

# JTST - JOURNAL OF TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY

MANUSCRIPT ID: JIST-2022-0009

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG SUẤT BỘ PHÁT SÓNG RADIO TRONG QUÁ TRÌNH SẤY CÀ RỐT BẰNG BƠM NHIỆT KẾT HỢP GIA NHIỆT BẰNG SÓNG RADIO

<b>Manuscript ID</b>	JIST-2022-0009
<b>Full title</b>	Nghiên Cứu Ảnh Hưởng Của Công Suất Bộ Phát Sóng Radio Trong Quá Trình Sấy Cà Rốt Bằng Bơm Nhiệt Kết Hợp Gia Nhiệt Bằng Sóng Radio
<b>Summary</b>	<p>Thực nghiệm sấy cà rốt theo hai phương pháp sấy bơm nhiệt và sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio (RF) ở cùng mức nhiệt độ tác nhân sấy (ta) 45oC và vận tốc tác nhân sấy (va) 2,5 m/s để nghiên cứu ảnh hưởng của công suất bộ phát sóng radio trong quá trình sấy cà rốt bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt với RF (HP + RF). Kết quả thực nghiệm cho thấy khi tăng công suất bộ phát RF (PRF) giúp cải thiện hiệu quả sấy đáng kể với thời gian sấy tại mức công suất 0,65 kW, 1,3 kW và 1,95 kW giảm tương ứng 23%, 31% và 38% so với mức công suất 0 kW. Trong đó mức công suất PRF = 0 kW tương ứng với phương pháp sấy chỉ sử dụng bơm nhiệt (HP). Bên cạnh đó, khi sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio sẽ giúp duy trì được màu sắc mùi vị của cà rốt tốt hơn, cà rốt gần như vẫn giữ được màu vàng cam ban đầu.</p>
<b>Research Topic</b>	Điện tử
<b>Keywords</b>	Sóng radio; sấy bơm nhiệt; cà rốt; thời gian sấy; công suất bộ phát sóng radio
<b>Authors</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hay Nguyễn, Email: , School: Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .</li><li>- Kiên Phạm Văn, Email: kien.pv@vlu.edu.vn, School: Trường Đại học Văn Lang , Faculty: .</li><li>- Sơn Đoàn Thanh, Email: , School: Trường Đại học Văn Lang , Faculty: .</li><li>- Đồng Đoàn Văn, Email: , School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .</li></ul>
<b>Corresponding author</b>	Kiên Phạm Văn, Email: kien.pv@vlu.edu.vn, School: Trường Đại học Văn Lang , Faculty: .
<b>Funding</b>	NO

# Nghiên cứu ảnh hưởng của công suất bộ phát sóng radio trong quá trình sấy cà rốt bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio

## Study of the effect of the radio frequency operator power in the carrot drying process by radio frequency assisted heat pump drying

Nguyễn Hay<sup>1</sup>, Phạm Văn Kiên<sup>2\*</sup>, Đoàn Thanh Sơn<sup>2</sup>, Đoàn Văn Đông<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Trường Đại học Văn Lang

<sup>3</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

\*Email liên hệ: kien.pv@vlu.edu.vn

### Tóm tắt:

Thực nghiệm sấy cà rốt theo hai phương pháp sấy bơm nhiệt và sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio (RF) ở cùng mức nhiệt độ tác nhân sấy ( $t_a$ ) 45°C và vận tốc tác nhân sấy ( $v_a$ ) 2,5 m/s để nghiên cứu ảnh hưởng của công suất bộ phát sóng radio trong quá trình sấy cà rốt bằng bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt với RF (HP + RF). Kết quả thực nghiệm cho thấy khi tăng công suất bộ phát RF ( $P_{RF}$ ) giúp cải thiện hiệu quả sấy đáng kể với thời gian sấy tại mức công suất 0,65 kW, 1,3 kW và 1,95 kW giảm tương ứng 23%, 31% và 38% so với mức công suất 0 kW. Trong đó mức công suất  $P_{RF} = 0$  kW tương ứng với phương pháp sấy chỉ sử dụng bơm nhiệt (HP). Bên cạnh đó, khi sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng sóng radio sẽ giúp duy trì được màu sắc mùi vị của cà rốt tốt hơn, cà rốt gần như vẫn giữ được màu vàng cam ban đầu.

