

BỘ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ
Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ Sau thu hoạch
54/102 Trường Chinh, Đống Đa, Hà Nội

Báo cáo tổng kết khoa học và kỹ thuật Đề tài:

NGHIÊN CỨU QUY TRÌNH VÀ THIẾT BỊ
SẤY SẠCH RAU QUẢ BẰNG BƠM NHIỆT

ThS. Nguyễn Xuân Thủy

Hà Nội, 11 – 2003

Bản thảo viết xong 10/2003

Tài liệu này được chuẩn bị trên cơ sở kết quả thực hiện đề tài Độc lập cấp
Nhà nước

5342-6.

25/05/05.

DANH SÁCH NHỮNG NGƯỜI THỰC HIỆN

1	TS. Chu Văn Thiện	Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ Sau thu hoạch
2	KS. Trần Văn Đức	Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ Sau thu hoạch
3	ThS. Nguyễn Minh Nam	Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ Sau thu hoạch
4	Lê Xuân Lâm	Cục Chế biến Nông lâm sản và Nghề muối

TÓM TẮT

Các máy sấy rau quả hiện nay ở nước ta phần lớn là các máy sấy dùng nhiên liệu than, sử dụng phương pháp truyền nhiệt trực tiếp làm cho sản phẩm không đảm bảo vệ sinh, hoặc truyền nhiệt trực tiếp làm giảm hiệu suất sử dụng năng lượng và có thiết bị công kênh. Ngoài ra, các thiết bị sấy chân không, sấy thăng hoa có chi phí đầu tư và vận hành cao. Thiết bị sấy dùng hơi nước tuy đảm bảo an toàn vệ sinh thực phẩm, cho chất lượng sản phẩm cao song chi phí đầu tư và vận hành cũng lớn.

Máy sấy dùng bơm nhiệt được nghiên cứu, thiết kế có công suất 150 kg rau/mẻ với công suất lắp đặt 2,7 kW. Máy đã sấy một số loại rau gia vị cho chất lượng sản phẩm tốt, và có chi phí năng lượng riêng thấp (dưới 1 kWh/kg ẩm bốc hơi) do sử dụng nguồn nhiệt thải ra ở dàn ngưng có năng lượng cao hơn năng lượng cung cấp để chạy máy nén môi chất từ 2 – 4 lần.

Qua các thí nghiệm sấy hành củ thái lát, hành lá, rau thìa là và rau thơm, quy trình công nghệ để sấy các loại rau này trên máy sấy bơm nhiệt đã được đưa ra ở các chế độ nhiệt độ và tốc độ dòng khí khác nhau. Nói chung ở tốc độ dòng khí thấp ($0.1 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$), rau sấy bị thâm úa và có mùi hắc bất luận sấy ở nhiệt độ và bề dày nguyên liệu nào do không đủ lượng không khí chuyển ẩm ra khỏi nguyên liệu trong khi nguyên liệu bị nóng lên do được cấp nhiệt. Mặc dù tốc độ $0.26 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$ cho khả năng chuyển ẩm tốt, song ở chế độ nhiệt 60°C lại làm tăng chi phí năng lượng riêng do thoát nhiệt quá nhanh. Tốc độ dòng khí $0.15 - 0.2 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$ dường như phù hợp với hầu hết chế độ nhiệt $43, 50$ và 60°C để sấy các loại rau trên. Chất lượng sản phẩm khi sấy bằng máy sấy bơm nhiệt sạch hơn so với sấy bằng các máy sấy dùng than đá thông thường, và không làm mất đi hương vị và màu sắc của sản phẩm, tuy nhiên phải theo quy trình đặt ra cho từng loại rau quả.

Qua so sánh ta thấy chi phí năng lượng riêng khi dùng máy sấy bơm nhiệt chỉ nằm trong khoảng 0,34 – 0,54 kWh/kg nước bốc hơi, bằng 1/3 – 1/4 chi phí năng lượng riêng khi dùng máy sấy dùng lò đốt than trực tiếp (1,7 kWh/kg nước). Tuy nhiên chi phí sấy (chưa kể khấu hao thiết bị, lương công nhân) lại cao hơn 1,3 – 2,2 lần tùy theo nhiệt độ sử dụng (khoảng 1400 đ, 2000 đ và 2300 đ/kg sản phẩm khi sấy ở 43, 50 và 60°C tương ứng, trong khi đó chỉ là 1072 đ khi sấy bằng máy sấy với than đốt trực tiếp). Điều này do máy sấy bơm nhiệt phải sử dụng điện trong khi 1 kg than có giá rẻ hơn và có nhiệt trị cao hơn nhiều so với 1 kWh điện.

Tuy nhiên, máy sấy bơm nhiệt có hạn chế là phải thường xuyên bảo dưỡng cho máy nén và bộ lọc môi chất, phải thường xuyên nạp môi chất, dễ dò rỉ môi chất ra môi trường nếu đường ống hư hỏng, chi phí đầu tư cao, và chi phí vận hành vẫn cao hơn so với máy sấy thông thường dùng than làm nhiên liệu.

MỤC LỤC

	Trang
Danh sách những người thực hiện	i
Tóm tắt	ii
Mục lục	iv
I Lời mở đầu	1
II Tổng quan	2
2.1 Tình hình sản xuất và chế biến rau quả trong nước	2
2.2 Tình hình sử dụng bơm nhiệt trong công nghệ sấy trong và ngoài nước	3
2.3 Nguyên tắc làm việc của bơm nhiệt	3
2.4 Máy sấy dùng bơm nhiệt	5
III Mục tiêu và nội dung nghiên cứu	7
IV Thiết kế máy sấy	9
4.1 Lựa chọn nguyên lý và kết cấu	9
4.2 Tính toán thiết kế	11
4.2.1 <i>Tính toán nhiệt yếu cầu</i>	11
4.2.2 <i>Tính kích thước buồng sấy</i>	11
4.2.3 <i>Tính chọn bơm nhiệt</i>	12
4.2.4 <i>Tính chọn quạt</i>	14
V Thí nghiệm sấy rau	14
5.1 Vật liệu và phương pháp nghiên cứu	15
5.1.1 <i>Chuẩn bị nguyên liệu</i>	15
5.1.2 <i>Thiết bị thí nghiệm</i>	15
5.1.3 <i>Chế độ thí nghiệm</i>	16
5.2 Kết quả và thảo luận	16
5.2.1 <i>Thí nghiệm sấy hành củ thái lát</i>	16
5.2.2 <i>Thí nghiệm sấy hành lá</i>	19
5.2.3 <i>Thí nghiệm sấy rau thìa là</i>	23
5.2.4 <i>Thí nghiệm sấy rau thơm</i>	27

VI	Xây dựng quy trình công nghệ sấy	33
VII	So sánh và tính hiệu quả kinh tế	35
	Kết luận và đề nghị	39
	Tài liệu tham khảo	40
	Phụ lục	42

