-HP**

Nghiên cứu được tiến hành trên máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp với hồng ngoại IR-HP (Hình 1). Máy sấy được thiết kế và chế tạo tại phòng thí nghiệm nhiệt lạnh, Khoa Cơ khí,

Trường Đại học Nha Trang với tính năng kỹ thuật như sau: Năng suất 1kg/mẻ, công suất bơm nhiệt (0,745 kW), công suất đèn hồng ngoại (2 kW), quạt ly tâm (0,1 kW). Máy sấy có thể điều chỉnh được các thông số sấy theo yêu cầu của công nghệ như: Công suất hồng ngoại từ 200 ÷ 2000W, nhiệt độ sấy từ 20 ÷ 70°C, vận tốc tác nhân sấy (TNS) từ 0,5 ÷ 5 m/s, khoảng cách từ bề mặt đèn IR đến vật liệu sấy (VLS) từ 0,2 ÷ 0,45 m [3].

**2.2.2. Các thiết bị khác sử dụng trong nghiên cứu**

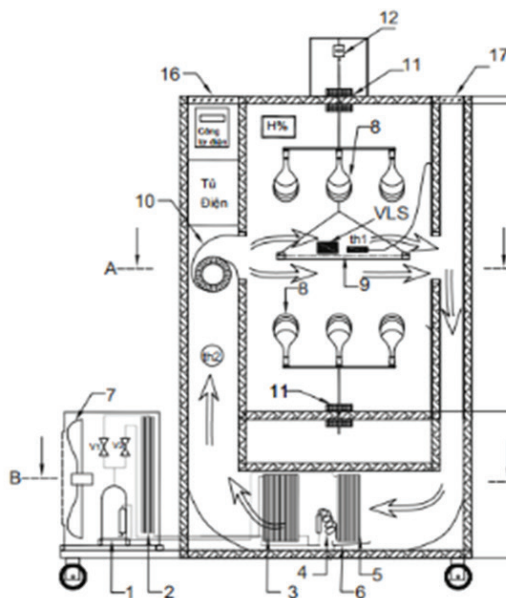
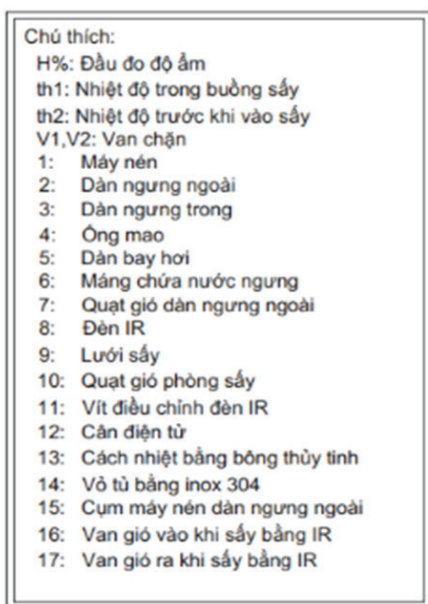
Xác định khối lượng của tôm thẻ theo thời gian sấy bằng cân phân tích điện tử Model: XT2200C, sai số là ± 0,01g, Thụy Sĩ.

Xác định độ ẩm tương đối của không khí tại phòng sấy bằng ẩm kế hiện số Model: Testo 605H<sub>1</sub>, sai số là ± 3%RH, Đức.

Xác định vận tốc gió tại phòng sấy bằng lưu tốc kế hiện số Model: LM81AT, sai số là ± 3%, Đài Loan.

Xác định nhiệt độ trong phòng sấy bằng nhiệt kế hiện thị số EXTECH, với 12 đầu đo, Model TM500, với độ chính xác là ± (0.4 % Rdg + 1°C), Đài Loan.

Xác định điện năng tiêu thụ theo thời gian sấy bằng công tơ điện tử 1 pha, 220V, 50Hz, Model: EMIC CE-38, cấp chính xác: 1, Việt Nam.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của máy sấy bằng IR-HP.

**2.3. Phương pháp nghiên cứu**

**2.3.1. Thiết kế thí nghiệm theo phương pháp của Taguchi**

Trong nghiên cứu này, phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế tất cả các thí nghiệm cho quá trình sấy tôm thẻ. Các thông số

ảnh hưởng chính đến quá trình sấy tôm đã được lựa chọn dựa trên kết quả của một số nghiên cứu trước [2, 4-5]. Các thông số đầu vào của bài toán tối ưu được xác định và trình bày trong Bảng 1:

**Bảng 1. Các mức thí nghiệm với 4 yếu tố ảnh hưởng chính và các mức thí nghiệm**

STT	Thông số đầu vào	Mức dưới	Mức cơ sở	Mức trên	Khoảng biến thiên
1	Nhiệt độ sấy, t [°C]	40	50	60	10
2	Vận tốc TNS, V [m/s]	1,5	2	2,5	0,5
3	Khoảng cách từ bề mặt đèn IR đến VLS H [cm]	35	40	45	5
4	Công suất hồng ngoại, IP [W]	1000	1400	1800	400