**Từ khóa:** Sóng radio; sấy bơm nhiệt; cà rốt; thời gian sấy; công suất bộ phát sóng radio.

### Abstract:

The experimental drying of carrot was conducted by the heat pump drying (HP) method and radio frequency (RF) assisted heat pump drying method at the same drying air temperature ( $t_a$ ) of 45°C and drying air velocity ( $v_a$ ) of 2.5 m/s to study the effect of RF operator power in the carrot drying process by RF assisted heat pump drying (HP + RF) method. Experimental drying results showed that increasing the RF operator power ( $P_{RF}$ ) improved the drying efficiency significantly and the drying time at the RF operator power of 0.65 kW, 1.3 kW, and 1.95 kW was reduced by 23%, 31%, and 38% comparing with at power of 0 kW. In which, at RF operator power of 0 kW, only the HP drying method was used. Besides, in the radio frequency assisted heat pump drying method, the color and taste of carrot samples were maintained better and the carrot samples almost kept their original yellow-orange color.

**Keywords:** Radio frequency; heat pump drying; carrot; drying time; radio frequency operator power.

### 1. Giới thiệu

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. Nông sản, thực phẩm

sẽ kéo dài được thời gian bảo quản sau khi được sấy khô. Phương pháp sấy và các thông số sấy như nhiệt độ sấy, ẩm độ và vận tốc tác nhân sấy có ảnh hưởng rất lớn đến cấu trúc, chất lượng và thời gian

bảo quản sản phẩm sấy [1], [2]. Vì vậy, việc lựa chọn một phương pháp sấy phù hợp là hết sức quan trọng, không những cải thiện được hiệu quả quá trình sấy mà còn duy trì được chất lượng sản phẩm sấy cả về cảm quan và dinh dưỡng.

Hiện nay, trên thế giới và ở Việt Nam đã ứng dụng nhiều phương pháp sấy khác nhau cho nông sản, thực phẩm như 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 RF. Kỹ thuật sấy ứng dụng RF đã được rất nhiều nhà khoa học nghiên cứu và phát triển vì có các ưu điểm nổi bật như: Cơ chế gia nhiệt thể tích trên toàn bộ thể tích vật liệu sấy nên tốc độ gia nhiệt nhanh; nhiệt độ và ẩm độ phân bố đồng đều trên toàn bộ thể tích vật liệu sấy; 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 [3]. Wang và cộng sự [4] đã nghiên cứu thực nghiệm sấy hạt mắc ca bằng RF với kết quả cho thấy tốc độ sấy nhanh hơn, nhiệt độ và ẩm độ phân bố đều trên toàn bộ sản phẩm sấy. Wang và cộng sự [5] cũng đã nghiên cứu về hệ thống sấy quả hạnh nhân bằng không khí nóng kết hợp với năng lượng RF và kết quả cho thấy hiệu suất sấy cao, nhiệt độ sấy ổn định và đều trên toàn bộ vật liệu. Wang và cộng sự [6] nghiên cứu thêm việc so sánh hiệu quả sấy của hai phương pháp sấy hạt mắc ca trong đó sử dụng không khí nóng có kết hợp RF và không kết hợp RF. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi kết hợp với RF sẽ giúp giảm thời gian sấy đến 50% và chất lượng sản phẩm được cải thiện hơn đáng kể. Jiao và cộng sự [7] đã thực nghiệm sấy đậu phộng bằng không khí nóng kết hợp RF, với kết quả cho thấy RF giúp tăng hiệu suất sấy, cải thiện được chất lượng và tăng thời gian bảo quản sản phẩm sấy. Xu Zhou và Shaojin Wang [8] đã nghiên cứu về kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm ứng dụng sóng RF, trong đó, cơ chế gia nhiệt thể tích bằng sóng RF giúp cải thiện đáng kể tốc độ sấy và duy trì được chất lượng sản phẩm sấy tốt hơn cả về cảm quan và dinh dưỡng.