I. LỜI MỞ ĐẦU

Ở Việt nam, nền kinh tế chủ yếu dựa vào nông nghiệp. Đất đai dành cho sản xuất nông nghiệp chiếm 70%, và vì vậy năng suất và chất lượng cây trồng được coi là vấn đề trọng điểm trong công tác nghiên cứu và sản xuất. Trong khi năng suất cây trồng đã và đang được tăng lên nhờ áp dụng những thành tựu của công nghệ tiên tiến về giống cũng như về phương pháp gieo trồng, chăm sóc, thì việc còn lại để đảm bảo chất lượng của nông sản là nhiệm vụ của khâu sau thu hoạch. Chất lượng của nông sản sau thu hoạch không đảm bảo sẽ gây ra sự mất mát đáng kể, đặc biệt là với những nông sản có giá trị kinh tế cao như các sản phẩm về rau quả. Mặt khác, nước ta là nước nhiệt đới có khí hậu nóng ẩm. Nhiệt độ và độ ẩm cao (38°C, 95%) là điều kiện tốt cho các vi sinh vật và nấm mốc phát triển, và đó là trở ngại rất lớn trong khâu bảo quản. Đối với các sản phẩm rau quả thì lượng dành cho tiêu thụ trong và ngoài nước, và dành cho chế biến hộp cũng như lạnh đông chiếm khoảng 85 %, lượng còn lại khoảng 15 % phải được làm khô để làm nguồn thực phẩm cho các ngành chế biến khác, cho biên giới hải đảo và cho tiêu thụ trái vụ. Nếu lượng sản phẩm rau quả này sau khi thu hoạch không được làm khô kịp thời và hợp lý thì chúng sẽ nhanh chóng bị hư hỏng do nấm mốc xâm nhập và do sự phân huỷ tự nhiên, gây tổn thất lớn không những về lượng mà cả về chất.

Để giảm tổn thất không đáng có này, các sản phẩm dùng vào các mục đích trên tốt nhất nên được làm khô đến độ ẩm bảo quản an toàn ngay sau khi thu hoạch. Nhiều nghiên cứu đã được tiến hành để thiết kế máy sấy và đưa ra các quy trình sấy cho một số loại rau quả chính. Các thiết bị sấy hiện đang được dùng là các máy sấy đốt than trực tiếp hoặc gián tiếp, có gió cưỡng bức hoặc đối lưu tự nhiên. các máy sấy dùng năng lượng điện trực tiếp với chi phí cao. Ngoài ra còn có các thiết bị sấy chân không và sấy thăng hoa. Các máy sấy đốt than hiện nay tuy dùng nhiên liệu rẻ tiền, song trực tiếp thì sản phẩm bị ám mùi khói than và bụi, gây mất vệ sinh thực phẩm, đồng thời khó kiểm soát nhiệt độ sấy nên chất lượng sản phẩm thấp [4]. Các máy sấy đốt than gián tiếp thì hiệu suất sử dụng nhiệt sẽ giảm đi khoảng 40%, thiết bị cũng cồng kềnh và tốn kém. Các máy sấy

bằng điện trực tiếp tuy thiết bị có gọn nhẹ nhưng chi phí vận hành lớn. Các máy sấy chân không, sấy thăng hoa lại có giá thành cao [16]. Tất cả các máy sấy nêu trên hoặc cho chất lượng sản phẩm kém về màu sắc và hương vị, hoặc có chi phí sấy lớn.

Việc áp dụng công nghệ lạnh dùng bơm nhiệt gắn vào buồng sấy nhằm mục đích nâng cao chất lượng sản phẩm so với các máy sấy đốt than hiện có và giảm năng lượng tiêu thụ so với các máy sấy dùng điện trực tiếp hiện nay đã được đặt ra như một nội dung trong đề tài độc lập cấp Nhà nước và tiến hành từ năm 2000.

II. TỔNG QUAN

2.1. Tình hình sản xuất và chế biến rau quả trong nước.

Theo số liệu của Tổng cục thống kê năm 2000 [9], tổng sản lượng quả của cả nước khoảng 5,5 triệu tấn/năm, tập trung ở các tỉnh Hưng Yên, Hải Dương, Bắc Giang, Đồng Tháp, Vĩnh Long, và tổng sản lượng rau các loại của cả nước khoảng 6,3 triệu tấn/năm, tập trung ở Hải Dương, Hưng Yên, Hà Tây, Lâm Đồng, thành phố Hồ Chí Minh... Theo đề án phát triển rau quả thời kỳ 1999 – 2010 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn đã được Chính phủ phê duyệt thì đến năm 2010, tổng sản lượng rau quả cho nội tiêu là 17 triệu tấn (14 triệu tấn cho nội tiêu, 3 triệu tấn cho xuất khẩu). Trong tổng số dành cho nội tiêu (rau là 8 triệu tấn và quả là 6 triệu tấn) thì 7 triệu tấn để tiêu thụ tươi, 5 triệu tấn cho chế biến hộp và lạnh đông, còn lại 2 triệu tấn dành cho sấy khô để làm thực phẩm cho biên giới, hải đảo, làm nguyên liệu cho một số ngành chế biến cũng như tiêu thụ trái vụ [1]. Sự đòi hỏi ngày càng cao của người tiêu dùng trong và ngoài nước nảy sinh ra những yêu cầu ngày càng cao của chế biến khô và bảo quản, đó là vấn đề lưu giữ hương vị và màu sắc của sản phẩm. Các máy sấy dùng nhiệt cấp từ các lò đốt than trực tiếp hoặc gián tiếp, các máy sấy dùng điện đốt trực tiếp hoặc làm mất hương vị và làm thay đổi màu sắc của sản phẩm, hoặc có chi phí năng lượng riêng cao (khoảng 1,5 - 2 kWh/kg ẩm).

2.2. Tình hình sử dụng bơm nhiệt trong công nghệ sấy trong và ngoài nước.

Bơm nhiệt đã được ứng dụng trong nhiều ngành kinh tế có yêu cầu sử dụng nguồn nhiệt thấp như: công nghiệp sấy hút ẩm, công nghiệp chưng cất - cô đặc, công nghiệp gỗ,... Trong công nghiệp sấy hút ẩm, bơm nhiệt được dùng để ngưng tụ hơi ẩm, tách nước ra khỏi không khí, nâng nhiệt độ lên trên nhiệt độ môi trường phục vụ cho sấy và bảo quản khô. Việc sử dụng bơm nhiệt trong máy sấy để cung cấp dòng khí khô có nhiệt độ thấp cho quá trình sấy là một giải pháp để giải quyết các vấn đề về lưu giữ hương vị, màu sắc và giảm chi phí năng lượng bốc hơi nước.

