

NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN MÁY SẤY RAU CỦ QUẢ ĐA NĂNG HIỆU SUẤT CAO

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF HIGH-EFFICIENCY MULTIFUNCTION FRUIT AND VEGETABLE DRYER

Nguyễn Đình Tùng^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.055>

TÓM TẮT

Máy sấy rau củ quả đa năng hiệu suất cao được thiết kế và phát triển để nhằm hướng đến phát triển hệ thống sấy quy mô lớn (công nghiệp) với mục tiêu làm giảm lãng phí rau và cải thiện điều kiện lưu trữ chúng. Nó bao gồm ba bộ phận: buồng sấy, quạt gió cấp tác nhân sấy và bộ trao đổi nhiệt (cấp nhiệt). Các kiểm tra và đánh giá hiệu suất được thực hiện bằng cách đo đạc trong thực nghiệm với nhiều mẫu thực nghiệm dựa trên một số loại rau, củ quả khác nhau trong nhiều giờ sấy ở một số chế độ công nghệ sấy khác nhau. Nhiệt độ tác nhân sấy được lựa chọn trung bình trong khoảng 40 - 90°C để sấy khô an toàn đối với cà rốt (40 - 90°C), dứa (40 - 70°C), với kích thước của các loại vật liệu sấy nêu trên sẽ khác nhau được cắt/thái dựa trên hình dạng ban đầu của vật liệu sấy và lượng chứa ẩm của nguyên liệu. Các chế độ sấy được thay đổi nhiệt độ tác nhân sấy trong điều kiện giữ nguyên vận tốc dòng tác nhân sấy xuyên qua lớp vật liệu trong buồng sấy khoảng 1,55m/s. Ngoài ra, xác định được thời gian sấy từ 20,5 - 25,5h (rút ngắn hơn so với các phương pháp sấy khác khoảng 4 - 6h) tùy thuộc loại vật liệu sấy khác nhau tương ứng với hiệu suất nhiệt đạt được là khoảng 82,62%. Với kết quả này hoàn toàn ta có thể khuyến nghị cho thiết kế cho máy sấy công suất lớn cho các cơ sở sản xuất quy mô công nghiệp.

Từ khóa: Máy sấy rau củ quả; phát triển; rau củ quả; thiết kế; trái cây.

ABSTRACT

The high-performance multifunction fruit and vegetable dryer is designed and improved for the development of large-scale (industrial) drying systems to reduce the waste of vegetables and improve their storage conditions. It consists of 3 parts: the drying chamber; the fan supplying the drying agents and the heat exchanger (heat supply). Performance tests and evaluations are carried out by measuring many experimental samples based on several different vegetables and fruits during many hours of drying in different drying modes. The average drying temperature is selected in the range of 40 - 90°C for carrots, 40 - 70°C for pineapple, the drying material is cut/sliced based on the original shape and moisture of the fruit. The drying modes are changed the drying agent temperature in the condition that the drying agent flow velocity through the material layer in the drying chamber is about 1.55m/s constant. In addition, the drying time is estimated at around 20.5 - 25.5 hours (shorter than other drying methods 4-6 hours) depending on the different drying materials, corresponding to the achieved thermal efficiency of about 82.62%. Through all of the above, we can recommend this design of large-scale dryers for industrial-scale businesses.

Keywords: Fruit and vegetable dryer; development; vegetable; design; fruit.