Cà rốt là một loại nông sản có giá trị dinh dưỡng cao giúp bồi bổ sức khỏe. Có thể nói là một trong số các loại rau củ thông dụng và phổ biến nhất hiện nay. Cà rốt có chứa hàm lượng cao  $\alpha$  và  $\beta$  caroten, biotin, kali, vitamin A (từ  $\beta$  carotene), K1 (phyllorquinone) và B6 [9], [10], [11]. Cà rốt có nhiều công dụng giúp tăng cường hệ thống miễn dịch, tăng cường sức khỏe của mắt, giúp giảm huyết áp và thúc đẩy tiêu hóa, có nhiều màu sắc khác nhau như vàng cam, đỏ, vàng, hay tím [12]. Giống như các loại rau củ khác, cà rốt có độ ẩm cao (khoảng 92%, w.b) nên rất dễ bị thối, hỏng sau thu hoạch [13]. Đã có nhiều nghiên cứu về phương pháp sấy cà rốt nhằm nâng cao hiệu quả sấy và chất lượng sản phẩm sấy. Mustafa Aktas và cộng sự đã thực nghiệm sấy cà rốt bằng bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng hồng ngoại. Kết quả thực nghiệm cho thấy phương pháp sấy kết hợp giúp tăng tốc độ sấy và giảm thời gian sấy đến 48% [14]. Raees-ul Haq và cộng sự đã thực nghiệm sấy cà rốt bởi đối lưu không khí nóng kết hợp tiên xử lý nhiệt bằng vi sóng. Kết quả cho thấy tiên xử lý nhiệt bằng vi sóng giúp tăng tốc độ sấy và giảm thời gian sấy đáng kể, đồng thời cà rốt giữ được màu sắc mùi vị tốt hơn [15]. Bengang Wu và cộng sự đã thực nghiệm sấy cà rốt bằng ba phương pháp sấy đối lưu không khí nóng kết hợp tiên xử lý nhiệt bằng sóng hồng ngoại, sấy bằng sóng hồng ngoại và sấy đối lưu không khí nóng kết hợp sóng hồng ngoại. Kết quả cho thấy sấy đối lưu không khí nóng kết hợp tiên xử lý nhiệt bằng sóng hồng ngoại và sấy đối lưu không khí nóng kết hợp sóng hồng ngoại giúp tăng tốc độ sấy và sản phẩm sấy đạt chất lượng cao hơn so với chỉ sấy bằng hồng ngoại [16].

Hầu như chưa có công trình nghiên cứu nào về sấy cà rốt bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp 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 chất dinh dưỡng, đồng thời có thể giữ lại được mùi vị, màu sắc đặc trưng của cà rốt. Cơ chế gia nhiệt bằng RF sẽ giúp tăng tốc độ gia nhiệt, giúp cho quá trình khuếch

tán ẩm diễn ra nhanh hơn trong quá trình sấy và rút ngắn thời gian sấy. Mục tiêu của nghiên cứu là thực nghiệm sấy cà rốt theo hai phương pháp sấy bơm nhiệt và sấy bơm nhiệt kết hợp gia nhiệt bằng RF để đánh giá mức độ ảnh hưởng của công suất bộ phát RF đến hiệu quả quá trình sấy cà rốt. Trong đó thông số thời gian sấy và màu sắc của vật liệu sấy được xem xét.