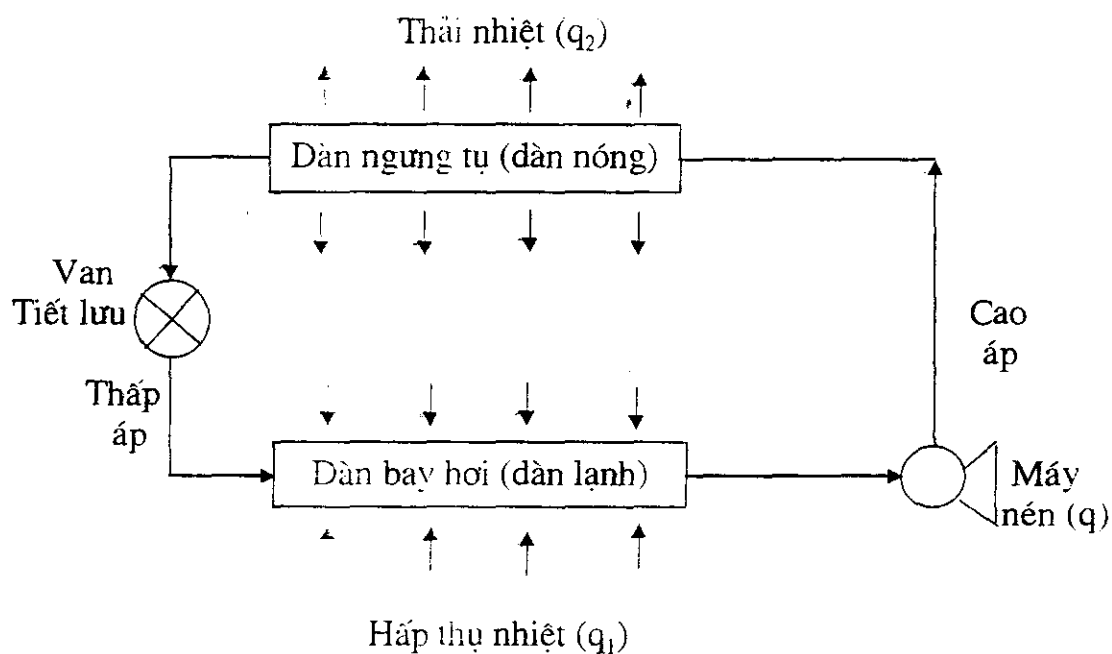
Máy sấy dùng bơm nhiệt đã được ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp thực phẩm, công nghiệp chế biến gỗ ở các nước phát triển. Ở Đức, Anh, Australia, Niu Dilân và Nhật Bản, bơm nhiệt được dùng để sấy gỗ trong các nhà máy chế biến gỗ. Ở Mỹ, người ta đã thí nghiệm sấy hạt nông sản bằng bơm nhiệt, và cho thấy rằng năng lượng chi phí để bốc hơi 1 kg ẩm chỉ có 0,28 kWh. Gần đây hãng DAIKA (Mỹ) và Viện máy nông nghiệp Quảng Đông – Trung Quốc đã nghiên cứu và đưa ra các mẫu máy sấy rau quả, sấy thực phẩm và sấy hạt giống dùng bơm nhiệt.

Ở nước ta, trường Đại học Nông nghiệp I Hà Nội với đề tài “Áp dụng công nghệ sấy nhiệt độ thấp để bảo quản và sơ chế nông sản sau thu hoạch” đã bước đầu thăm dò và cho thấy triển vọng của việc ứng dụng công nghệ sấy bằng bơm nhiệt trong điều kiện khí hậu nóng ẩm ở Việt Nam [14]. Bên cạnh đó, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội cũng đã chế tạo một máy sấy dùng bơm nhiệt để sấy bột kẹo cho Công ty Bánh kẹo Hải Hà [12; 18].

2.3. Nguyên tắc làm việc của bơm nhiệt.

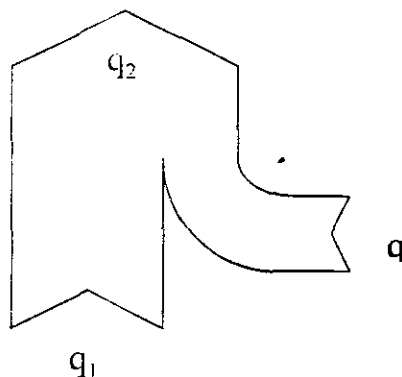
Bơm nhiệt là một hệ thống lạnh làm việc theo chu trình để sản ra một lượng nhiệt từ một nguồn công được cung cấp. Bơm nhiệt cũng tương tự như tủ lạnh nhưng chỉ khác nhau ở mục đích sử dụng là cấp nhiệt chứ không phải làm mát [13]. Nhiệt được bơm từ bộ hoá hơi bên trong tủ lạnh (dàn lạnh) tới bộ ngưng tụ

(dàn nóng) bên ngoài tủ. ở đó nhiệt được thải ra (Hình 2.1). Khi dàn lạnh được đặt hờ để nhận nhiệt từ môi trường thì dàn nóng sẽ thải ra nguồn nhiệt cao hơn. Ở đây, dàn lạnh lấy đi nhiệt lượng và tách bớt ẩm ra khỏi không khí, môi chất sẽ nhận nhiệt của không khí và tập trung nhiệt lại rồi thải nhiệt ra ở dàn ngưng.



Hình 2.1. Sơ đồ hệ thống lạnh

Khi môi chất lạnh bốc hơi trong dàn lạnh, nó sẽ nhận nhiệt từ không khí xung quanh dàn lạnh. Hơi được máy nén bơm lên áp suất cao, do đó hơi được ngưng tụ ở dàn nóng có nhiệt độ cao hơn dàn lạnh, và khi này nó thải nhiệt. Chu trình này được lặp lại liên tục. Năng lượng điện hoặc cơ dùng để chạy máy nén q thường nhỏ hơn 2 đến 3 lần năng lượng nhiệt thải ra q_2 do năng lượng nhiệt được lấy vào q_1 là từ môi trường (Hình 2.2), và do vậy hệ số nhiệt sẽ là $\phi = q_2/q = (q_1/q) + 1 > 1$ [13].



Hình 2.2. Sơ đồ nhiệt khí sử dụng bơm nhiệt

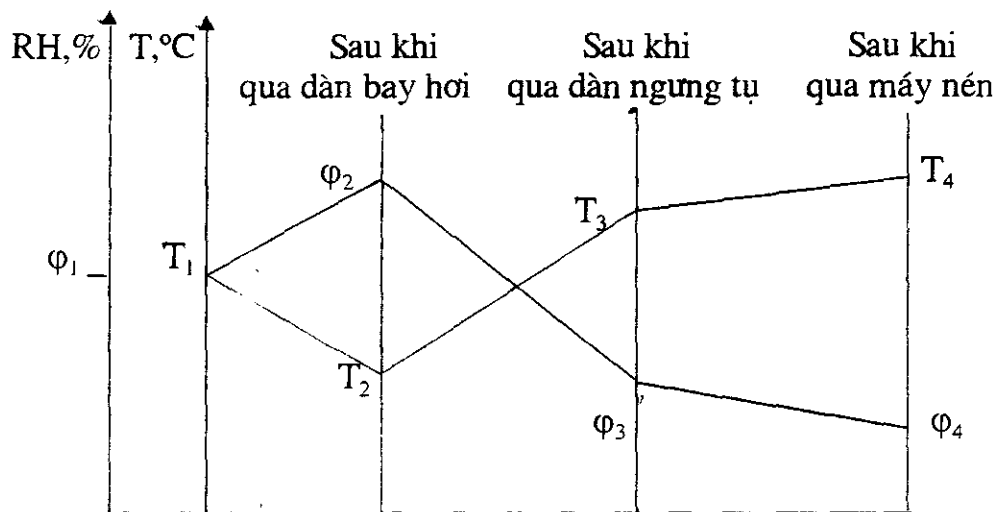
- q – Năng lượng cung cấp cho máy nén
- q_1 – Năng lượng nhiệt thu từ môi trường
- q_2 – Năng lượng nhiệt thải ở dàn ngưng