**2.3.2. Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM – Response Surface Methodology)**

RSM là phương pháp thống kê toán học được sử dụng để thiết lập mô hình dự đoán thực nghiệm. Phương pháp này có thể biểu diễn mối quan hệ giữa các biến đầu vào độc lập với các biến đầu ra phụ thuộc [2- 3]. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích hồi quy được sử dụng để thiết lập mô hình thực nghiệm cho việc dự đoán các mục tiêu chính ( $R_{TN}$ ,  $\tau_{TN}$ ,  $W_{TN}$ ,  $SEC_{TN}$ ). Mối quan hệ giữa giá trị đầu vào và các hàm mục tiêu được viết theo phương trình (2.1) [2- 4]:

$$Y = f(t, V, H, IP) \tag{2.1}$$

Trong đó: Y là các hàm mục tiêu cụ thể như tỷ lệ hút nước phục hồi  $R_{TN}$  (gVLA/gVLK), suất tiêu hao năng lượng  $SEC_{TN}$  (kWh/kgH<sub>2</sub>O), thời gian sấy (TGS)  $\tau_{TN}$  (phút) và năng suất tách ẩm ra khỏi vật liệu sấy  $W_{TN}$  (g/h); Các thông số đầu vào của bài toán được trình bày trong Bảng 1.

Phương trình (2.2) có thể được viết theo các hàm mục tiêu với “k” biến đầu vào dưới dạng phương trình bậc 2 như sau [2 - 5, [9]:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 \tag{2.2}$$

Trong đó:  $\hat{Y}$  là các mục tiêu đáp ứng;  $b_0$  là hằng số;  $b_i$ ,  $b_{ij}$  và  $b_{ii}$  là các hệ số hồi quy bậc nhất và bậc 2;  $X_i$ ,  $X_j$  là các biến mã hóa của quá trình sấy. Kết quả thực nghiệm theo phương pháp Taguchi được trình bày trong Bảng 2; Các thông số sấy tối ưu cho tôm thẻ được xác định theo sơ đồ Hình 2 như sau.

**2.3.3. Phương pháp xác định**

**2.3.3.1. Xác định độ ẩm của tôm thẻ biến đổi theo thời gian sấy**

Độ ẩm của tôm biến đổi trong quá trình sấy được xác định bằng phương pháp cân bằng khối lượng bằng công thức [1-3]:

$$W_i = 100 - \frac{(100 - W_1)}{G_1} \cdot G_i \tag{2.3}$$

Trong đó:  $W_i$  là độ ẩm tương đối của vật liệu sấy tại thời điểm i (%);  $W_1$  là độ ẩm ban đầu của vật liệu sấy (%);  $G_1$  là khối lượng ban đầu của vật liệu sấy (g);  $G_i$  là khối lượng của vật liệu sấy tại thời điểm i (g).

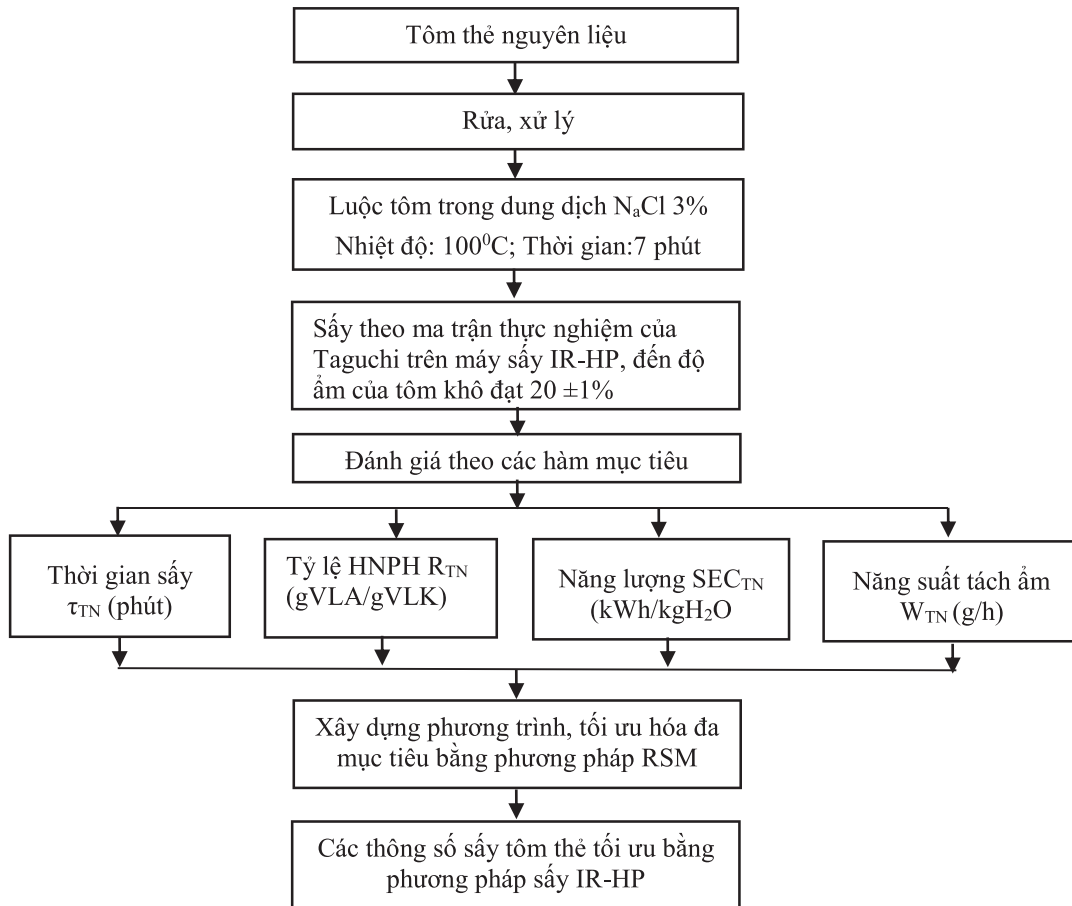
**2.3.3.2. Xác định tỷ lệ hút nước phục hồi của tôm thẻ khô sau khi sấy**

