

# NGHIÊN CỨU SẤY CÀ RỐT BẰNG MÁY SẤY BƠM NHIỆT KIỂU THÙNG QUAY

Võ Mạnh Duy<sup>1</sup> và Lê Chí Hiệp<sup>2</sup>

## ABSTRACT

*This paper presents the results on designing, manufacturing and testing a model of combining heat pump and rotary drum dryer. The experimental results showed that carrots were dried at drying temperature of 40°C, drying air velocity of 2.5 m/s, drum rotation speed of 15 rpm, raw product mass of 4.5 kg, the dryer gets the high performance, more effective and stable working; the nature colour of dried products were kept better than some common drying methods.*

**Keywords:** Heat pump dryer, rotary drum dryer, food drying, agricultural products drying

**Title:** Study on drying of carrots in a combining heat pump and rotary drum dryer

## TÓM TẮT

*Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm mô hình sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay. Các kết quả khảo nghiệm cho thấy cà rốt sấy ở chế độ: nhiệt độ sấy 40°C, vận tốc tác nhân sấy 2,5 m/s, số vòng quay 15 vòng/phút, khối lượng sấy ban đầu 4,5 kg hệ thống sấy đạt hiệu suất tách ẩm cao, làm việc ổn định và hiệu quả hơn; sản phẩm sấy giữ được màu sắc tốt hơn so với các phương pháp sấy thông thường.*

**Từ khóa:** Sấy bơm nhiệt, sấy thùng quay, sấy nông sản thực phẩm

## 1 GIỚI THIỆU

Qua các kết quả nghiên cứu và ứng dụng về công nghệ sấy bơm nhiệt cho thấy phương pháp sấy này có nhiều ưu điểm nổi bật là các sản phẩm sau khi sấy vẫn giữ được màu sắc tự nhiên, chất lượng sản phẩm sấy tốt đồng thời tiết kiệm năng lượng hơn so với phương pháp sấy không khí nóng dùng điện trở [1-4]. Công nghệ này không chỉ thích hợp với các loại vật liệu sấy nhạy cảm nhiệt mà còn có khả năng ứng dụng rộng rãi trong điều kiện khí hậu nóng ẩm như Việt Nam, mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật cao. Tuy nhiên, các nghiên cứu về sấy bơm nhiệt thường chỉ tập trung vào phương pháp sấy tĩnh mà chưa thấy quan tâm nghiên cứu nhiều đến việc kết hợp với các phương pháp sấy động như: sấy thùng quay, sấy băng tải, sấy tầng sôi, sấy phun... Mục đích của phương pháp sấy động là làm vật liệu sấy chuyển động trong buồng sấy để tăng khả năng tiếp xúc với tác nhân sấy, do đó trao đổi nhiệt mạnh, tăng hiệu suất của quá trình sấy, tốc độ sấy nhanh, tiết kiệm năng lượng và đảm bảo độ đồng đều của sản phẩm cao. Do đó, việc nghiên cứu tìm ra một phương pháp sấy kết hợp bơm nhiệt với các phương pháp sấy khác là rất cần thiết.

<sup>1</sup> Khoa Công Nghệ, Trường Đại Học Cần Thơ

<sup>2</sup> Khoa Cơ Khí, Trường Đại Học Bách Khoa TP. HCM

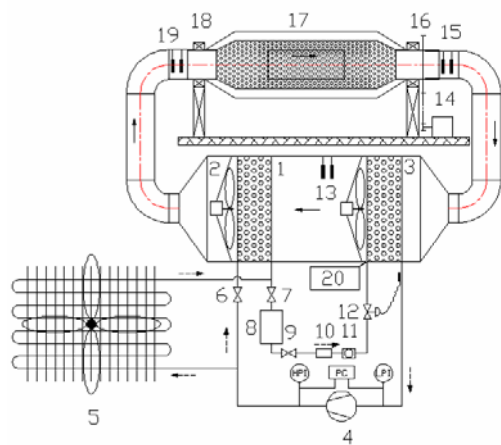
# 1 THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

## 1.1 Thiết bị nghiên cứu

Thiết bị nghiên cứu là mô hình hệ thống sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay hình 1.