Môi chất lạnh của bơm nhiệt giống như của các máy lạnh nhưng yêu cầu nhiệt độ sôi và nhiệt độ ngưng tụ cao hơn. Do vậy nó gần giống như môi chất của máy điều hoà không khí (làm việc ở chế độ nhiệt độ cao). Tuy nhiên, nếu nhiệt độ ngưng tụ của môi chất cao thì đòi hỏi nhiệt độ của nguồn cung cấp cho dàn bay hơi cũng phải cao. Điều này chỉ phù hợp ở nơi có nguồn nhiệt thải công nghiệp, do vậy môi chất có nhiệt độ cao cũng ít được sử dụng. Mặt khác một số môi chất freon như R11, R12, R13... đã bị cấm sử dụng do phá huỷ tầng ô zôn, nên hiện nay chủ yếu vẫn dùng R22, R502 có nhiệt độ ngưng tụ 60°C [11].

Máy nén của các máy lạnh đều có thể được dùng cho bơm nhiệt, và cũng như môi chất lạnh, người ta thường chọn các loại máy nén sản xuất cho máy điều hoà dùng cho bơm nhiệt vì chế độ làm việc của chúng gần giống nhau.

2.4. Máy sấy dùng bơm nhiệt.

Lợi dụng nguồn nhiệt thải ra có năng lượng cao hơn năng lượng cấp vào cho bơm nhiệt, một buồng sấy sẽ được bố trí để không khí đi qua dàn ngưng tụ, nhận nhiệt thải ra ở đây rồi đi vào buồng sấy.



Hình 2.3. Chế độ làm việc của máy sấy dùng bơm nhiệt

Sau khi không khí đi qua dàn lạnh, một lượng ẩm nhất định (tùy thuộc vào công suất lạnh của bơm nhiệt) được ngưng tụ lại và không khí trở nên khô hơn. Nếu lấy khối không khí này thổi qua dàn ngưng để nâng nhiệt độ lên và đi vào buồng sấy thì ta có tác nhân sấy là không khí khô và nóng. Tác nhân sấy ở điều kiện này rất tốt cho việc hút ẩm từ nguyên liệu sấy (Hình 2.3).

Nếu xét không khí trên ẩm đồ T-d (Hình 2.4) ta thấy: không khí lúc đầu ở điểm 1 có nhiệt độ T_1 , độ ẩm tương đối ϕ_1 và lượng chứa ẩm d_1 . Khi vào dàn bay hơi, lúc đầu ở điểm 2 nó đạt tới nhiệt độ đọng sương T_2 , độ ẩm tương đối tăng lên đến bão hoà 100%, sau đó tiếp tục bị giảm nhiệt độ xuống còn T_3 , độ ẩm tương đối không đổi, nhưng qua đây một lượng ẩm đã bị ngưng tụ và lượng chứa ẩm giảm xuống còn d_2 . Lượng ẩm ngưng tụ $d_2 - d_1$ chảy xuống khay chứa. Lúc này, không khí khi ra khỏi dàn bay hơi trở nên khô hơn, nó đi qua dàn ngưng tụ (và máy nén) để nhận nhiệt thải ra ở đây và nhiệt độ được nâng lên đến T_4 , độ ẩm tương đối giảm xuống ϕ_2 ($\phi_2 < \phi_1$). Khối không khí này được quạt thổi qua lớp nguyên liệu sấy. Thường bơm nhiệt có thể đưa ra dòng nhiệt gấp 3 – 5 lần công suất dùng để vận hành máy nén. Nó có hiệu quả cao về mặt nhiệt năng như vậy là do bơm nhiệt có khả năng phục hồi lượng nhiệt ẩn của không khí [5]. Công suất

chi phí để bốc hơi 1 kg ẩm khoảng 1,3 – 1,5 MJ (0,36 – 0,42 kWh), xấp xỉ bằng 1/4 chi phí nhiệt lượng cần thiết đối với máy sấy nhiệt thông thường [6].

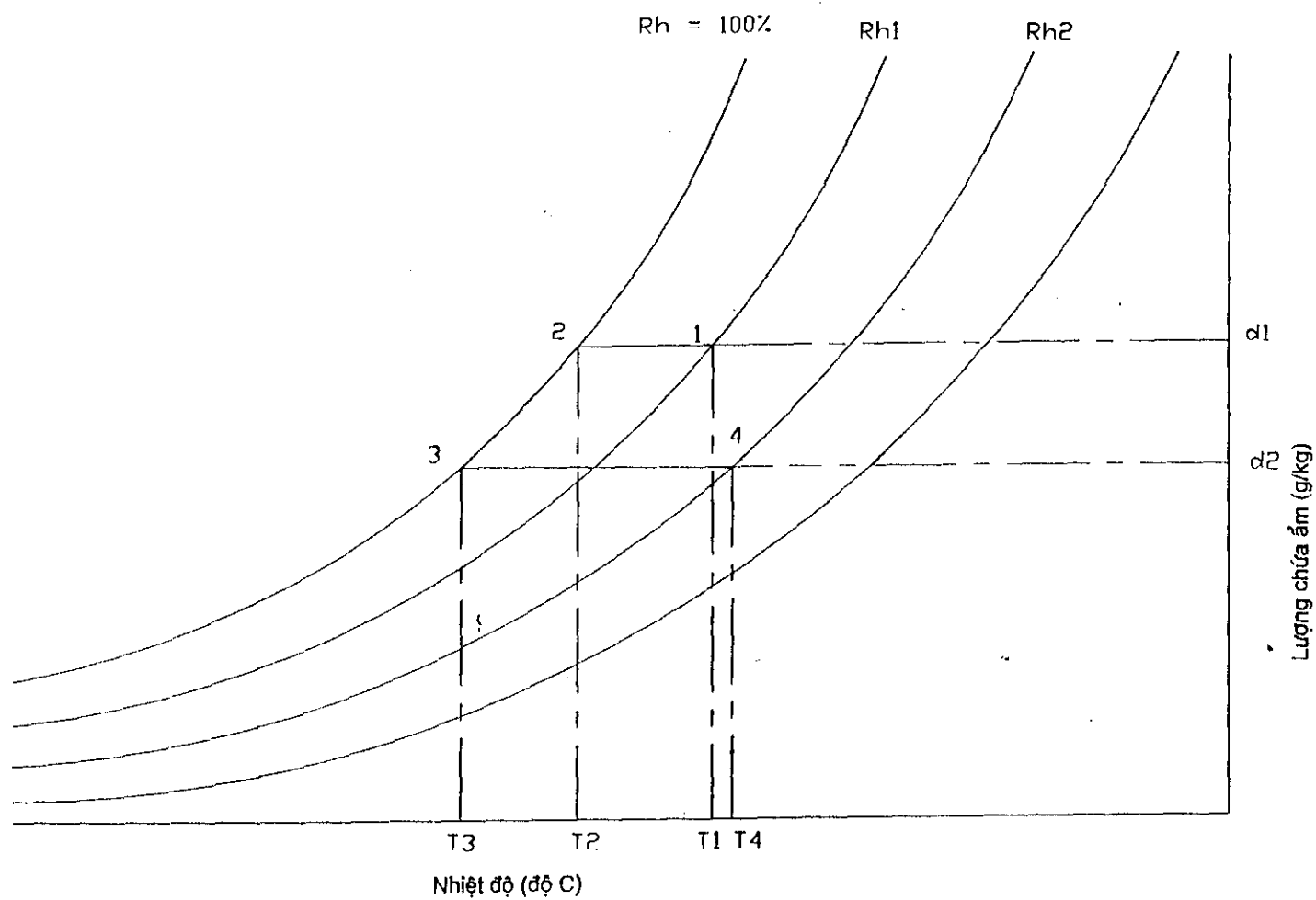
Khả năng của bơm nhiệt để chuyển hoá nhiệt ẩn của quá trình ngưng tụ thành nhiệt hiện ở dàn ngưng làm cho bơm nhiệt trở thành thiết bị hồi phục nhiệt duy nhất được dùng trong sấy. Hiệu suất năng lượng của máy sấy bơm nhiệt được thể hiện qua hiệu suất và chi phí năng lượng riêng so với các hệ thống sấy khác (Bảng 2.1).