¹Viện Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy nông nghiệp

*Email: nguyentungbo@gmail.com

Ngày nhận bài: 23/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

1. GIỚI THIỆU

Rau củ quả là sản phẩm nông nghiệp được biết đến với lượng vitamin phong phú, nồng độ cao của độ ẩm và chất béo thấp. Chúng rất dễ hỏng do độ ẩm dư thừa có trong chúng, đặc biệt là khi thu hoạch. Trái cây và rau quả là cây trồng theo mùa và chủ yếu có sẵn trong mùa sản xuất. Nhu cầu rau củ của dân số ngày càng tăng đã không được đáp ứng mặc dù tăng. Đây là kết quả của chất thải phát sinh từ các hoạt động sinh học, sinh hóa diễn ra trong sản phẩm tươi và điều kiện bảo quản không thuận lợi, xử lý không hiệu quả, giao thông vận tải, bưu chính không đầy đủ, cơ sở hạ tầng thu hoạch và thị trường tiêu thụ nghèo nàn [1] ước tính rằng có tới 25% một số rau bị lãng phí trong thời kỳ sản xuất cao điểm. Khi rau củ thu hoạch theo mùa sẽ gây ra sự thiếu hụt và biến động về nguồn cung và giá cả. Trái cây và rau có thể được bảo quản thành công bằng cách giảm độ ẩm đến một mức độ mà sẽ ngăn cản hoạt động của vi sinh vật và nấm mốc bị suy giảm chất lượng. Hoạt động của vi sinh vật không hoạt động khi độ ẩm của sản phẩm dưới 10%. Sấy khô sản phẩm đặc biệt là rau củ quả là một trong những hình thức lâu đời nhất của phương pháp bảo quản thực phẩm được biết đến với con người. Đó là việc loại bỏ độ ẩm từ sản phẩm sang một mức tối ưu để ngăn chặn sự xuống cấp và bảo tồn các giá trị dinh dưỡng của chúng. Quá trình sấy diễn ra đồng thời quá trình truyền nhiệt và truyền khối. Sức nóng khuấy động lên độ ẩm trong sản phẩm bởi môi trường bên ngoài thường là không khí trong khi độ ẩm ở dạng hơi qua sản phẩm mao mạch mô. Độ ẩm tương đối là một yếu tố rất quan trọng yếu tố làm khô ở chỗ nó quyết định khả năng giữ ẩm của không khí sấy. Theo [2] độ ẩm tương đối lên đến 30% ảnh hưởng không đáng kể đến tốc độ sấy khô của ngũ cốc và các sản phẩm nông sản khác. Ngoài việc phơi sản phẩm trực tiếp dưới ánh nắng mặt trời (phương pháp làm khô truyền thống), có các phương pháp gián tiếp để đạt được các sản phẩm sấy khô có chất lượng tốt hơn đó là không có thất thoát, nhiễm bẩn, làm ướt lại và không kiểm soát được tốc độ sấy. Điều này dẫn đến mất hương vị, màu sắc, và làm cứng vỏ, ứng suất nhiệt và ô nhiễm bởi chim, ruồi và phân động vật [3],... khi sử dụng phương pháp phơi nắng.

Phương pháp sử dụng máy sấy đòi hỏi khi sấy rau củ quả thì sự chênh lệch nhiệt độ ảnh hưởng đến quá trình sấy cần phải nhỏ. Các quá trình làm khô/sấy đạt được bằng cách lưu

thông không khí hướng qua buồng sấy chứa sản phẩm sấy hoặc các khay sấy chứa các sản phẩm sấy. Thực tế, theo kết quả nghiên cứu của tác giả [4] mô tả quá trình sấy khô là tương đối rẻ, rất có tác dụng ngăn ngừa nấm mốc phát triển và cô đặc vitamin thực phẩm và hương vị khi sấy khô. [5] nêu việc sấy rau sẽ thuận lợi hơn/nhanh hơn khi ta cắt lát và trải rộng sản phẩm để tăng diện tích bề mặt của chúng lên hơi nóng; sử dụng một phương tiện nhiệt đáng tin cậy; Tăng lưu thông không khí xung quanh sản phẩm; cách nhiệt các khu vực không tiếp xúc với cùng một nguồn nhiệt để tránh mất nhiệt; tránh làm nóng trực tiếp vì điều này ảnh hưởng đến chất lượng và hình thức của sản phẩm; và bảo vệ các sản phẩm sấy khô chống nhiễm bẩn, tái hấp thu độ ẩm từ môi trường và tác hại của ánh sáng mặt trời.

Máy sấy là một trong những thiết bị quan trọng nhất trong các ngành chế biến thực phẩm. Nhiều máy sấy đã được phát triển và sử dụng để làm khô các sản phẩm nông nghiệp theo thứ tự để cải thiện điều kiện bảo quản [6]. Hầu hết các máy sấy sử dụng một trong hai nguồn cấp năng lượng nhiệt đặt tiền như điện hoặc có thể kết hợp giữa năng lượng mặt trời và các dạng năng lượng khác.

Máy sấy phổ biến nhất cho rau quả là máy sấy đường hầm, máy sấy chân không hoặc máy sấy năng lượng mặt trời. Huber và Menner đã phát hiện ra rằng trong số hơn 200 các loại máy sấy đã tìm thấy các ứng dụng khác nhau trong công nghiệp, chỉ có khoảng 20 loại cơ bản và các biến thể của chúng là thường được sử dụng trong thực tế. Phạm vi rộng này là kết quả các dạng vật lý khác nhau của sản phẩm được sấy khô, tốc độ sấy khô mong muốn và các hạn chế về chất lượng của sản phẩm sấy khô các sản phẩm.