### 1.1.1 Cấu tạo

- Thùng sấy: dạng hình trụ tròn nằm ngang làm bằng inox có đường kính 0,25m và chiều dài 0,8m. Bên trong thùng có lắp đôi xúng 4 cánh đảo liệu. Thùng sấy được truyền động nhờ động cơ điện có hộp giảm tốc công suất 200W, 3PH/220V.
- Hệ thống bơm nhiệt: Máy nén lạnh 2,5 HP; diện tích trao đổi nhiệt dàn bay hơi 12 m<sup>2</sup>; diện tích trao đổi nhiệt dàn ngưng tụ trong 12 m<sup>2</sup>; diện tích trao đổi nhiệt dàn ngưng tụ ngoài 18 m<sup>2</sup>.
- Quạt hệ thống sấy: quạt hút (hướng trục) công suất 150W.
- Hệ thống còn trang bị thiết bị điều khiển tự động nhiệt độ trước buồng sấy; thiết bị đo và điều khiển số vòng quay thùng sấy.



- > Tác nhân sấy
- > Môi chất lạnh

1. dàn ngưng tụ trong; 2. quạt; 3. dàn bay hơi; 4. máy nén; 5. dàn ngưng tụ ngoài; 6, 7, 9. van chặn; 8. bình chứa cao áp; 10. phin lọc; 11. kính xem ga; 12. van tiết lưu nhiệt; 13, 15, 19. cảm biến nhiệt độ và độ ẩm; 14. động cơ điện (có hộp giảm tốc); 16. bộ truyền động xích; 17. thùng sấy; 18. ổ đỡ; 20. máng nước ngưng.

**Hình 1: Sơ đồ nguyên lý và mô hình hệ thống sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay**

### 1.1.2 Nguyên lý hoạt động

Không khí ban đầu (không khí ngoài trời) được quạt 2 hút qua dàn bay hơi 3 để làm lạnh và tách một phần hơi nước trong không khí ra ngoài qua máng hứng nước ngưng 20. Sau đó, không khí được thổi qua dàn ngưng tụ trong 1 để gia nhiệt và làm khô không khí đến độ ẩm cần thiết trước khi đưa vào thùng sấy 17. Vật liệu sấy đặt trong thùng sấy quay tròn nhờ một động cơ điện 14 thông qua bộ truyền động xích 16, vì thế vật liệu sấy được xáo trộn nhờ các cánh đảo. Trong quá trình này, không khí có nhiệt độ thấp và độ ẩm thấp trao đổi nhiệt ẩm với vật liệu sấy chuyển động trong thùng sấy, vì thế ẩm từ vật liệu sấy được tách ra nhanh và đồng đều hơn. Không khí ra khỏi buồng sấy được hoàn lưu toàn phần về dàn bay hơi và tiếp tục thực hiện quá trình sấy kín.

Nhiệt độ tác nhân sấy trước buồng sấy được điều khiển theo yêu cầu nhờ vào việc tắt, mở quạt dàn ngưng tụ ngoài 5. Khi nhiệt độ sấy chưa đạt yêu cầu thì quạt tắt và sau khi đạt nhiệt độ thì quạt sẽ mở.

## 1.2 Phương pháp nghiên cứu

### 1.2.1 Quy trình thí nghiệm

Cà rốt tươi sau khi mua ở chợ Cần Thơ, cắt bỏ phần gốc, ngọn, gọt vỏ, rửa sạch, rồi bào sợi với đường kính 3 mm. Sau đó, đem chần trong nước nóng ở nhiệt độ 80°C, với thời gian 3 phút, rồi để ráo nước. Đo độ ẩm của sản phẩm ban đầu. Cân khối lượng trước khi đưa vào thùng sấy. Khởi động hệ thống sấy bơm nhiệt và tiến hành thí nghiệm.

Thí nghiệm được thực hiện với khối lượng cà rốt ban đầu là 3 kg. Tiến hành sấy từ độ ẩm đầu khoảng 92% đến độ ẩm cuối khoảng 10% ở cùng một vận tốc tác nhân sấy 2,5 m/s ở các chế độ sấy khác nhau bằng cách thay đổi các thông số: nhiệt độ tác nhân sấy (35 ÷ 45°C) và số vòng quay của thùng sấy (5 ÷ 20 vòng/phút).

### 1.2.2 Phương pháp lấy số liệu

#### a. Xác định độ ẩm vật liệu sấy

- Độ ẩm vật liệu sấy  $\omega_a$  được đo bằng máy phân tích ẩm MX - 50 theo cơ sở ướt:

$$\omega_a = \frac{G_a}{G} \cdot 100\% = \frac{G_a}{G_k + G_a} \cdot 100\% \quad (1)$$

trong đó:

$G_a$ : khối lượng nước chứa trong vật liệu ẩm, kg

$G = G_a + G_k$ : khối lượng của toàn bộ vật liệu ẩm, kg

- Độ ẩm được đo sau mỗi giờ cho đến khi kết thúc quá trình sấy.