Bảng 2.1. So sánh sấy bơm nhiệt với các hệ thống sấy khác [15]

	Sấy khí nóng	Sấy chân không	Sấy bơm nhiệt
Chi phí năng lượng riêng. <i>kWh/kg H₂O</i>	0,8 - 8	0,8 - 1,4	0,25 - 1
Hiệu suất, %	35 - 40	≤ 70	95
Dải nhiệt độ, °C	40 - 90	30 - 60	10 - 65
Dải độ ẩm, %	Biến thiên	Thấp	10 - 65
Chi phí đầu tư	Thấp	Cao	Trung bình
Chi phí vận hành	Cao	Rất cao	Thấp

III. MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

- *Mục tiêu nghiên cứu:* Thiết kế và chế tạo một máy sấy rau dùng bơm nhiệt. Xây dựng quy trình công nghệ sấy một số loại rau khi dùng máy sấy bơm nhiệt.
- *Nội dung nghiên cứu:* Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ, tốc độ dòng khí sấy đến chất lượng của một số loại rau, đến thời gian và chi phí năng lượng riêng khi sấy bằng máy sấy bơm nhiệt.



Hình 2.4. Ẩm đồ T-d mô tả quá trình làm lạnh và gia nhiệt

- 1 - Không khí môi trường có nhiệt độ T_1 , lượng chứa ẩm d_1 và Rh_1
- 2 - Không khí được làm lạnh đến nhiệt độ đọng sương T_2 , lượng chứa ẩm không đổi, Rh bão hoà = 100%
- 3 - Không khí sau khi được tiếp tục làm lạnh đến nhiệt độ T_3 , lượng chứa ẩm giảm xuống còn d_2 , $Rh = 100\%$
- 4 - Không khí sau khi được gia nhiệt khi qua dàn ngưng có nhiệt độ $T_4 (> T_1)$ và $Rh_2 (< Rh_1)$

IV. THIẾT KẾ MÁY SẤY.

4.1. Lựa chọn nguyên lý và kết cấu.

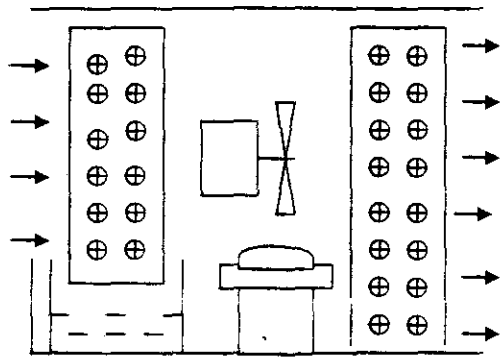
Có rất nhiều dạng bơm nhiệt được ứng dụng trong công nghiệp sấy và hút ẩm (Hình 4.1).

Nguyên lý sấy bằng bơm nhiệt chu trình hở của Pháp (Hình 4.1.d) tuy rất hiệu quả, có thể đạt 0,27 kWh/kg ẩm khi sấy gỗ ở Pháp và sấy muối ở Thụy sĩ, tiết kiệm được 30 – 40% năng lượng sơ cấp, nhưng máy phải làm việc ở chế độ nhiệt độ và áp suất cao (150°C ở dàn ngưng tụ, áp suất nén 0,1 MPa để nén khí hơi ẩm lên 0,5MPa). Do vậy yêu cầu chế tạo rất khắt khe và hơi nước có thể mang theo chất ăn mòn gây gỉ máy nén.

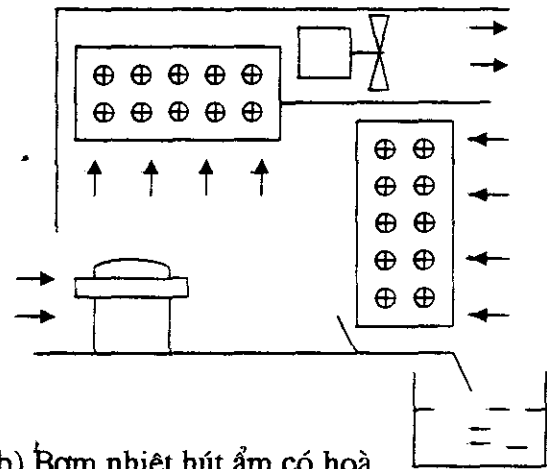
Các máy sấy dùng bơm nhiệt hút ẩm có hoà trộn không khí ẩm (Hình 4.1.b) với mục đích để làm giảm nhiệt độ của dàn ngưng tụ, dẫn tới giảm hiệu nhiệt độ giữa dàn ngưng tụ và dàn bay hơi, do vậy tăng công suất ngưng tụ hơi ẩm (công suất lạnh). Tuy nhiên, dạng này lại mang theo một lượng ẩm chứa trong khí chưa được tách ẩm vào và làm giảm khả năng sấy.