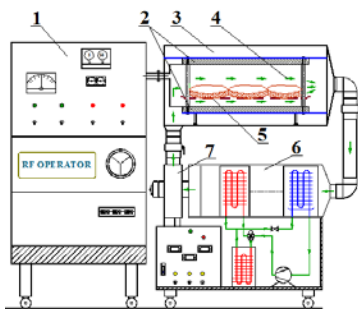
## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu

Cà rốt sử dụng trong nghiên cứu là loại cà rốt tươi màu vàng cam có kích thước dài 18 - 22 cm, đường kính 2,5 - 3,0 cm được mua tại chợ Đầu mồi Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh. Cà rốt sau khi mua về được cắt bỏ phần gốc, rửa sạch và thái lát dày 05 mm. Cà rốt có ẩm độ ban đầu là  $92 \pm 0,1$  % cơ sở ướt (% , w.b). Khối lượng cà rốt dùng cho mỗi mẻ sấy là 03 kg.

### 2.2. Phương pháp thực nghiệm

Thiết bị thực nghiệm sấy cà rốt được sử dụng là máy sấy bơm nhiệt kết hợp với RF. Máy sấy được tính toán thiết kế và chế tạo bao gồm bộ phát RF và bộ bơm nhiệt. Trong đó, bộ bơm nhiệt có công suất lớn nhất 0,75 kW, bộ phát RF hoạt động với tần số 27 MHz có công suất lớn nhất 5kW [17]. Sơ đồ mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp RF được trình bày như trong hình 1. Trong đó, tác nhân sấy (TNS) (không khí) được bơm hút và đi qua bộ bơm nhiệt. Sau đó, TNS sẽ có nhiệt độ, ẩm độ và vận tốc xác định. Tác nhân sấy lại tiếp tục đi vào buồng sấy, tại đây TNS sẽ kết hợp với sóng RF do bộ phát sóng RF phát ra để thực hiện quá trình sấy cà rốt.



**Hình 1.** Sơ đồ mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp RF.

Trong đó, 1-bộ phát RF; 2-bản điện cực RF; 3-buồng sấy; 4-hướng TNS; 5-khay sấy; 6-bộ bơm nhiệt; 7-quạt hút TNS.

Thực nghiệm sấy cà rốt được thực hiện với vận tốc TNS:  $v_a = 2,5$  m/s, nhiệt độ TNS:  $t_a = 45^\circ\text{C}$ , và công suất bộ phát  $P_{RF} = 0; 0,65; 1,3$  và  $1,95$  kW.

Độ chứa ẩm ban đầu của VLS được xác định bằng cân sấy ẩm (DBS 60-3 model; khối lượng mẫu phân tích lớn nhất:  $60 \text{ g} \pm 0.01\%$ ; khoảng ẩm độ phân tích: 0 - 100%).

Cân điện tử (Electronic scale – GS-6202) với giá trị đo tiêu chuẩn là  $6000 \pm 0,01$  g để cân khối lượng vật liệu mẫu nhằm xác định độ chứa ẩm trung bình của vật liệu sấy (VLS) trong quá trình sấy. Quá trình cân khối lượng được thực hiện thường xuyên cứ 30 phút một lần trong suốt quá trình sấy cho đến khi độ ẩm VLS đạt giá trị  $11 \pm 0,1$  (% , w.b). Càng về cuối quá trình sấy, thời gian cân khối lượng mẫu sẽ giảm xuống 20 phút và 10 phút một lần. Mỗi chế độ thực nghiệm sấy được thực hiện lặp lại ba lần.

Màu sắc của sản phẩm sấy được đo bằng máy đo màu Minolta CR-200. Máy đo màu hiển thị ba cường độ ánh sáng phản xạ tương ứng các giá trị màu Lab. Sự thay đổi về màu sắc chung được thể hiện bằng chỉ số thay đổi màu chung  $\Delta E^*$  được xác định theo công thức (1).