#### b. Xác định lượng tách ẩm riêng SMER

Lượng tách ẩm riêng được tính theo công thức:

$$SMER = \left( \frac{G_1 - G_1 \left( \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \right)}{E} \right), \text{ kgH}_2\text{O} / \text{kWh} \quad (2)$$

trong đó:

$\omega_1$ : độ ẩm ban đầu của vật liệu sấy, %

$\omega_2$ : độ ẩm cuối của vật liệu sấy, %

$G_1$ : khối lượng vật liệu sấy ban đầu, kg

E: tổng điện năng tiêu hao, kWh

### c. Xác định màu sắc của sản phẩm sấy

Màu sắc của sản phẩm sấy được đo bằng máy đo màu Minolta CR-200. Máy đo màu cung cấp một sự kết hợp toán học của ba cường độ ánh sáng phản xạ tương ứng các giá trị màu Lab:

- L biểu thị độ sáng: 0 cho màu đen và 100 cho màu trắng.

- a xác định vị trí giữa xanh lá cây và đỏ: mang giá trị âm chỉ màu xanh lá cây, mang giá trị dương chỉ màu đỏ.

- b xác định vị trí giữa xanh dương và vàng: giá trị âm và dương tương ứng với màu xanh dương và vàng.

Màu sắc ban đầu của vật liệu sấy được đo một lần thể hiện qua chỉ số  $L_0$ ,  $a_0$  và  $b_0$ . Mẫu sau khi sấy được đo màu 3 lần ứng với 3 vị trí khác nhau thể hiện qua các chỉ số  $L^*$ ,  $a^*$  và  $b^*$ . Sự thay đổi màu của vật liệu sấy đánh giá bằng các chỉ số:

$$\Delta L^* = L_0 - L^*$$

$$\Delta a^* = a_0 - a^*$$

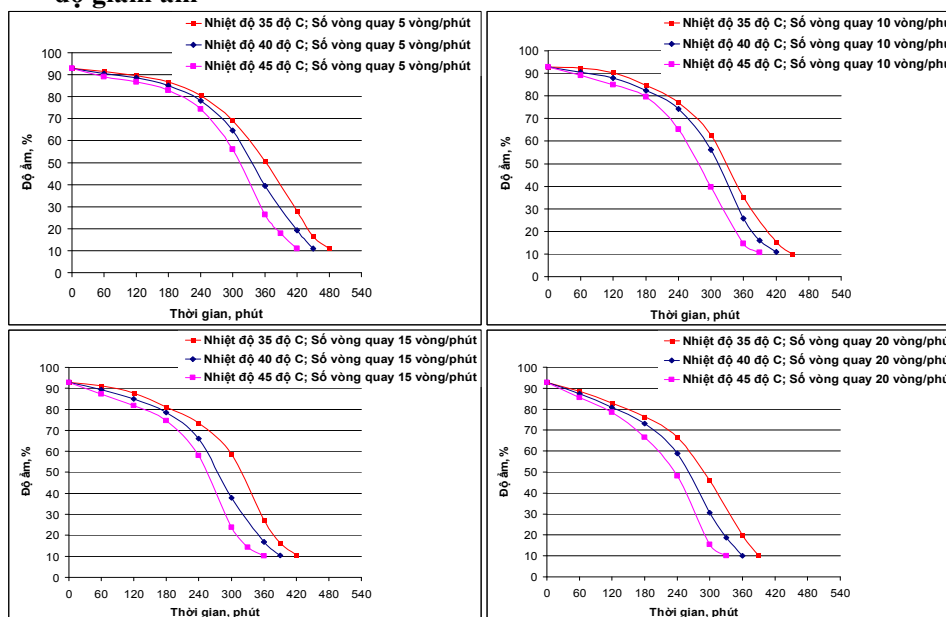
$$\Delta b^* = b_0 - b^*$$

Thay đổi về màu sắc chung được thể hiện bằng chỉ số  $\Delta E^*$ :