Tỷ lệ hút nước phục hồi (HNPH) của tôm khô sau khi sấy được xác định bằng phương pháp ngâm tôm khô trong nước cất (nước ngập mẫu) ở nhiệt độ đạt khoảng 25 ÷ 30°C. Theo mỗi thời gian 30 phút, mẫu tôm ngâm được vớt ra, thấm khô nước dính ướt trên bề mặt ngoài thân tôm và tiến hành cân khối lượng mẫu, thực hiện cho đến khi khối lượng mẫu tôm ngâm giữa 2 lần cân liên nhau là không đổi. Tỷ lệ HNPH của tôm thẻ khô ( $R_{TN}$ ) được xác định theo công thức sau [8-10]:

$$R_{TN} = \frac{m_w}{m_d} \tag{2.4}$$

Trong đó:  $m_w$  là khối lượng của mẫu tôm sau khi ngâm nước, gVLA;  $m_d$  là khối lượng của mẫu tôm sau khi sấy, gVLK.

**2.3.3.3. Xác định suất tiêu hao năng lượng trong quá trình sấy tôm bằng IR-HP**



**Hình 2. Sơ đồ bố trí thực nghiệm xác định chế độ sấy tối ưu.**

Suất tiêu hao năng lượng trong quá trình sấy tôm thẻ bằng IR-HP được xác định theo công thức [11-12]:

$$SEC = \frac{E_p}{\Delta G_w} \quad (2.5)$$

Trong đó: SEC (specific energy consumption): Năng lượng tiêu thụ (kWh/kgH<sub>2</sub>O); E<sub>p</sub>: là tổng điện năng tiêu thụ của tủ sấy; ΔG<sub>w</sub>: là lượng nước bay hơi ra khỏi vật liệu sấy (kg).

**2.3.3.4. Phương pháp đánh giá sai số của phương trình dự đoán và thực nghiệm**

Sai số phần trăm trung bình E [%] được xác định theo công thức [9-10]:

$$E(\%) = \frac{100}{n} \sum \frac{|\hat{Y}_{i,MP} - Y_{i,TN}|}{\hat{Y}_{i,MP}} \quad (2.6)$$

Trong đó:  $\hat{Y}_{i,MP}$ ,  $Y_{i,TN}$ , lần lượt là giá trị dự đoán, giá trị thực nghiệm, n là số lần thí nghiệm.

**2.3.3.5. Phương pháp đánh giá điểm chất lượng cảm quan**

Điểm chất lượng cảm quan của tôm khô được đánh giá bằng phương pháp cho điểm theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3215 – 79. Tôm khô sau khi sấy đạt đến độ ẩm yêu cầu, được tiến hành đánh giá theo các chỉ tiêu và hệ số quan trọng như sau: Màu sắc, hệ số 1,2; mùi, hệ số 0,8; vị, hệ số 1; trạng thái cơ thịt, hệ số 1 [6].

**2.3.3.6. Phương pháp xác định các chỉ tiêu hóa học**

Xác định hàm lượng protein theo TCVN 3705: 1990; xác định hàm lượng lipid (Total fat) theo TCVN 3703: 2009; xác định hàm lượng ẩm trong tôm thẻ trước khi sấy theo TCVN 3700: 1990; xác định hàm lượng tro tổng bằng phương pháp AOAC 923.03; xác định tổng carbohydrate theo TCVN 4594:1988. Các chỉ

tiêu hóa học trên được xác định tại trung tâm kiểm nghiệm, Sở y tế, Khánh Hòa.

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Trong nghiên cứu này độ ẩm của tôm thẻ chân trắng sau khi luộc đã được xác định là  $W_1 = 70\%$ . Độ ẩm của tôm khô được xác định

qua mỗi thời gian sấy bằng phương pháp cân khối lượng theo công thức (2.3) đến khi độ ẩm cuối của tôm khô đạt  $20 \pm 1\%$ . Trong đó, mỗi thí nghiệm được lặp 3 lần để đảm bảo độ chính xác, kết quả nghiên cứu theo ma trận thí nghiệm của Taguchi được trình bày trên Bảng 2 như sau.