Bơm nhiệt hút ẩm đơn giản (Hình 4.1.a) là kết cấu được dùng nhiều trong các máy sấy gỗ ở Đức (Hình 4.1.c) và máy sấy hạt ngũ cốc thí nghiệm ở Mỹ (Hình 4.1.e). Mẫu máy thí nghiệm ở Mỹ này cho thấy chi phí năng lượng riêng là 0.28 kWh/kg ẩm ở nhiệt độ sấy 43°C và tốc độ gió 800 – 1000 m³/h. Các máy sấy của DAIKA cũng như của Viện máy nông nghiệp Quảng Đông – Trung Quốc cũng áp dụng kết cấu này. Tuy nhiên, năng lượng cung cấp cho máy nén có thể là động cơ điện, động cơ đốt trong.

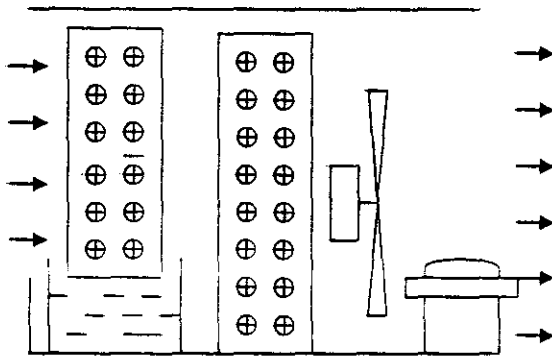
Trên cơ sở các dạng nguyên lý và kết cấu đã tham khảo, chúng tôi đã chọn nguyên lý bơm nhiệt hút ẩm đơn giản như trên hình 4.2.



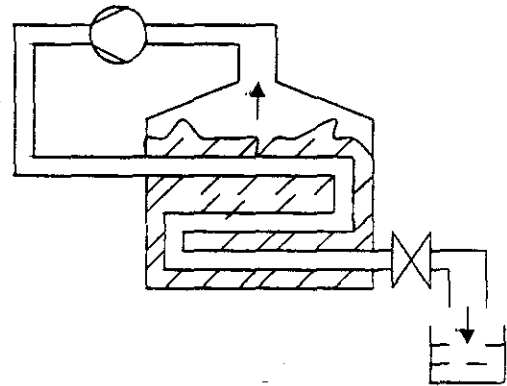
a) Bơm nhiệt hút ẩm



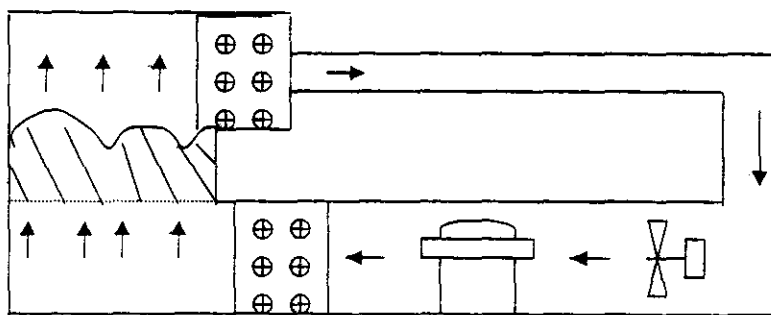
b) Bơm nhiệt hút ẩm có hoà trộn không khí ẩm



c) Bơm nhiệt sấy gỗ ở Đức



d) Bơm nhiệt chu trình hở



e) Bơm nhiệt sấy ngũ cốc ở Mỹ

Hình 4.1. Các dạng bơm nhiệt được dùng

4.2. Tính toán thiết kế

Có rất nhiều loại rau cần được sấy và chúng cũng có những tính chất đặc trưng khác nhau như độ ẩm ban đầu, trọng lượng riêng, ... Vì vậy, trong tính toán thiết kế máy sấy, hành củ được chọn làm đại diện do nó có trọng lượng riêng lớn nhất, nên trong cùng đơn vị thể tích buồng sấy thì khối lượng nước cần được làm bay hơi của hành củ lớn hơn cả.

4.2.1. Tính toán nhiệt yêu cầu

Cho rằng: Độ ẩm ban đầu của nguyên liệu sấy là $W_1 = 70\%$,

Độ ẩm của nguyên liệu sau khi sấy là $W_2 = 10\%$,

Khối lượng nguyên liệu: 150 kg.

Thời gian sấy: 12 giờ.

Môi trường có nhiệt độ $T_1 = 25^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 90\%$

Theo Brooker và ctv [2] và McLean [8], các tính toán nhiệt cho quá trình sấy được trình bày như sau:

Lượng nước cần rút ra khỏi sản phẩm là:

$$G_n = m_1 \frac{W_1 - W_2}{1 - W_2} = 100 \text{ kg}$$

Nhiệt lượng cần để bay hơi lượng nước này là:

$$Q = \frac{C \cdot G_n}{\eta} = 320000 \text{ kJ}$$

Trong đó: C – là nhiệt hoá hơi 1 kg nước = 2400 kJ;

η - là hiệu suất sử dụng nhiệt khi sấy = 75%

Như vậy lượng nhiệt cần thiết trong 1 giờ là:

$$Q_h = 320000 : 12 = 26667 \text{ kJ/h } (= 7,4 \text{ kW})$$

4.2.2. Tính kích thước buồng sấy

Tỷ trọng của hành củ thái lát là $\rho = 450 \text{ kg/m}^3$

Thể tích của khối nguyên liệu 150 kg là: $150 : 450 = 0,33 \text{ m}^3$

Chọn kích thước mỗi khay sấy là $(0,9 \times 0,6) \text{ m}$ và bề dày lớp nguyên liệu sấy là $0,1 \text{ m}$, thì thể tích một khay sấy là $0,054 \text{ m}^3$. Do đó số khay sấy cần là:

$$0,33 : 0,054 = 6,1$$

Do kết cấu buồng sấy chia làm hai hàng khay để giảm độ cao, nên số khay sẽ là chẵn và lớn hơn 6 (theo tính toán trên), như vậy số khay được lấy bằng 8.

4.2.3. Tính chọn bơm nhiệt

Với hệ số nhiệt của bơm nhiệt $\varphi = 3$, công suất của máy nén sẽ là:

$$N = \frac{Q_h}{\varphi} \approx 2,5 \text{ kW}$$

Đối với máy có công suất bé, thường chọn máy nén kín. Nhiệt lượng do động cơ máy nén nhả ra sẽ được chính môi chất lạnh nhận vào, do đó nó sẽ được giải nhiệt bằng môi chất và có lợi về nhiệt [3].