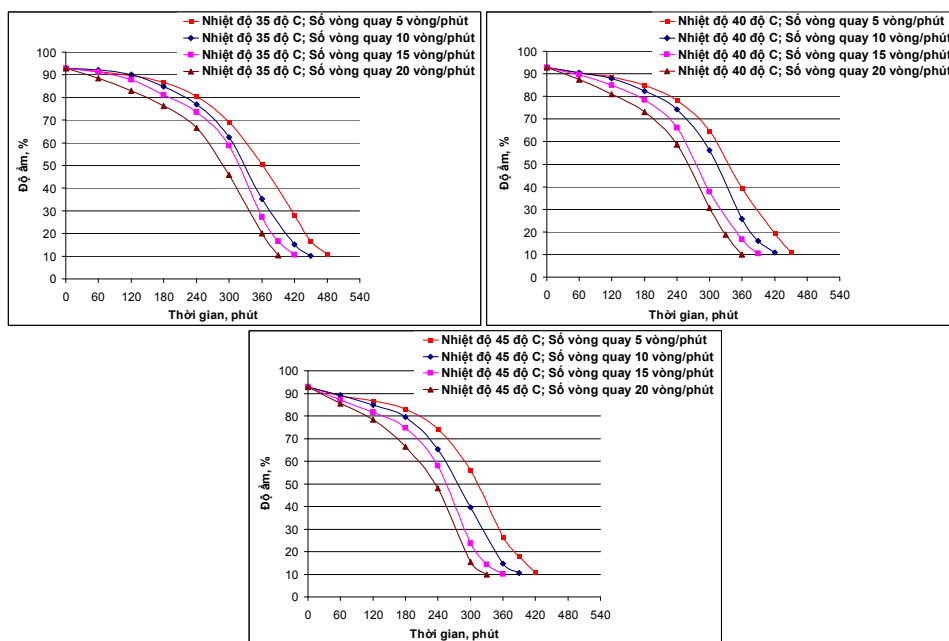
$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3)$$

## 2 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 2.1 Đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và số vòng quay thùng sấy đến tốc độ giảm ẩm



Hình 2: Ảnh hưởng của nhiệt độ TNS đến tốc độ giảm ẩm



**Hình 3: Ảnh hưởng của số vòng quay thùng sấy đến tốc độ giảm ẩm**

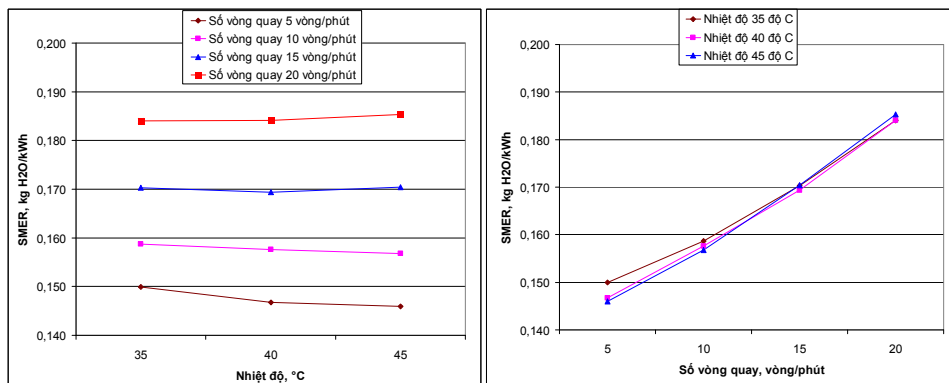
Từ kết quả nghiên cứu trên hình 2 và hình 3 cho thấy:

- Ở cùng số vòng quay, tốc độ sấy tăng khi tăng nhiệt độ sấy. Khi nhiệt độ sấy tăng thêm 5<sup>0</sup>C thì thời gian sấy được rút ngắn khoảng 30 phút.

- Ở cùng nhiệt độ sấy, khi tăng số vòng quay của thùng sấy lên thì tốc độ giảm ẩm tăng theo. Khi số vòng quay tăng thêm 5 vòng/phút thì thời gian sấy cũng được rút ngắn khoảng 30 phút.

- Tốc độ giảm ẩm đạt cao nhất ở nhiệt độ sấy 45<sup>0</sup>C và số vòng quay của thùng sấy 20 vòng/phút.