**Bảng 2. Ma trận và kết quả thí nghiệm**

Ma trận thực nghiệm					Kết quả thực nghiệm			
TN	t [°C]	IP [W]	V [m/s]	H [cm]	$\tau_{TN}$ [h]	$R_{TN}$ [g VLA/g VLK]	$W_{TN}$ [g/h]	$SEC_{TN}$ [kWh/kg H <sub>2</sub> O]
1	40	1000	1,5	35	6,50	1,475	96,067	22,276
2	40	1000	1,5	35	6,50	1,448	96,405	22,198
3	40	1000	1,5	35	6,50	1,394	96,512	22,173
4	40	1400	2,0	40	5,50	1,609	113,891	22,302
5	40	1400	2,0	40	5,50	1,743	114,478	22,188
6	40	1400	2,0	40	5,50	1,609	114,144	22,253
7	40	1800	2,5	45	6,50	1,475	96,154	30,576
8	40	1800	2,5	45	6,00	1,475	103,774	30,692
9	40	1800	2,5	45	6,50	1,475	96,512	30,462
10	50	1000	2,0	45	4,50	1,930	139,918	15,295
11	50	1000	2,0	45	4,50	1,957	139,509	15,339
12	50	1000	2,0	45	4,50	1,957	139,918	15,295
13	50	1400	2,5	35	5,80	1,796	107,759	23,571
14	50	1400	2,5	35	5,70	1,796	109,319	23,235
15	50	1400	2,5	35	5,80	1,877	107,434	23,628
16	50	1800	1,5	40	3,50	2,011	177,762	16,539
17	50	1800	1,5	40	3,70	2,038	168,919	17,405
18	50	1800	1,5	40	3,50	2,038	179,894	16,343
19	60	1000	2,5	40	4,00	2,091	156,600	13,665
20	60	1000	2,5	40	4,50	2,118	139,918	15,295
21	60	1000	2,5	40	4,50	2,145	139,097	15,385
22	60	1400	1,5	45	3,60	2,279	174,129	14,587
23	60	1400	1,5	45	3,50	2,466	178,168	14,256
24	60	1400	1,5	45	3,70	2,413	168,281	15,094
25	60	1800	2,0	35	2,60	2,386	239,295	12,286
26	60	1800	2,0	35	2,70	2,413	232,000	12,672
27	60	1800	2,0	35	2,60	2,359	240,385	12,230

#### 3.1. Xây dựng các phương trình hồi quy từ thực nghiệm theo phương pháp RSM

Qua kết quả nghiên cứu thực nghiệm (Bảng 2), tác giả đã xây dựng được các phương trình hồi quy dự đoán thời gian sấy  $TGS = \tau_{TN}$  (h), tỷ

lệ HNPH của tôm khô  $R = R_{TN}$  (gVLA/gVLK), suất tiêu hao năng lượng  $SEC = SEC_{TN}$  (kWh/kgH<sub>2</sub>O), năng suất tách ẩm  $W = W_{TN}$  (g/h) cho tôm sấy bằng IR-HP.

3.1.1. Phương trình hồi quy dự đoán thời gian sấy tôm thẻ  $\tau_{TN}$  (phút)

**Bảng 3. Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho thiết kế thí nghiệm dự đoán  $\tau_{TN}$  (h)**

Nguồn	DF	SS	MS	F	P	Ghi chú
Hồi quy	8	43,814	5,4768	250,63	0,000	Ý nghĩa
t	1	30,160	30,1606	1380,23	0,000	Ý nghĩa
IP	1	3,920	3,9200	179,39	0,000	Ý nghĩa
V	1	3,8272	3,8272	175,14	0,000	Ý nghĩa
H	1	0,1089	0,1089	4,98	0,039	Ý nghĩa
t <sup>2</sup>	1	0,2535	0,2535	11,60	0,003	Ý nghĩa
IP <sup>2</sup>	1	1,5807	0,5807	26,58	0,000	Ý nghĩa
V <sup>2</sup>	1	3,8935	3,8925	178,18	0,000	Ý nghĩa
H <sup>2</sup>	1	1,0696	1,0696	48,95	0,000	Ý nghĩa
Sai số	18	0,3933	0,0219			
Tổng	26	44,2074				

Trong đó:  $R^2 = 99,11\%$ , giá trị dự đoán  $R^2(\text{Pred}) = 99,78\%$ , giá trị hiệu chỉnh  $R^2(\text{Adj}) = 99,86\%$ , SS là tổng bình phương, MS là bình phương trung bình, DF là bậc tự do, F là tỷ lệ phương sai của Fisher, P là giá trị thống kê. Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho phương trình bậc 2 dự đoán  $\tau_{TN}$  (h) được trình bày trong Bảng 3 và cho thấy hệ số  $R^2 = 99,11\%$ , độ lệch chuẩn thấp ( $S = 0,147824$ ), giá trị dự đoán lỗi thấp ( $\text{PRESS} = 0,885$ ). Bên

cạnh đó các thông số sấy như t, IP, V, H t<sup>2</sup>, IP<sup>2</sup>, V<sup>2</sup>, H<sup>2</sup> đều có giá trị  $p < 0,05$ . Hơn nữa, giá trị  $R^2$ ,  $R^2(\text{Pred})$   $R^2(\text{Adj})$  của phương trình hồi quy lần lượt là 0,9911, 0,980 và 0,9871, các giá trị của  $R^2$  rất gần tới 1. Điều này có thể kết luận rằng phương trình hồi quy đã xây dựng được là phù hợp, có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình hồi quy (3.1) là đủ tin cậy để dự đoán  $\tau_{TN}$  [h] cho tôm thẻ chân trắng sấy bằng IR-HP.

$$\tau_{TN} = 52,1222 - 0,3350t + 0,004277IP - 11,9667V - 1,3666H + 0,0020555t^2 - 1,9444 \cdot 10^{-6} IP^2 + 3,2222V^2 + 0,016888H^2 \quad (3.1)$$

3.1.2. Phương trình hồi quy dự đoán suất tiêu hao năng lượng  $SEC_{TN}$  (kWh/kg H<sub>2</sub>O)

Kết quả tương tự khi phân tích ANOVA cho  $SEC_{TN}$  cho thấy giá trị P của phương trình hồi quy là rất nhỏ so với 0,05 nên các thông số sấy như (t), (IP), (V), (H), (t<sup>2</sup>), (IP<sup>2</sup>), (H<sup>2</sup>), (V<sup>2</sup>) là có ảnh hưởng đáng kể đến mô hình. Hơn nữa,