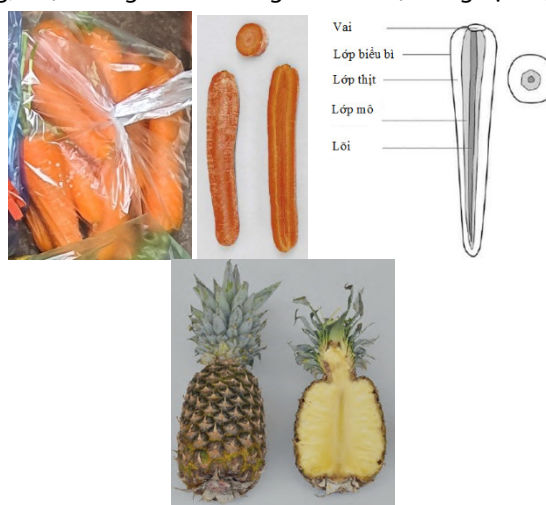
Như vậy, nếu phơi nắng trực tiếp và việc sử dụng máy sấy năng lượng mặt trời phụ thuộc vào cường độ của năng lượng mặt trời. Trong thực tế khi các loại rau thường đạt năng suất cao nhất (được mùa) vào thời điểm khi mưa nhiều, nhưng vào thời kỳ này năng lượng mặt trời thấp và độ ẩm tương đối cao, vì thế trong điều kiện này phải kéo dài thời gian sấy dẫn đến hư hỏng do nấm mốc mọc trên sản phẩm.

Dựa trên những phân tích trên đây cho ta thấy khi sấy rau củ quả cần chủ động trong mùa vụ thu hoạch, không phụ thuộc vào thời tiết, chi phí đầu tư cho máy móc thiết bị và chi phí vận hành sản xuất cần nhỏ hoặc "hợp lý", nhưng chất lượng sản phẩm sấy cần phải đảm bảo về chất lượng, do đó việc nghiên cứu phát triển "mẫu" máy sấy cho rau, củ, quả tiết kiệm năng lượng và hiệu suất cao là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn, qua đó làm mục tiêu hướng đến thiết kế, phát triển "mẫu máy mới" với năng suất lớn ứng dụng ở quy mô công nghiệp vào trong sản xuất cho doanh nghiệp là cần thiết. Bởi vậy nội dung bài báo này trình bày về kết quả giải quyết các vấn đề "khúc mắc", "bắt cập" nêu trên.

2. VẬT LIỆU, PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ ĐO NGHIÊN CỨU

- *Vật liệu nghiên cứu:* vật liệu nghiên cứu ở đây là cà rốt với cấu trúc như trên hình 1. Đặc điểm hình thái được thể hiện như trong bảng 1. Ngoài ra cà rốt còn có một số đặc tính/tính chất khác khi lựa chọn để chế biến/sấy cần lưu ý như: i) Hàm lượng chất khô cao; ii) Hàm lượng caroten cao;

iii) Ít kết cấu gỗ (lõi xơ); iv) Hàm lượng chất xơ thấp; v) Đường kính đầu 40 - 55mm (thì tốt hơn); vi) Đầu tròn cùn để giảm tổn thất ít khi cắt; vii) Độ đồng đều về kích thước và hình dạng; viii) Không có xu hướng chia tách (không bị nứt).



Hình 1. Vật liệu nghiên cứu và cấu trúc của chúng

Bảng 1. Đặc điểm hình thái của củ cà rốt và dứa [7-11]

Cà rốt			Dứa		
Hình dạng		hình nón cùn	Hình dạng		Bầu dục dài
Đầu		Cùn tròn hoặc đỉnh	Màu sắc vỏ		Xanh-vàng-nâu
Vỏ nãi/ngoài màu		Vàng, Cam sáng, Đỏ sáng	Màu sắc thịt quả		Vàng nhạt-vàng cam-vàng
Các thành phần			Các thành phần		
Rễ và cuống	%	7	Vỏ	%	35,6
Vỏ	%	18	Lõi	%	10
Lõi/ruột	%	75	Thịt quả	%	54,5
Kích thước			Kích thước		
Dài	mm	60 - 300	Dài	cm	12 - 18
Đường kính lớn nhất	mm	20 - 60	Đường kính	cm	11 - 13
Trọng lượng	g	100 - 140	Trọng lượng	kg	1 - 3

- *Phương pháp nghiên cứu:* lý thuyết kết hợp với thực nghiệm.

- *Thiết bị đo nghiên cứu:* nhiệt kế thủy ngân, sensor nhiệt độ hiện số điện tử online, máy đo gió kỹ thuật số, súng bắn đo nhiệt độ lazer, tỷ trọng kế, thước cặp và cân.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán thiết kế

Một số phân tích thiết kế và phát triển: thiết kế "mẫu" máy sấy rau quả hiệu suất cao/tiết kiệm năng lượng với quy mô pilot theo nguyên lý sấy tĩnh có phân chia dòng tác nhân sấy và đảo chiều dòng tác nhân sấy (hình 1) được phân tích theo các nội dung sau: i) lượng độ ẩm cần loại bỏ; ii) lượng không khí cần thiết (lượng không khí lý thuyết) để tác động sấy khô; iii) lượng không khí để thực hiện sấy khô