Năng suất lạnh của máy: $Q_o = Q_h - N = 4,9 \text{ kW} (= 4214 \text{ kCal/h})$

Đối với dàn ngưng, năng suất của dàn là nhiệt lượng mà nó có thể nhả ra cho chất giải nhiệt (ở đây là không khí) trong một đơn vị thời gian. Vì vậy $Q_n = Q_h = 26667 \text{ kJ/h} (= 6400 \text{ kCal/h})$. Chọn dàn ngưng là dạng ống có cánh để giải nhiệt tốt với độ chênh lệch nhiệt độ trung bình logarit giữa tác nhân lạnh và chất thải nhiệt $\Delta_{tb} = 13^\circ\text{C}$, hệ số truyền nhiệt của dàn là $k = 12 \text{ kCal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ [7; 3]. Như vậy diện tích trao đổi nhiệt của dàn ngưng là:

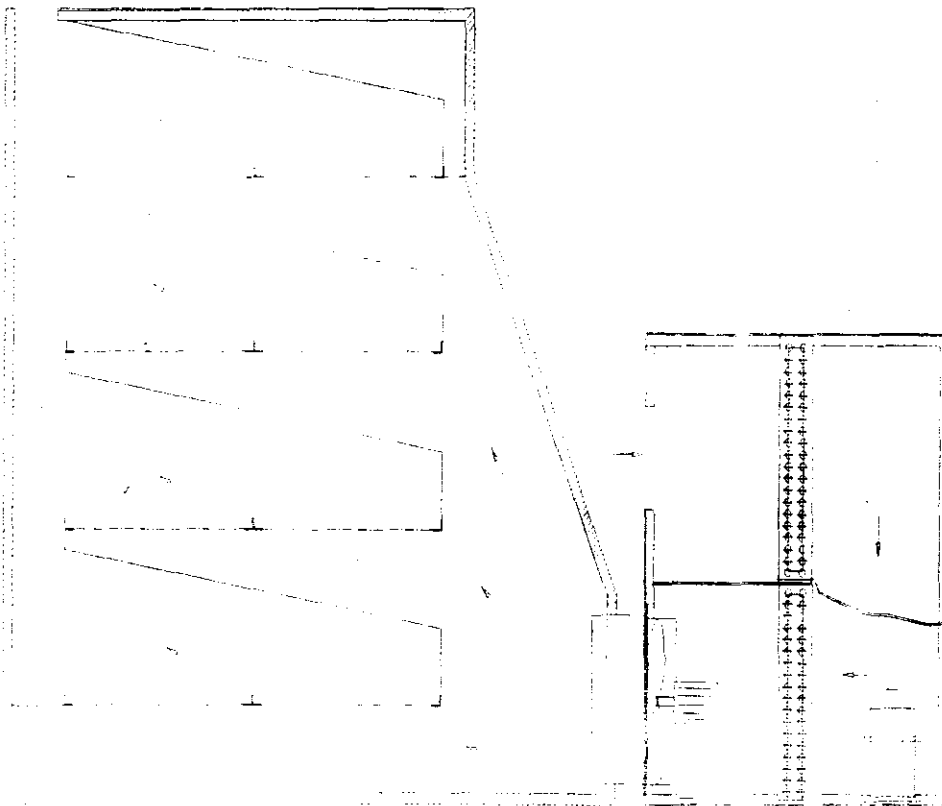
$$F_n = \frac{Q_n}{k \cdot \Delta_{tb}} = 41 \text{ m}^2$$

Đối với dàn bay hơi, năng suất của dàn chính là năng suất lạnh. Vì vậy $Q_l = Q_o = 4214 \text{ kCal/h}$. Chọn dàn bay hơi là dạng ống có cánh với độ chênh lệch nhiệt độ trung bình logarit giữa tác nhân lạnh và không khí đi qua $\Delta_{tb} = 10^\circ\text{C}$, hệ số

truyền nhiệt của dàn là $k = 11 \text{ kCal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. Như vậy diện tích trao đổi nhiệt của dàn bay hơi là:

$$F_f = \frac{Q_1}{k \cdot \Delta_{tb}} = 38 \text{ m}^2$$

Như vậy ta chọn bơm nhiệt có năng suất lạnh 4500 kCal/h, với máy nén kín công suất 2,5 kW, môi chất lạnh là R22, dàn ngưng và dàn bay hơi là dạng ống có cánh tản nhiệt với tổng diện tích các tấm là 41 và 38 m².



Hình 4.2. Sơ đồ máy sấy được chọn

4.2.4. Tính chọn quạt

Nhiệt độ không khí sau khi nhận nhiệt từ dàn ngưng tụ của bơm nhiệt thường chênh với nhiệt độ môi trường $15 - 18^{\circ}\text{C}$, nghĩa là bơm nhiệt thường cho nhiệt độ khoảng $T_2 = 43^{\circ}\text{C}$, như vậy nhiệt lượng một kg không khí phải mang vào buồng sấy là:

$$q_k = C_p \cdot \Delta T = 19,8 \text{ kJ} / \text{kgkk}$$

Do đó lưu lượng không khí sấy cần thiết với $\rho_{kk} = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$ là:

$$G_{kk} = \frac{Q_h}{q_k} = 1347 \text{ kgkk} / \text{h} = 1212 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Sức cản của hành củ thái lát đối với dòng khí chọn tương đương với sức cản của hạt đậu tương là $25,4 \text{ mmH}_2\text{O}$ trên 1 mét bề dày. Với bề dày lớp nguyên liệu $0,1 \text{ m}$ và hệ số giảm áp qua các ống dẫn gấp khúc, và qua lớp lưới khay là 70% , thì áp lực tổng được chọn là $10 \text{ mmH}_2\text{O}$.

Như vậy chọn quạt có sẵn với: lưu lượng $G_{kk} = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$;

áp lực $P = 16 \text{ mmH}_2\text{O}$;

công suất: $0,2 \text{ kW}$.

Để tránh trường hợp luồng khí đi qua quạt nhưng không đi qua dàn ngưng đầy đủ do các vấn đề kỹ thuật, thường quạt được lắp sau dàn ngưng [7].

V. THÍ NGHIỆM SẤY RAU.

Rau quả rất nhạy cảm với nhiệt và ánh sáng, vì vậy khi chịu tác dụng của nhiệt và ánh sáng, chúng bị tổn thất nhiều vitamin C. Trong điều kiện nóng và ẩm thì chlorophyll (chất diệp lục trong rau quả) bị ô xy hoá biến thành pheophitin có màu sẫm [19]. Do vậy, trong quá trình sấy, rau quả thường bị chuyển sang màu nâu hoặc đen do phản ứng đường khử với các axit amin hoặc do sự khử nước của đường dưới tác dụng của nhiệt độ. ở điều kiện ẩm, nếu nhiệt độ trên 60°C thì các

protein bị biến tính. Chính vì vậy, không nên sấy rau quả ở nhiệt độ cao trừ trường hợp sấy phun ở thời gian ngắn. Đặc biệt với rau gia vị thì nhiệt độ sấy cao sẽ làm mất hương vị đặc trưng và có thể bị sùng hoá làm giảm khả năng tương nở khi sử dụng [16; 19].

5.1. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.

5.1.1. Chuẩn bị nguyên liệu

- Hành củ: sau khi thu hoạch được rửa sạch, cắt bỏ rễ, lá, bóc lớp vỏ ngoài và thái lát có bề dày 3 mm, cân khối lượng và rải đều lên khay tùy theo độ dày lớp nguyên liệu sấy thí nghiệm.