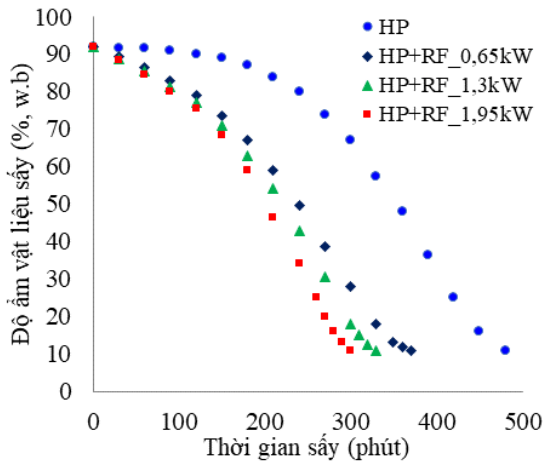
$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

Trong đó, các thông số  $L$ ,  $a$  và  $b$  trong công thức (1) được trình bày cụ thể tại mục 3.2.

## 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

### 3.1. Ảnh hưởng của công suất bộ phát RF đến thời gian sấy

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa sự thay đổi độ ẩm VLS theo thời gian trong quá trình sấy cà rốt bằng bơm nhiệt kết hợp RF được thể hiện như trong hình 2.



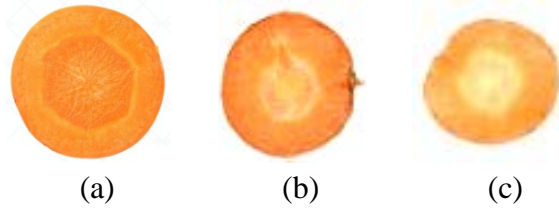
**Hình 2.** Đường cong sấy tương ứng với chế độ sấy xét đến ảnh hưởng của công suất bộ phát RF.

Kết quả đường cong sấy tại hình 2 cho thấy xu hướng giảm ẩm của cà rốt trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF tương ứng với các chế độ sấy là tương đối giống nhau. Có thể 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 RF nhiều hơn, 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 RF đối với các loại nông sản được nghiên cứu bởi các tác giả trước đây [18], [19]. 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 ẩm của cà rốt đạt 11 (% w.b) là 480 phút. Tại mức công suất 0,65; 1,3 và 1,95 kW, thời gian sấy tương ứng là 370, 330 và 300 phút, giảm 23%, 31% và 38% so với chỉ sấy bằng bơm nhiệt. Chứng tỏ khi kết hợp bơm nhiệt và 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 RF.

### 3.2. Ảnh hưởng của công suất bộ phát RF đến màu sắc của vật liệu sấy

Đánh giá về sự thay đổi màu sắc của cà rốt trước và sau khi sấy được thực hiện trên máy đo màu X-rite theo thang màu CIE Lab. Giá trị  $L$  đặc trưng

cho màu sáng thay đổi trong khoảng từ 0 (màu đen) đến 100 (màu trắng); giá trị  $a$  thay đổi trong khoảng từ 0 đến 60 (các mức độ màu đỏ) hoặc từ 0 đến -60 (các mức độ màu xanh dương); giá trị  $b$  thay đổi trong khoảng từ 0 đến 60 (các mức độ màu vàng) hoặc từ 0 đến -60 (các mức độ màu xanh lá cây). Sự thay đổi màu của cà rốt tương ứng với các chế độ sấy được thể hiện như trong bảng 1. Các mẫu thực nghiệm cà rốt trước và sau khi sấy như trong hình 3.