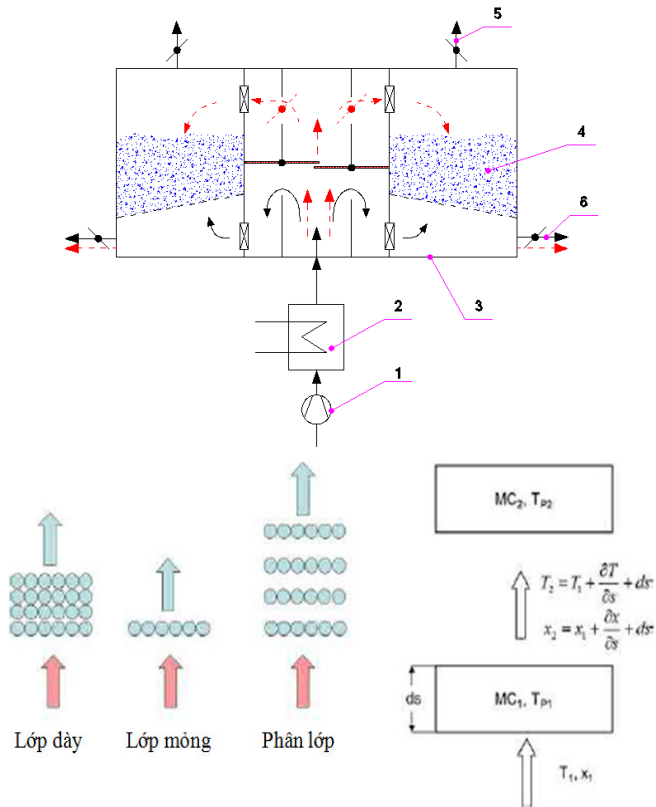
(lượng không khí thực); iv) lựa chọn quạt gió và công suất; v) lượng nhiệt cần thiết; vi) tốc độ truyền nhiệt; vii) nhiệt thực tế được sử dụng để làm khô hiệu quả; viii) tốc độ truyền khối; ix) hiệu suất nhiệt của máy sấy và tốc độ sấy.

Thiết kế được dựa trên nhiệt độ môi trường (T1) là 33°C, độ ẩm tương đối trung bình (Rh) là 67%, độ ẩm ban đầu Tỷ lệ (Hr1) = 0,01kg/kg không khí khô, nhiệt độ sấy an toàn yêu cầu cấp vào trong buồng sấy (T2) là 90°C, kích thước buồng sấy 2 x (0,58 x 0,38 x 0,55)m.

i) Lượng ẩm cần loại bỏ tính bằng kg (MR) được xác định theo phương trình (1) [12-15]:

$$M_R = M \left(\frac{Q_1 - Q_2}{1 - Q_2} \right) \tag{1}$$

Trong đó, M là công suất máy sấy mỗi mẻ (kg), Q1 = Độ ẩm ban đầu của vật liệu sấy, Q2 = độ ẩm cuối mong muốn tối đa dựa trên kết quả thực nghiệm.



Hình 2. Nguyên lý kết cấu các bộ phận cấu thành của máy sấy (trái), mô hình máy sấy tĩnh (phải)

1- quạt sấy; 2- bộ nguồn cấp nhiệt; 3- máy sấy; 4- vật liệu sấy; 5 và 6- đường thoát ẩm

ii) Lượng không khí cần để sấy khô tính bằng kg (Qa).

Điều này có thể được tính toán như sau [12-15]:

$$Q_a = \frac{M_R}{H_{v2} - H_{v1}} \tag{2}$$

Trong đó, H_{v1} và H_{v2} là tỷ lệ độ ẩm ban đầu và cuối cùng trong kg/kg không khí khô tương ứng; và M_R được xác định trong biểu thức (1).

iii) Thể tích không khí để tác dụng làm khô tính bằng m³ (Va) có thể được thể hiện dưới dạng [12-15]:

$$V_a = \frac{Q_a}{\gamma_a} \tag{3}$$

Trong đó, γ_a là khối lượng riêng của không khí tính bằng kg/m³, được xác định ở 0°C là 1,115 kg/m³ dựa trên tính chất của các chất lỏng phổ biến.

iv) Lựa chọn quạt gió: Quạt gió có tác dụng chuyển không khí nóng từ bộ trao đổi nhiệt vào buồng sấy. Việc lựa chọn được dựa trên đặc điểm của đường cong hiệu suất quạt ly tâm dựa trên các phương trình (4) - (6) [12-15]:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{q_1^{1/2}}{H_1^{3/4}} \right) \left(\frac{H_2^{3/4}}{q_2^{1/2}} \right) \tag{4}$$

$$D_2 = D_1 \left(\frac{H_1^{1/4}}{q_1^{1/2}} \right) \left(\frac{q_2^{1/2}}{H_2^{1/4}} \right) \tag{5}$$

$$hp_2 = hp_1 \left(\frac{D_2^5}{D_1^5} \right) \left(\frac{N_2^3}{N_1^3} \right) \tag{6}$$