## 2.2 Đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và số vòng quay thùng sấy đến lượng tách ẩm riêng SMER



**Hình 4: Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và số vòng quay thùng sấy đến SMER**

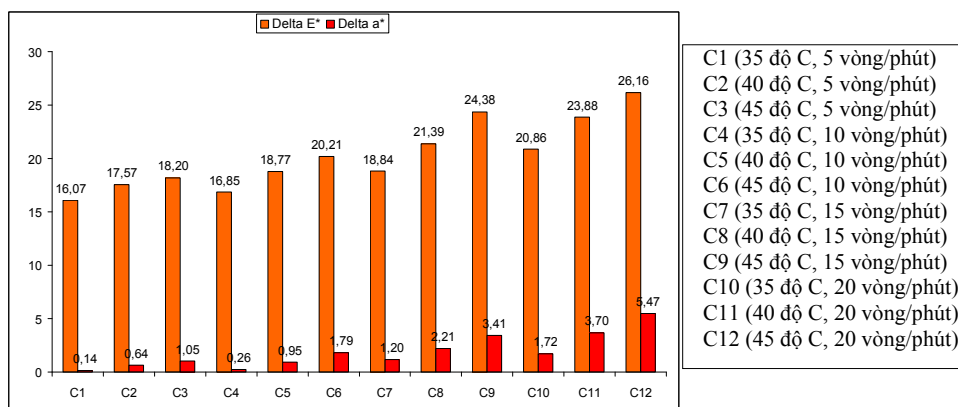
Từ kết quả nghiên cứu trên Hình 4 cho thấy:

- Ở cùng số vòng quay, khi tăng nhiệt độ TNS thì lượng tách ẩm riêng SMER gần như không đổi. Bởi vì khi nhiệt độ sấy tăng thì cường độ dòng điện qua máy nén tăng tức tiêu hao nhiều năng lượng hơn nhưng thời gian sấy được rút ngắn hơn nên tổng điện năng tiêu hao cho quá trình sấy gần bằng nhau vì thế SMER không đổi.

- Ở cùng nhiệt độ sấy, SMER tăng khi tăng số vòng quay của thùng sấy. Bởi vì khi tăng số vòng quay thì lượng ẩm được tách ra từ vật liệu sấy nhanh do vật liệu sấy được tiếp xúc với tác nhân sấy nhiều và được hòa trộn đồng đều hơn nên thời gian sấy ngắn, điện năng tiêu hao ít hơn nên SMER tăng.

### 2.3 Đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và số vòng quay thùng sấy đến màu sắc sản phẩm sấy

Bên cạnh chỉ tiêu về hiệu suất tách ẩm của máy sấy hay tổng lượng điện năng tiêu hao cho quá trình sấy thì hiệu quả làm việc của máy sấy cần được đánh giá qua chỉ tiêu chất lượng sản phẩm sấy. Tuy nhiên, bài viết chỉ đề cập đến sự thay đổi màu sắc sản phẩm sau khi sấy. Từ kết quả phân tích màu sắc ta có thể đánh giá sơ bộ chất lượng cảm quan của sản phẩm sấy.



Hình 5: Sự thay đổi chỉ số  $\Delta a^*$  và  $\Delta E^*$  ở các chế độ sấy

Từ kết quả nghiên cứu trên Hình 5 cho thấy sự thay đổi màu sắc của cà rốt có xu hướng tăng khi tăng nhiệt độ sấy và số vòng quay. Màu sắc của cà rốt thay đổi chủ yếu là do sự mất màu đỏ của cà rốt sau khi sấy, ứng với giá trị  $\Delta a^*$  tăng lên. Chỉ số  $\Delta a^*$  thấp nhất là 0,14 và cao nhất là 5,47 tương ứng với chế độ sấy C1 (nhiệt độ sấy 35°C; số vòng quay 5 vòng/phút) và C12 (nhiệt độ sấy 45°C; số vòng quay 20 vòng/phút). Tuy nhiên, sự thay đổi này vẫn còn thấp hay nói cách khác màu sắc của cà rốt vẫn được giữ tốt hơn so với một số phương pháp sấy khác.

Bảng 1. So sánh chỉ số  $\Delta a^*$  của cà rốt sau khi sấy với một số phương pháp sấy khác

| Phương pháp sấy | Sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay | Sấy chân không kết hợp không khí nóng | Sấy chân không kết hợp vi sóng | Sấy không khí nóng đối lưu |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| $\Delta a^*$    | 5,47                          | 6,54                                  | 8,76                           | 10,15                      |