**Hình 3.** Các mẫu thực nghiệm cà rốt trước khi sấy (a), sau khi sấy bằng HP + RF (b) và sấy bằng HP (c).

Kết quả bảng 1 cho thấy khi sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF thì tất cả các chỉ số thay đổi màu  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  và  $\Delta E^*$  đều nhỏ hơn đáng kể so với phương pháp chỉ sấy bằng bơm nhiệt. Khi tăng công suất bộ phát RF, giá trị các chỉ số thay đổi màu sẽ giảm. Điều này chứng tỏ cà rốt duy trì được màu sắc tốt hơn tại mức công suất cao hơn. Chỉ số thay đổi màu chung  $\Delta E^*$  đạt giá trị 13,52 đối với chỉ sấy bằng bơm nhiệt và khi tăng công suất bộ phát RF lên 0,65 kW; 1,3 kW và 1,95 kW thì giá trị  $\Delta E^*$  giảm tương ứng là 9,22; 8,72 và 8,21. Bên cạnh đó, màu sắc của cà rốt thay đổi chủ yếu là do sự mất màu đỏ và màu vàng khi sấy, ứng với giá trị  $\Delta a^*$  và  $\Delta b^*$  tăng lên. Trong khi đó, giá trị  $\Delta a^*$  và  $\Delta b^*$  tương ứng với các chế độ sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF nhỏ hơn rất nhiều so với chỉ sấy bằng bơm nhiệt, chứng tỏ khi sấy bơm nhiệt kết hợp RF đã giữ lại được màu sắc của cà rốt rất tốt. Hình 3 cho thấy khi sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF cà rốt vẫn duy trì được màu gần giống màu vàng cam ban đầu và bề mặt sản phẩm sấy hầu như không bị cong vênh và nứt gãy.

**Bảng 1.** Giá trị màu của cà rốt tương ứng với các chế độ sấy.

Chế độ sấy	Chỉ số thay đổi màu			
	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
Sấy bơm nhiệt (PRF = 0 kW)	10,62	5,47	6,33	13,52 <sup>a</sup>
Sấy bơm nhiệt kết hợp RF (PRF = 0,65 kW)	7,91	2,98	3,69	9,22 <sup>b</sup>
Sấy bơm nhiệt kết hợp RF (PRF = 1.3 kW)	7,6	2,65	3,35	8,72 <sup>c</sup>
Sấy bơm nhiệt kết hợp RF (PRF = 1.95 kW)	7,27	2,35	2,99	8,21 <sup>d</sup>

Các ký hiệu chữ khác nhau trên cùng một cột: sai khác có ý nghĩa ở mức 0,05.

#### 4. Kết luận

Thực nghiệm sấy cà rốt với hai phương pháp sấy bằng bơm nhiệt và sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF, kết quả cho thấy rằng phương pháp sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF có nhiều ưu điểm hơn so với phương pháp chỉ sấy bằng bơm nhiệt như rút ngắn thời gian sấy, duy trì được màu sắc của sản phẩm sấy tốt hơn. Khi tăng công suất bộ phát RF giúp tăng hiệu quả quá trình sấy đáng kể cả về tốc độ sấy và chất lượng sản phẩm sấy. Dựa trên kết quả nghiên cứu đạt được, phương pháp sấy bằng bơm nhiệt kết hợp RF nếu được ứng dụng sấy các loại nông sản khác như khoai tây, khoai lang, củ dền và củ cải thì có thể rút ngắn thời gian sấy và duy trì được chất lượng sản phẩm sấy cả về dinh dưỡng và cảm quan.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] S. Singh, R. R. Rai., M. Rai; “Osmo-air drying of bitter gourd (*Momordica charantia*) slices”. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 2008; 45:501–505.
- [2] I. L. Pardeshi, S. Arora, P. A. Borker; “Thin-Layer Drying of Green Peas and Selection of a Suitable Thin-Layer Drying Model”. *Drying Technology*. 2009; 27 (2):288–295. DOI: 10.1080/07373930802606451.
- [3] Y. Jiao, J. Tang, Y. Wang, T. L. Koral; “Radio-Frequency Applications for Food Processing and Safety”. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2018; 9:105 - 127. DOI: 10.1146/annurev-food-041715-033038.
- [4] Y. Wang, L. Zhang, M. Gao, J. Tang, S. Wang; “Temperature- and Moisture-Dependent Dielectric Properties of Macadamia Nut Kernels”. *Food and Bioprocess Technology*. 2012; 6: 2165 – 2176. DOI: 10.1007/s11947-012-0898-2.
- [5] Y. Wang et al.; “Developing Hot air assisted Radio frequency drying for in-Shell Macadamia Nut”. *J. Food Bioprocess Technol*. 2014; 7: 278–288. DOI: 10.1007/s11947-013-1055-2.
- [6] Y. Wang et al.; “Pilot-scale radio frequency drying of macadamia nuts: heating and drying uniformity”. *Drying Technology*. 2014; 32(9): 1052–1059. DOI: 10.1080/07373937.2014.881848.
- [7] S. Jiao, D. Zhu, Y. Deng, Y. Zhao; “Effects of Hot Air-assisted Radio Frequency Heating on Quality and Shelf-life of Roasted Peanuts”. *Food and Bioprocess Technology*. 2016; 9(2): 308–319. DOI: 10.1007/s11947-015-1624-7.
- [8] X. Zhou, S. Wang. “Recent developments in radio frequency drying of food and agricultural products: A review”. *Drying Technology*. 2018; 37(11):1-16. DOI: 10.1080/07373937.2018.1452255.
- [9] T. van Vliet, F. van Schaik, W.H.P. Schreurs, H.M. van den Berg., “In vitro measurement of  $\beta$ -carotene cleavage activity: Methodological considerations and the effect of other carotenoids on  $\beta$ -carotene cleavage”. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 1996; 66 (1):77–85.