Trong đó, N là số vòng quay của động cơ điện, H là áp suất tĩnh (Pa), q là lưu lượng thể tích của không khí (m³/phút), D là đường kính của quạt gió (m) và hp là công suất (mã lực) của động cơ. Dựa trên sự lựa chọn từ biểu đồ được trình bày bởi [12-15] trên đường cong hiệu suất của quạt ly tâm cong ngược hiển thị các đặc điểm của hệ thống, ta lựa chọn được quạt với công suất động cơ 0,55kW, lưu lượng = 1850m³/h; áp 85mmH₂O, số vòng quay 1400v/ph.

iv) Lượng nhiệt cần thiết để làm khô (Hr) trong kJ được xác định bởi phương trình [12-15]:

$$H_r = (M.H_k) + (H_L + M_R) \tag{7}$$

Trong đó, M là công suất máy sấy mỗi mẻ (30kg); HK = C_T (T₂-T₁), trong khi C_T là nhiệt dung riêng của cà rốt C_T = 3,84 [12-15], kJ/kg°C và T₂ - T₁ = 90 - 33 = 57°C, giá trị là được xác định là ≈ 218,88kJ/kg; H_L là ẩn nhiệt hóa hơi H_L = 1248,1kJ/kg; và M_R là lượng độ ẩm cần loại bỏ (kg) M_R ≈ 28,206kg. thay thế, Hr = 41.770,9kJ.

v) Nhiệt lượng thực tế sử dụng để sấy (HD): Lượng nhiệt được sử dụng để làm khô hiệu ứng H_D trong kJ có thể được xác định như trong phương trình (8) [12-15]:

$$H_D = C_a T_c M_R \tag{8}$$

Trong đó, C_a là nhiệt dung riêng của không khí C_a = 1,005kJ/kg°C; M_R là lượng ẩm cần loại bỏ M_R = 28,206kg/kg; và T_c là chênh lệch nhiệt độ trong buồng sấy T_c = 90 - 33 = 57°C. Do đó lượng nhiệt xác định được là H_D = 1.615,8kJ.

vi) Tốc độ truyền khối: tốc độ truyền khối Q_{mtr} tính bằng kg được xác định bằng phương trình (9) [12-15]:

$$Q_{mtr} = M_c A_t (H_{r2} - H_{r1}) \cdot q_2 \tag{9}$$

Trong đó, M_c là hệ số truyền khối của nước tự do bề mặt M_c = 0,083kg/m²s; A_t là tổng diện tích bề mặt của sàn sấy

$A_t = 0,2204m^2$; hiệu số $(H_{r2} - H_{r1}) = (0,028 - 0,01) = 0,018kg/kg$ không khí khô; và q_2 là tốc độ dòng khí $q_2 = 30,83m^3/phút$. Tốc độ truyền khối do đó được tính bằng $0,01015kg$.

vii) Hiệu suất nhiệt của máy sấy: Hiệu suất nhiệt của máy sấy η_c là 82,62% và là tính toán dựa trên phương trình (10) [12-15]:

$$\eta_c = H_D / Q_{ht} X_t \tag{10}$$

Trong đó, H_D là lượng nhiệt được sử dụng để làm khô $H_D = 1.615,8kJ$; Q_{ht} là tốc độ truyền nhiệt $Q_{ht} = 95,4kJ$ và X_t là thời gian sấy $X_t = 20,5 - 25,5$ giờ.

viii) Tốc độ sấy khô: Việc tính toán liên quan đến thiết kế và phân tích máy sấy đòi hỏi xác định được khoảng thời gian cần thiết để làm khô sản phẩm từ độ ẩm ban đầu Q_1 đến độ ẩm cuối cùng Q_2 và tốc độ mà tại đó quá trình sấy khô đang diễn ra. Các thông số này được xác định thực nghiệm cho một vật liệu nhất định khi được làm khô/sấy. Tốc độ và thời gian của các phương trình sấy được thể hiện như phương trình (11) [12-15].

$$R_c = \frac{M_d (Q_1 - Q_2)}{A_s t} \tag{11}$$

Trong đó, R_c là tốc độ làm khô (kg/mol); M_d là tổng trọng lượng của sản phẩm khô $M_d = 12,219kg$; A_s là diện tích bề mặt của vật liệu khô đặc $A_s = 1,6365m^2$; t là thời gian sấy $t = 20,5$ giờ; Q_1 là độ ẩm ban đầu $Q_1 = 85\%$; và Q_2 là độ ẩm cuối cùng sau khi sấy $Q_2 = 13,5\%$. Do đó, tốc độ sấy là được tính là $26,0418kg/mol$ (khi sấy cà rốt) và $22,1068kg/mol$ (khi sấy dứa).

Tốc độ sấy thường bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ sấy, độ ẩm tương đối, lưu lượng tác nhân sấy, kích thước của vật liệu sấy và công suất của máy sấy.