Giá trị  $R^2$  của phương trình hồi quy là 0,9962, các giá trị  $R^2$  rất gần tới 1. Điều này có thể kết luận rằng phương trình hồi quy được đưa ra là phù hợp và có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình hồi quy (3.2) là đủ tin cậy để dự đoán  $SEC_{TN}$  cho quá trình sấy tôm thẻ bằng IR-HP.

$$SEC_{TN} = 209,851 - 1,5142t + 0,02846IP - 55,0715V - 5,8063H + 0,0096t^2 - 9,0621 \cdot 10^{-6} IP^2 + 15,0356V^2 + 0,07359H^2 \quad (3.2)$$

3.1.3. Phương trình hồi quy dự đoán tỷ lệ hút nước phục hồi trở lại của tôm thẻ khô  $R_{TN}$  (gVLA/gVVK)

Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho phương trình bậc 2 dự đoán tỷ lệ HNP của tôm khô  $R_{TN}$  cho thấy các hệ số của t<sup>2</sup> và H<sup>2</sup> đều có giá trị P là 0,243 ( $P > 0,05$ ) do đó

độ tin cậy là nhỏ hơn 95% nên các hệ số này ảnh hưởng không đáng kể đến mô hình hồi quy (3.3), các thông số khác như t, IP, V, H V<sup>2</sup>, IP<sup>2</sup> đều có giá trị  $p < 0,05$ . Hơn nữa, các giá trị  $R^2$ ,  $R^2(\text{Pred})$   $R^2(\text{Adj})$  của phương trình hồi quy lần lượt là 0,986, 0,968 và 0,979, các giá trị của  $R^2$  rất gần tới 1. Điều này cho thấy phương

trình hồi quy được đưa ra là phù hợp và có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình

$$R_{TN} = -4,697 + 0,0625t + 0,00112IP + 1,736V + 0,0816H - 3,444.10^{-7} IP^2 - 0,470V^2 \tag{3.3}$$

3.1.4. Phương trình hồi quy dự đoán năng suất tách ẩm  $W_{TN}$  (g/h)

Kết quả phân tích phương sai (ANOVA) cho phương trình bậc 2 dự đoán năng suất tách ẩm  $W_{TN}$  cho thấy hệ số  $t^2$  và  $H^2$  có giá trị lần lượt là 0,127 và 0,180 ( $P > 0,05$ ), do đó độ tin cậy là nhỏ hơn 95% nên ảnh hưởng không đáng kể đến mô hình hồi quy, các thông số khác như  $t$ ,  $IP$ ,  $V$ ,  $H$ ,  $V^2$ ,

$$W_{TN} = -407,839 + 1,057t - 0,240IP + 461,711V + 7,522H + 0,000105IP^2 - 123,194V^2 \tag{3.4}$$

3.2. Tối ưu hóa đa mục tiêu xác định chế độ sấy tôm thẻ bằng IR-HP

3.2.1. Kết quả tối ưu hóa xác định chế độ sấy

Để xác định được các thông số sấy sao cho thỏa mãn các mục tiêu là năng suất tách ẩm lớn

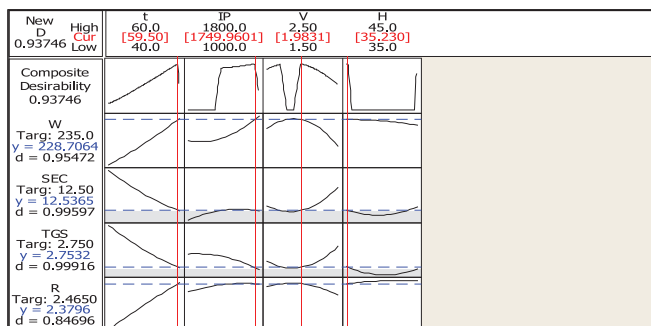
hồi quy (3.3) đủ tin cậy để dự đoán tỷ lệ HNPĐ của tôm thẻ chân trắng sấy bằng IR-HP.

$IP^2$  đều có giá trị  $p < 0,05$ . Hơn nữa, giá trị  $R^2$ ,  $R^2$  (Pred)  $R^2$  (Adj) của phương trình hồi quy lần lượt là 0,9924, 0,9828 và 0,9890, các giá trị của  $R^2$  rất gần tới 1. Điều này có thể kết luận rằng phương trình hồi quy được đưa ra là phù hợp, có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình hồi quy (3.4) đủ tin cậy để dự đoán năng suất tách ẩm trong quá trình sấy tôm thẻ bằng IR-HP.

nhất, thời gian sấy tôm là nhỏ nhất, chất lượng sản phẩm tôm khô tốt nhất và tiêu hao năng lượng là bé nhất. Nghiên cứu đã tiến hành tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp RSM với các thông số đầu vào, các ràng buộc và các mục tiêu được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Mục tiêu tối ưu và miền ràng buộc

STT	Thông số sấy và hàm mục tiêu	Mục tiêu	Giới hạn dưới	Giá trị mục tiêu	Giới hạn trên	Trọng số
1	$t$ [°C]	Trong khoảng	40		60	
2	$V$ [m/s]	Trong khoảng	1,5		2,5	
3	$H$ [cm]	Trong khoảng	35		45	
4	$IP$ [W]	Trong khoảng	1000		1800	
5	$\tau_{TN}$ [h]	Lớn nhất	2,60	2,75	6,50	1
6	$W_{TN}$ [g/h]	Lớn nhất	96	235	240	1
7	$R_{TN}$ [gVLA/gVLK]	Lớn nhất	1,39	2,47	2,47	2
8	$SEC_{TN}$ [kWh/kg H <sub>2</sub> O]	Nhỏ nhất	12,23	12,50	30,60	2



Hình 3. Đồ thị tối ưu hóa đa mục tiêu.

Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu trên Hình 3 cho thấy giá trị kỳ vọng của hàm mục tiêu là 0,93746, giá trị này rất gần với 1. Do đó, kết

quả tối ưu cho các hàm mục tiêu như  $\tau_{TN}$  [h],  $W_{TN}$  [g/h],  $R_{TN}$  [g VLA/g VLK] và  $SEC_{TN}$  [kWh/kg H<sub>2</sub>O] là phù hợp [7- 9]. Như vậy, thông số

sấy tối ưu cho tôm thẻ chân trắng khi sấy bằng IR-HP như sau: nhiệt độ sấy  $t = 59,50^{\circ}\text{C}$ ; công suất hồng ngoại  $IP = 1750\text{ W}$ ; vận tốc nhân sấy  $V = 1,98\text{ m/s}$ ; khoảng cách hồng ngoại  $H = 35,23\text{ cm}$ . Ứng với hàm mục tiêu cho thời gian sấy ngắn nhất là  $2,753\text{ h}$ , năng suất tách ẩm lớn nhất đạt  $228,71\text{ g/h}$  ( $W_{\text{TN}}$  đã được tính cho  $1\text{ m}^2$  sấy là  $1000\text{g}$  tương đương với 48 con tôm thẻ tươi, theo đó nếu tính cho mỗi con tôm khô, năng suất tách ẩm  $W_{\text{TN}}$  sẽ là  $4,76\text{ g/h}$ ), tỷ lệ  $R_{\text{TN}}$  cao nhất đạt  $2,38\text{ gVLA/gVVK}$  và suất tiêu hao năng lượng SEC thấp nhất đạt  $12,54\text{ kWh/kgH}_2\text{O}$ .

3.2.2. *Đánh giá độ tin cậy của mô hình dự đoán so với thực nghiệm ở chế độ sấy tôm tối ưu*

**Bảng 5. Đánh giá độ tin cậy của mô hình dự đoán so với thực nghiệm**

Stt	Hàm mục tiêu	Dự đoán từ các phương trình hồi quy (3.1 ÷ 3.4)	Kết quả thực nghiệm ở chế độ sấy tối ưu	Sai số (%)
1	Thời gian sấy $\tau_{\text{TN}}$ (h)	2,75	2,89	4,74
2	Tỷ lệ hút nước của tôm khô R (gVLA/gVVK)	2,47	2,26	8,48
3	Năng suất tách ẩm $W_{\text{TN}}$ , g/h	228,70	219,12	4,18
4	Suất tiêu hao năng lượng SEC <sub>TN</sub> (kWh/kgH <sub>2</sub> O)	12,54	13,25	5,39

3.3. **Đánh giá chất lượng của tôm thẻ sấy ở chế độ tối ưu so với các phương pháp sấy khác**

Kết quả nghiên cứu trên Bảng 5 cho thấy sai số của giá trị ( $\tau_{\text{TN}}$ ,  $R_{\text{TN}}$ , SEC<sub>TN</sub>,  $W_{\text{TN}}$ ) được dự đoán từ các phương trình từ (3.1 ÷ 3.4) so với các giá trị của ( $\tau_{\text{TN}}$ ,  $R_{\text{TN}}$ , SEC<sub>TN</sub>,  $W_{\text{TN}}$ ) được xác định từ thực nghiệm ở chế độ sấy tối ưu là rất nhỏ, khoảng từ  $4,18 \div 8,4\%$ . Kết quả trên cho thấy sai số giữa giá trị dự đoán và thực nghiệm là nhỏ hơn 9%. Có thể nói giá trị dự đoán và thực nghiệm có sự phù hợp với nhau đến 91%. Như vậy, kết quả dự đoán từ phương trình là phù hợp với thực nghiệm. Theo đó, áp dụng các phương trình trên để dự đoán các mục tiêu như  $\tau_{\text{TN}}$ ,  $R_{\text{TN}}$ , SEC<sub>TN</sub>,  $W_{\text{TN}}$  vào nghiên cứu lý thuyết về truyền nhiệt, truyền chất hoặc tính toán nhiệt, thiết kế tủ sấy tôm bằng IR-HP.