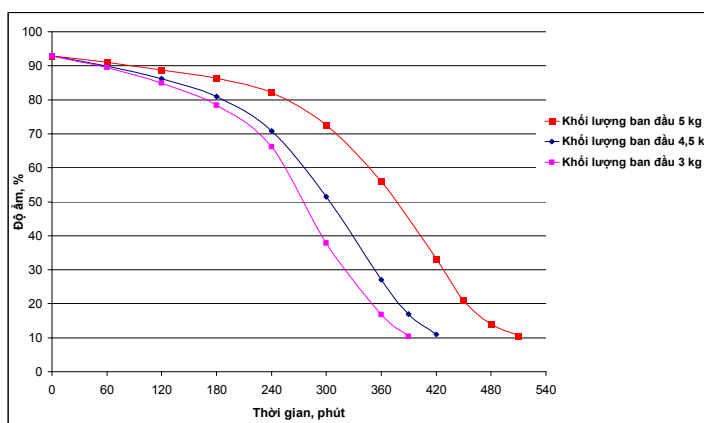
## 2.4 Xác định năng suất sấy tối ưu của mô hình

Phân tích chọn chế độ sấy tối ưu:

- Qua kết quả phân tích về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy ở trên cho thấy nhiệt độ sấy  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  và  $45^{\circ}\text{C}$  đều đạt được hiệu suất sấy gần bằng nhau và đều giữ được màu sắc sản phẩm tốt. Tuy nhiên, nhiệt độ sấy  $40^{\circ}\text{C}$  là tối ưu nhất vì khi sấy ở nhiệt độ  $40^{\circ}\text{C}$  thì hệ thống bơm nhiệt vận hành ổn định, an toàn và hiệu quả hơn.

- Qua kết quả phân tích về ảnh hưởng của số vòng quay của thùng sấy ở trên cho thấy khi tăng số vòng quay từ 5 đến 20 vòng/phút thì hiệu suất sấy có xu hướng tăng lên tương ứng và sự biến đổi màu sắc cũng tăng nhưng đều đạt được chất lượng màu sắc tốt. Tuy nhiên, ở số vòng quay 20 vòng/phút thì sản phẩm sấy bị biến dạng, mềm hơn do vật liệu sấy bị va đập cơ học nhiều với bề mặt thùng sấy. Vì thế, chọn số vòng quay 15 vòng/phút là hợp lý nhất.

Kết quả thí nghiệm sấy ở nhiệt độ  $40^{\circ}\text{C}$ , số vòng quay 15 vòng/phút và vận tốc tác nhân sấy 2,5 m/s ở các khối lượng sấy ban đầu khác nhau.



Hình 6: Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu sấy ban đầu đến tốc độ giảm ẩm

Kết quả trên Hình 6 cho thấy năng suất sấy tối ưu của mô hình đạt khoảng 4,5 kg/m<sup>2</sup>.

## 3 KẾT LUẬN

Mô hình sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay đã được nghiên cứu tính toán, thiết kế, chế tạo và đưa vào khảo nghiệm đã đáp ứng được các yêu cầu đặt ra và cho kết quả đáng tin cậy.

Qua kết quả nghiên cứu sấy cà rốt cho thấy ở nhiệt độ sấy  $40^{\circ}\text{C}$ , vận tốc tác nhân sấy 2,5 m/s, số vòng quay 15 vòng/phút, khối lượng sấy ban đầu 4,5 kg mô hình đạt hiệu suất tách ẩm cao, vận hành ổn định và hiệu quả hơn; sản phẩm sấy giữ được màu sắc, mùi vị, thành phần dinh dưỡng, hình dạng tốt hơn so với các phương pháp sấy thông thường.

Mô hình sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay là tiền đề quan trọng cho việc nghiên cứu, ứng dụng sấy các loại nông sản - thực phẩm có giá trị cao, các loại dược liệu quý hiếm... ở quy mô công nghiệp.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Phan Thị Hồng Thanh – Phạm Văn Tùy, 2010, Nghiên cứu hợp lý hóa chế độ sấy lạnh hành tây bằng bơm nhiệt máy nén, *Tạp chí Công nghệ nhiệt*, (3/2010), trang 13-16.
2. Lê Như Chính, Trần Đại Tiến, Phạm Văn Tùy, 2011, Nghiên cứu tối ưu hóa chế độ sấy tôm thẻ chân trắng bằng bơm nhiệt máy nén kết hợp với bức xạ hồng ngoại, *Tạp chí Năng lượng nhiệt*, trang 17 – 20.
3. Phạm Văn Tùy, Vũ Huy Khuê, Nguyễn Khắc Tuyên, 2003, Nghiên cứu hút ẩm và sấy lạnh rau củ thực phẩm bằng bơm nhiệt máy nén, *Tạp chí KH & CN Nhiệt*, trang 10 – 12.
4. Ana L. Gabas, Application of heat pump in drying of apple cylinders, *Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004) São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. C, pp. 1922-1929.*