3.2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

- *Thiết bị nghiên cứu thực nghiệm*: thiết bị sử dụng cho nghiên cứu thực nghiệm này được thể hiện như trong hình 3.



Hình 3. Hình ảnh “mẫu” máy sấy hiệu suất cao tiết kiệm năng lượng sau khi chế tạo dùng cho nghiên cứu thực nghiệm

Bảng 2. Thông số sấy/thông số thực nghiệm [15-20]

Thông số	Đơn vị	Giá trị	
		Củ cà rốt	Quả dứa
Độ chứa ẩm bên trong	%	85	85
Độ chứa ẩm cuối cùng	%	13,5	9,5
Lượng nước loại bỏ ¹⁾	kg	23,315	28,206
Đường khuếch tán	mm	/	4-5

Tỉ trọng	kg/m ³	1029	1010
Nhiệt dung riêng	kJ/kgK	3,84	3,85
Độ dẫn nhiệt	W/mK	0,57	0,55
Độ khuếch tán nhiệt	m ² /h	5,19.10 ⁻⁴	5,09.10 ⁻⁴

*) Trên 100kg sản phẩm khô

Thí nghiệm được tiến hành với trung bình 3 mẫu, 3 lần sấy, với chế độ sấy thay đổi nhiệt độ dòng tác nhân sấy suốt theo thời gian sấy và giữ nguyên vận tốc dòng tác nhân sấy. Theo định kỳ mẫu được lấy ngẫu nhiên theo các vị trí trên bin sấy và thay đổi theo “độ cao/độ dày” của lớp vật liệu sấy ở nhiều vị trí khác nhau nhằm đảm bảo tính ngẫu nhiên đại diện của mẫu để đo xác định độ ẩm, tốc độ giảm ẩm trong suốt quá trình sấy. Phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) được sử dụng và làm giá trị trung bình.

Từ kết quả thực nghiệm thu được sản phẩm như trên hình 4 cho ta thấy rõ được chất lượng sản phẩm sấy thông qua đánh giá cả quan (quan sát màu sắc sản phẩm).



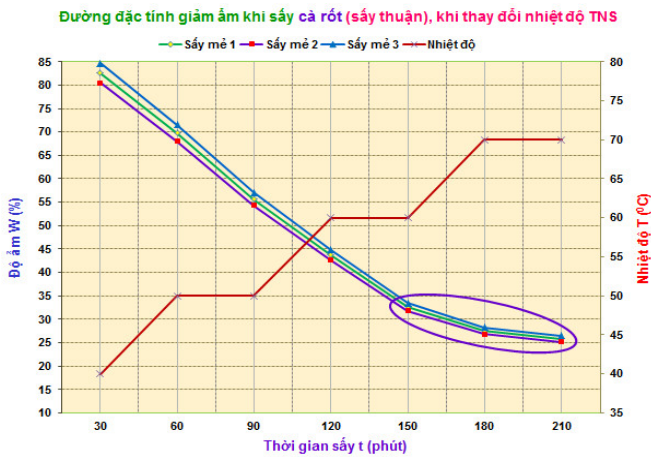
Hình 4. Sản phẩm về kết quả thực nghiệm khi sấy cà rốt và dứa

Cụ thể diễn tả diễn biến của quá trình sấy thông qua thời gian sấy, tốc độ giảm ẩm của vật liệu sấy thể hiện như trên đồ thị sấy thực nghiệm (đường cong giảm ẩm) (hình 5) đối với cà rốt và hình 6 đối với dứa trên máy sấy hiệu suất cao, tiết kiệm năng lượng. Hiệu suất cao bởi trao đổi nhiệt ẩm trong quá trình sấy đạt được giá trị cao thông qua việc rút ngắn thời gian sấy so với các phương pháp và thiết bị sấy khác với nguyên lý sấy đối lưu cũng bức dưng khí nóng. Qua đồ thị trên hình 5 và 6 cho thấy tốc độ giảm ẩm của mỗi giai đoạn sấy ứng với nhiệt độ dòng tác nhân sấy khác nhau: giai đoạn đầu khi nhiệt độ dòng tác nhân sấy là 40°C; giai đoạn sau khi nhiệt độ dòng tác nhân sấy được nâng dần lên là 90°C (đối với cà rốt) và 70°C (đối với dứa).