3.3.1. *Đánh giá chất lượng tôm thẻ khô theo điểm chất lượng cảm quan và khả năng hút nước phục hồi*

**Bảng 6. Đánh giá chất lượng của tôm bằng phương pháp sấy IR-HP so với HP và IR**

STT	Phương pháp sấy	Điểm chất lượng cảm quan (điểm)	Tỷ lệ hút nước phục hồi của tôm thẻ $R_{\text{TN}}$ (%)
1	Sấy tôm bằng IR-HP	18,74	93,77
2	Sấy tôm bằng hồng ngoại IR	17,16	76,81
3	Sấy tôm bằng bơm nhiệt HP	18,11	85,98

Kết quả nghiên cứu trên Bảng 6 và Hình 4a cho thấy mẫu tôm thẻ sấy bằng IR-HP có màu sắc tự nhiên như của tôm trước khi sấy, điểm chất lượng cảm quan (CLCQ) cao nhất là 18,74 điểm, đạt loại tốt, kế tiếp là tôm sấy bằng HP có điểm CLCQ đạt 18,11 điểm, loại tốt (Hình 4b), thấp nhất là mẫu tôm sấy bằng IR có điểm CLCQ đạt 17,16 điểm đạt loại khá (Hình 4c) [6]. Hơn nữa, kết quả trên Bảng 6 cũng cho thấy tôm khô sấy bằng IR-HP có khả năng hút nước phục hồi trở lại cao nhất đạt 93,77%. Điều này

có thể giải thích là tôm khô sấy bằng IR-HP ở chế độ sấy tối ưu có quá trình truyền nhiệt, truyền chất phù hợp nên bề mặt ngoài của tôm không bị tạo màng và cấu trúc bên trong thân con tôm khô xốp, quá trình thoát ẩm tốt, thời gian sấy ngắn nhất khoảng 174 phút (Bảng 5), nên điểm CLCQ cao và khả năng HNP của tôm khô đạt gần như trạng thái của tôm tươi trước khi sấy. Như vậy, tôm khô sau khi sấy ở chế độ tối ưu có chất lượng là tốt nhất.





a) Mẫu tôm sấy bằng IR-HP      b) Mẫu tôm sấy bằng HP      c) Mẫu tôm sấy bằng IR

**Hình 4. Hình ảnh đánh giá chất lượng cảm quan của tôm khô theo phương pháp sấy.**

3.3.2. *Biến đổi thành phần hóa học của tôm thẻ theo thời gian sấy*

**Bảng 7. Biến đổi của một số thành phần hóa học trong tôm thẻ theo thời gian sấy**

STT	Thời gian sấy $\tau$ (phút)	Hàm lượng protein (%)	Hàm lượng lipid (%)	Hàm lượng tro tổng (%)	Hàm lượng Carbohydrate (%)
2	0	24,51	3,48	1,20	1,35
3	60	36,17	3,94	1,25	1,35
4	120	47,19	3,68	2,55	1,62
5	160	58,81	3,15	5,66	1,25

Kết quả phân tích trên Bảng 7 cho thấy các thành phần hóa học chính trong tôm thẻ có sự biến đổi theo thời gian sấy. Cụ thể là hàm lượng protein trong tôm tăng 34,3%, chất khoáng tăng 4,46%, lipid giảm nhẹ khoảng 0,33%, hàm lượng ẩm giảm 50% và chất xơ gần như không đổi theo thời gian sấy. Hàm lượng lipid có sự giảm nhẹ là do lipid là chất dễ bị oxy hóa tạo thành sản phẩm cấp thấp,

đặc biệt khi thời gian sấy bị kéo dài hoặc nhiệt độ sấy cao. Có thể nói phương pháp sấy tôm bằng IR-HP cho thời gian sấy ngắn và hạn chế thấp nhất mức độ giảm của hàm lượng lipid, nâng các chất lượng của tôm khô. Như vậy, phương pháp sấy IR-HP là phù hợp để sấy tôm thẻ chân trắng.

3.3.3. *Đánh giá chất lượng tôm khô theo chỉ tiêu vi sinh vật và an toàn thực phẩm*

**Bảng 8. Kết quả kiểm nghiệm vi sinh của mẫu tôm khô sấy ở chế độ tối ưu so với phương pháp khác**

STT	Tên mẫu	Coliform, PMN/g	Tổng vi sinh vật hiếu khí, CFU/g	E. coli, CFU/g	Tổng số bào tử nấm men - nấm mốc, CFU/g	Salmonella, CFU/g
1	Tôm sấy bằng IR-HP	<3	1,3.10 <sup>3</sup>	KPH	KPH	KPH
2	Tôm sấy bằng hồng ngoại	<3	2,2.10 <sup>3</sup>	KPH	KPH	KPH
3	Tôm sấy bằng bơm nhiệt	<3	3,9.10 <sup>3</sup>	KPH	KPH	KPH

Kết quả phân tích trong Bảng 8 cho thấy các chỉ tiêu về vi sinh nguy hại trên tôm khô như E.coli, Salmonella đều không phát hiện (KPH), các chỉ tiêu còn lại là nhỏ hơn rất nhiều so với tiêu chuẩn về quy định giới hạn cho phép vi sinh vật trong nhóm thức ăn khô [13]. Điều này cho thấy phương pháp sấy bằng IR-HP là có

thể kiểm soát được sự nhiễm vi sinh. Như vậy, tôm thẻ khô khi sấy ở chế độ tối ưu đã đạt yêu cầu về tiêu chuẩn vi sinh theo Quyết định số 46/BYT-2007 của Bộ Y tế.