- [10] G. Sumnu, E. Turabi, M. H. Oztop; “Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens”. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2005; 38 (5):549–553. DOI: 10.1016/j.lwt.2004.07.006.
- [11] M. Zielinska, M. Markowski; “Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots”, *Chemical Engineering and Processing*. 2010; 49 (2):212–218. DOI: 10.1016/j.cep.2009.12.005.
- [12] K. Prasad et al., “Chapter 4: Carrot secondary metabolites and their prospective health benefits”, in *Plant Secondary Metabolites-Stimulation, Extraction, and Utilization (vol 2)*. USA: Apple Academic Press; 2016.
- [13] R. ul H. Wani, K. Prasad; “Nutritional and processing aspects of carrot (*Daucus carota*)-A review”. *South Asian Journal Food Technology Environment* 2015; 1 (1):1–14. DOI: 10.46370/sajfte.2015.v01i01.01.
- [14] M. Aktaş, A. Khanlari, A. Amini, S. Şevik; “Performance analysis of heat pump and infrared–heat pump drying of grated carrot using energy exergy methodology”. *Energy Conversion and Management*. 2017; 132:327–338. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.11.027.
- [15] R. ul H. Wani, P. Kumar, K. Prasad; “Effect of microwave treatment on dehydration kinetics and moisture diffusivity of Asiatic Himalayan Black Carrot”. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2016; 17 (4):463–470. DOI: 10.1016/j.jssas.2016.11.004.
- [16] B. Wu et al.; “Drying Performance and Product Quality of Sliced Carrots by Infrared Blanching Followed by Different Drying Methods”. *International Journal of Food Engineering*. 2018; 14(5-6):335-341. DOI: 10.1515/ijfe-2017-0384.
- [17] N. Hay, P. V. Kien, L. A. Duc; “Study on designing and manufacturing a Radio frequency generator using in drying technology”. In *Proc. 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development*; 23 - 24 November, 2018; Ho Chi Minh City, Vietnam. IEEE; 2018. pp. 416 – 422. DOI: 10.1109/GTSD.2018.8595618.
- [18] L. Houa, B. Ling, S. Wang. “Development of thermal treatment protocol for disinfesting chestnuts using radio frequency energy”. *Postharvest Biology and Technology*. 2014; 98:65 – 71. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2014.07.007.
- [19] S. Ozturk, F. Kong, R. K. Singh, J. D. Kuzy, C. Li; “Radio frequency heating of corn flour: Heating rate and uniformity”. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017; 44:191 – 241. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.05.001.

**Ngày nhận bài: 07/09/2021**

**Ngày chuyển phản biện: 10/09/2021**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 01/10/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 08/10/2021**