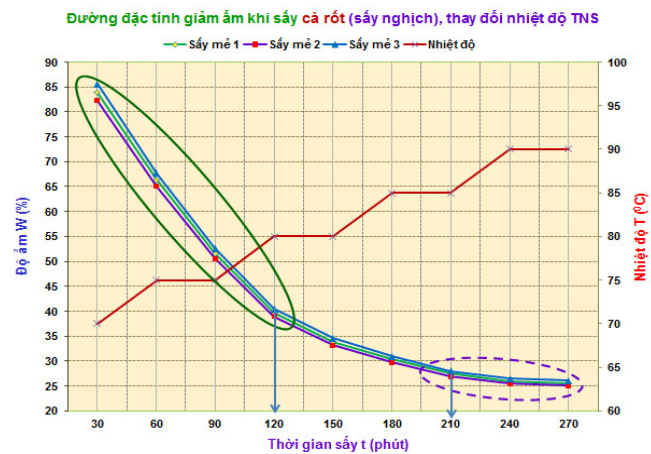
Từ hình 5 cho thấy khi sấy thuận (hình 5a) thay đổi chế độ nhiệt độ tác nhân sấy từ 40°C lên 70°C giai đoạn đầu tốc độ giảm ẩm nhanh hơn, tuy nhiên càng về cuối giai đoạn sấy thì tốc độ giảm ẩm chậm đi hơn nhiều. Khi sấy nghịch (đảo

chiều gió) với nhiệt độ tác nhân sấy thay đổi từ 70°C lên 90°C (hình 5b) cho ta thấy tốc độ giảm ẩm đối với giai đoạn đầu của phương pháp này nhanh hơn rất nhiều so với phương pháp sấy thuận, nhưng giai đoạn sau thì tốc độ giảm ẩm lại chậm hơn nhiều so với phương án sấy thuận.

Qua đây ta thấy rằng, phương pháp sấy nghịch hiệu suất trao đổi nhiệt tốt hơn, có lẽ do nguyên nhân dòng tác nhân sấy và dòng hơi thoát ẩm ngược chiều nhau, nên hiệu suất trao đổi nhiệt ẩm tốt hơn.



a)

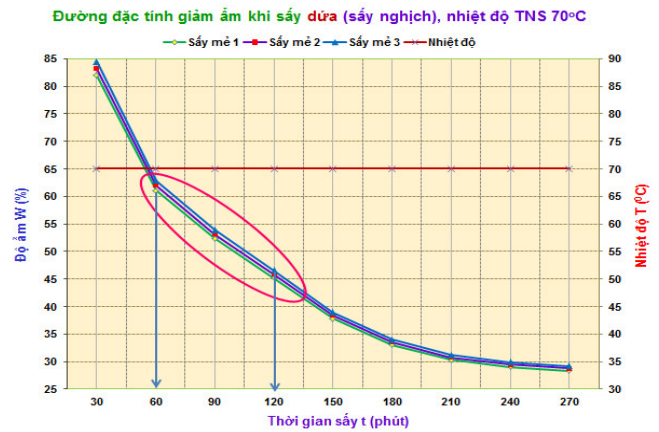


b)

Hình 5. Đường cong sấy cà rốt khi thay đổi nhiệt độ dòng tác nhân sấy



a)



b)

Hình 6. Đường cong sấy dưa thay đổi nhiệt độ dòng tác nhân sấy (khi sấy thuận) và giữ nguyên nhiệt độ tác nhân sấy (khi sấy nghịch)

Từ hình 6 cho thấy khi sấy thuận (hình 6a) thay đổi chế độ nhiệt độ tác nhân sấy từ 40°C lên 70°C giai đoạn đầu tốc độ giảm ẩm nhanh hơn nhưng có sự khác nhau nhiều giữa các mẫu. Tuy nhiên càng về cuối giai đoạn sấy thì tốc độ giảm ẩm chậm đi nhiều, nhưng sự khác nhau giữa các mẫu đã giảm đi so với giai đoạn đầu. Khi sấy nghịch (đảo chiều gió) với nhiệt độ tác nhân sấy giữ nguyên 70°C (hình 6b) cho ta thấy tốc độ giảm ẩm đối với giai đoạn đầu của phương pháp này nhanh hơn rất nhiều so với giai đoạn giữa, nhất là giai đoạn cuối. So sánh đối chứng giữa phương pháp sấy thuận và sấy nghịch ta thấy rằng: đối với phương pháp sấy nghịch thì giai đoạn đầu tốc độ giảm ẩm nhanh hơn nhiều so với sấy thuận, giai đoạn giữa vẫn nhanh hơn nhưng tốc độ đã giảm đi so với giai đoạn đầu, còn giai đoạn sau thì tốc độ giảm ẩm của phương pháp này lại chậm hơn nhiều so với phương án sấy thuận.

Ngoài ra ta thấy, khi sấy thuận thì tốc độ giảm ẩm giữa các mẫu có sự khác biệt hơn so với phương pháp sấy nghịch.

Từ phân tích như trên cho thấy, phương pháp sấy nghịch tốc độ giảm ẩm nhanh hơn và chất lượng sấy đồng đều hơn giữa các mẫu sấy/giữa các lần sấy và khối lượng vật liệu sấy là do hiệu suất trao đổi nhiệt tốt hơn, vì dòng tác nhân sấy và dòng hơi thoát ẩm ngược chiều nhau.