**4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

**4.1. Kết luận**

Kết quả nghiên cứu tối ưu hóa quá trình sấy

tôm thẻ bằng phương pháp IR-HP đã xác định được chế độ sấy tối ưu: nhiệt độ sấy  $t = 59,5^{\circ}\text{C}$ , vận tốc gió  $V = 1,98 \text{ m/s}$ , khoảng cách bức xạ hồng ngoại  $H = 35,23 \text{ cm}$ , công suất hồng ngoại  $IP = 1750 \text{ W}$ , độ ẩm tương đối của không khí sấy  $\varphi = 15 \div 17\%$ , độ ẩm ban đầu của tôm thẻ  $W_1 = 70\%$ , độ ẩm cuối của tôm đạt  $W_2 = 20 \pm 1\%$  tương ứng với thời gian sấy ngắn đạt 2,753h, khả năng hút nước phục hồi cao nhất đạt 2,47 gVLA/gVLC và suất tiêu hao năng lượng nhỏ nhất đạt 12,54 kWh/kgH<sub>2</sub>O.

Chế độ sấy tối ưu và các mô hình toán thu được là cơ sở để dự đoán thời gian sấy, suất

tiêu hao năng lượng SEC, tỷ lệ hút nước phục hồi của tôm khô, ứng dụng trong tính toán thiết kế hệ thống sấy IR-HP với quy mô công nghiệp, sản xuất ra mặt hàng tôm thẻ khô đảm bảo chất lượng và vệ sinh an toàn thực phẩm và tiết kiệm năng lượng.

#### 4.2. Kiến nghị

Nghiên cứu xác định biến đổi thông số nhiệt vật lý của tôm thẻ theo nhiệt độ và thành phần hóa học từ đó có thể xác định chế độ sấy tôm bằng phương pháp mô phỏng quá trình truyền nhiệt, truyền chất.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

#### Tiếng Việt

1. Lê Như Chính, Nguyễn Nguyên An, Phạm Văn Tùy (2018), “Nghiên cứu ảnh hưởng của một số phương pháp sấy đến chất lượng tôm thẻ chân trắng khô xuất khẩu”, Tạp chí Năng lượng nhiệt, số 142, pp 16 -32.
2. Lê Như Chính, Không Trung Thắng, Nguyễn Công Tạo (2022), “Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình sấy bơ súp bằng bơm nhiệt kết hợp với bức xạ hồng ngoại”, Tạp chí Công nghiệp nông thôn- số 46, pp 45-54.
3. Lê Như Chính, Nguyễn Văn Phúc, Huỳnh Văn Thọ, Nguyễn nguyên An (2021), “Nghiên cứu chế tạo máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại để sấy nông sản và thủy sản”, Tạp chí KHCN thủy sản, số 1/2021, pp 19-25.
4. Đỗ Anh Tuấn, Nguyễn Hữu Thật, (2107), “Tối ưu hóa độ nhám bề mặt và bóc tách vật liệu trong phay thép SKD61 đã tôi bằng phương pháp Taguchi và mặt đáp ứng”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ - Số 14/ Tháng 6, pp 22-26.
5. Phạm Anh Tuấn, Vũ Thị Nga, Tạ Phương Thảo, Vũ Ngọc Dũng (2021), “Tối ưu hóa quá trình sấy ớt bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại”. Tạp chí Công nghiệp nông thôn, số 40/2021.
6. Mai Tuyết Nga, Nguyễn Thuần Anh, Trần Thị Mỹ Hạnh (2021). “Đánh giá và dự đoán chất lượng thủy sản bằng phương pháp cảm quan”, NXB Nông Nghiệp Hà Nội.

#### Tiếng Anh

7. Minitab, Inc. (2000), “MINITAB User’s Guide 2: Data Analysis and Quality TooTo”, Printed in the USA, ISBN 0-925636-44-4.
8. N.R. Nwakuba, O.C. Chukwuezie, G.U. Asonye and S.N. Asoegwu (2018), “Energy analysis and optimization of thin layer drying conditions of okra”, Innovation & Technologies for Sustainable Agricultural Production & Food Sufficiency, Vol. 14, pp 129-148.
9. Luo Lei, Kang Xinyan, Zhu Wenxue, Ren Guangyue, Duan Xu, Ji Qinghua, Zhang Kuan, Ma Yongzhe (2016), “Optimization of Far-Infrared Assisted Heat Pump Drying Parameters for Quality Control of Dried Honeysuckle”, Vol.37, pp 07-12.
10. R. Chakraborty, P. Mukhopadhyay, M. Bera a & S. Suman., (2011), “Infrared-Assisted Freeze Drying of Tiger Prawn”: Parameter Optimization and Quality Assessment. Drying Technology, Vol 29, pp 508–519.
11. Song Xiaoyong (2013). “Banana Chip Drying Using Far Infrared-Assisted Heat Pump”. The Philippine Agricultural Scientist” Vol. 96 No. 3, pp 275-281.

12. Song Xiaoyong, Cheng Luming (2014) “*Study of Iron Yam-Chip (Dioscorea opposita Thunb. cv. Tiegun) Dehydration Using Far-Infrared Radiation Assisted Heat Pump Drying*”. Journal of Food and Nutrition Research, 2015 3 (1), pp 20-25.
13. Quyết định Số: 46/2007/QĐ-BYT (2007) “*Quy định giới hạn tối đa ô nhiễm sinh học và hóa học trong thực phẩm*” của Bộ Y Tế Việt Nam.
14. <https://vasep.com.vn/san-pham-xuat-khau/tom/xuat-nhap-khau/xuat-khau-tom-nam-2022-duoc-du-bao-dai-thang-cao-hon-nam-truoc-it-nhat-10-25013.html> (Vasep Online, 2022, Xuất khẩu tôm năm 2022 được dự báo đại thắng, cao hơn năm trước ít nhất 10%), Truy cập ngày 2/9/2022.