Mặt khác chất lượng sản phẩm sấy được đánh giá tốt thông qua độ đồng đều về hàm ẩm đối với vật liệu trên trong buồng sấy, chất lượng màu sắc tốt (không bị biến màu) theo đánh giá cảm quan, màu sắc sản phẩm sấy đều màu trong toàn bộ khối vật liệu sấy trong buồng sấy.

4. KẾT LUẬN

Thiết bị sấy rau củ quả được thiết kế và được phát triển dựa trên mục tiêu hướng đến là giá thành chế tạo thấp, chất lượng sấy tốt, dễ thao tác vận hành và dễ phát triển thành sản phẩm mẫu máy ở quy mô lớn ứng dụng trong sản xuất nhằm thúc đẩy ngành sản xuất, chế biến rau củ quả sấy khô góp phần làm tăng giá trị gia tăng cho người nông dân.

Máy sấy đạt được hiệu suất nằm trong khoảng 82,62% với trung bình dung lượng khoảng 30 - 35kg/m². Tốc độ sấy

đạt được khoảng $\approx 26,0418\text{kg/mol}$ (khi sấy cà rốt) và $\approx 22,1068\text{kg/mol}$ (khi sấy dứa). Nhiệt độ dòng tác nhân sấy có ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ giảm ẩm và chất lượng sản phẩm sấy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Rahman M. A., K.K. Nath, M.M. Rahman, „Post Harvest Handling and Processing of Vegetables. Vegetable Production and Marketing,” in *Proceedings of National Review and Planning Workshop*, Bangladesh, 199-201, 1992.
- [2]. Sharaf-Eldeen Y.N., M.Y. Handy, H.M. Keener, J.L. Blaisdell, “Mathematical desorption of drying fined exposed grains,” *Paper presented to the ASAE*, 19(3034): 1-6, 1979.
- [3]. Eke A.B., *Experimental Performance Evaluation of Laboratory and Field Solar and Hybrid Crop dryers*. Unpublished MSc Thesis, Department of Agricultural Engineering, Ahmadu Bello University, Zaria, 1999.
- [4]. Kordylas J.M., *Processing and preservation of Tropical and Subtropical foods*. Macmillan publishers Ltd., London, 1990.
- [5]. Etienne E., M. Serge, *Sun drying Techniques in Africa: Sudan, Kenya, Zaire and Upper Volta. FAO 1981*. Food loss prevention in perishable crop, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1983.
- [6]. Mulhbauer W., J. Mullere, A. Esper, “Sun and Solar Crop Drying,” *Plant Research and Development* 44: 1-52, 1996.
- [7]. World Carrot Museum, *The Main Parts and Functions of the Carrot Root*. 2013. accessed: www.carrotmuseum.com.
- [8]. P.M. Kotecha, B.B. Desai, D.L. Madhavi, *Carrot*. in: D.K. Salunkhe, S.S. Kadam (Eds.) (1998). *Handbook of Vegetable Science and Technology: Production, Compostion, Storage, and Processing*, Marcel Dekker Inc, New York, NY, 119-139, 1998.
- [9]. M.C. Okimoto, “Anatomy and histology of the pineapple inflorescence and fruit,” *Bot. Gaz.* 110, 217-231, 1948.
- [10]. A.P. Bartolomé, P. Rupérez, C. Fúster, “Pineapple fruit: morphological characteristics, chemical composition and sensory analysis of red Spanish and Smooth Cayenne cultivars,” *Food Chem.* 53 (1), 75-79, 1995.
- [11]. V.L. Singleton, “Chemical and physical development of pineapple fruit. I. Weight per fruitlet and other physical attributes,” *J. Food Sci.* 30 (1), 98-104, 1965.
- [12]. Otto Krischer, W. Kast, *Trocknungstechnik, Erster Band: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik*. Springer Berlin Heidelberg, 1978.
- [13]. Karl Kröll, *Trocknungstechnik, Zweiter Band: Trockner und Trocknungsverfahren*. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [14]. Karl Kröll, Werner Kast, *Trocknungstechnik, Dritter Band: Trocknen und Trockner in der Produktion*. Springer Berlin Heidelberg, 1978.

[15]. F. Rebholz, *Untersuchung über die Trocknung von Gemüse und das Trocknungsverhalten von Karotten*. B.Sc. TRhesis, Institute of Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart (Germany), 1984.

[16]. P.P. Sutar, B.N. Thorat, *Drying of roots*. in: S.V. Jangam, C.L. Law, A.S. Mujumdar (Eds.), *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, vol. 2, NUS, Singapore, 43-73, 2011.

[17]. E.G. Murakami, “The thermal properties of potatoes and carrots as affected by thermal processing,” *J. Food Process Eng.* 20 (5), 415-432, 2007.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Dinh Tung

Research Institute of Agricultural Machinery, Vietnam