- Hành lá: được lấy từ hành hoa, rửa sạch, cắt bỏ phần rễ và ngọn lá, bỏ các lá úa héo, thái ngắn 5 - 7 mm, cân khối lượng và rải đều lên khay tùy theo độ dày lớp nguyên liệu sấy thí nghiệm.

- Rau thìa là và rau thơm: rửa sạch, cắt bỏ phần rễ, bỏ các cọng già, lá úa héo, thái ngắn 5 - 7 mm, làm tương tự như với hành lá.

5.1.2. Thiết bị thí nghiệm

- Máy sấy bơm nhiệt (ảnh phụ lục 5):

Máy sấy bơm nhiệt có năng suất 150 kg/m², dùng bơm nhiệt công suất 6400 kCal/h, động cơ máy nén 2,5 kW. Buồng sấy có 8 khay, mỗi khay có thể tích chứa 0,054 m³, diện tích khay 0,54 m². Quạt sấy có lưu lượng 1600 m³/h. Tốc độ gió được điều chỉnh nhờ thay đổi diện tích sàn sấy.

- Thiết bị đo vận tốc gió: dùng thiết bị AIRFLOW – TA 35 với dải đo từ 0 - 20 m/s, độ chính xác 0,03 m/s.

- Đo năng lượng tiêu thụ: Một oát kế được lắp trước máy sấy bơm nhiệt. Năng lượng điện tiêu thụ được ghi lại thông qua chỉ số của Oát kế sau mỗi thí nghiệm.

- Xác định độ ẩm:

Độ ẩm ban đầu của nguyên liệu được xác định theo phương pháp tủ sấy. Một khay nhỏ chứa một lượng nguyên liệu tương ứng với bề dày lớp sấy được đặt trong buồng sấy. Trọng lượng cuối cùng tương ứng với độ ẩm cuối cùng được tính, và khay nhỏ này định kỳ được lấy ra để cân nhằm theo dõi trọng lượng cuối cùng.

- Đánh giá màu sắc: Được đánh giá bằng cảm quan

5.1.3. Chế độ thí nghiệm

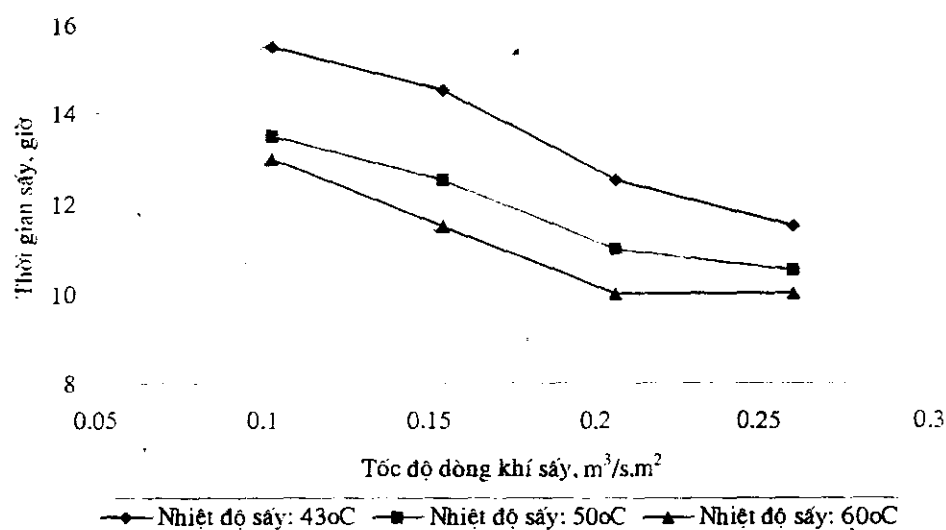
Thí nghiệm được tiến hành ở 4 tốc độ dòng tác nhân sấy khác nhau: 0,10; 0,15; 0,20 và 0,26 m³/s.m² sàn và phối hợp ở 3 chế độ nhiệt độ 43; 50 và 60°C.

5.2. Kết quả và thảo luận

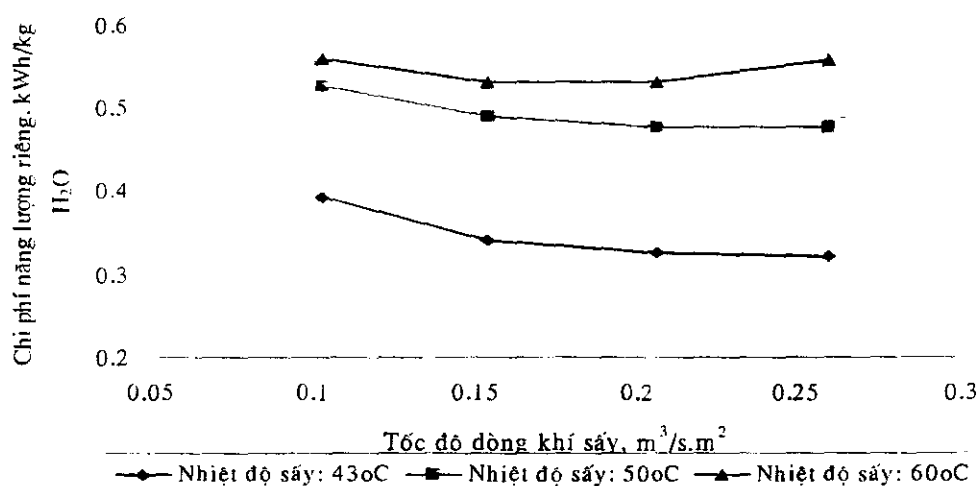
5.2.1. Thí nghiệm sấy hành củ thái lát

Với các chế độ nhiệt độ và lưu lượng gió khác nhau, kết quả thí nghiệm về thời gian, chất lượng sấy và chi phí năng lượng riêng sau khi sấy từ độ ẩm 70% xuống 10% được cho ở phụ lục 1.

Kết quả sấy với lớp nguyên liệu dày 7 cm được thể hiện trên biểu đồ quan hệ giữa tốc độ gió với thời gian sấy (Hình 5.1) và với chi phí năng lượng riêng (Hình 5.2). Khi tốc độ dòng khí sấy tăng trong khoảng từ 0,1 đến 0,26 m³/s.m² thì thời gian sấy giảm. ở nhiệt độ sấy 60°C thì thời gian sấy không giảm khi tốc độ gió > 0,2 m³/s.m². Điều này là do tốc độ gió cao và nguyên liệu chưa kịp nhận nhiệt thì nhiệt đã bị thoát đi. Vì vậy, chi phí năng lượng riêng có chiều hướng hơi tăng khi sấy ở nhiệt độ 60°C và tốc độ gió cao 0,26 m³/s.m². Tốc độ gió tăng trong dải thấp từ 0,1 đến 0,2 m³/s.m² thì thời gian sấy giảm nhanh ở cả 3 cấp nhiệt độ do gió tăng sẽ mang hơi ẩm thoát nhanh hơn, và do đó chi phí năng lượng riêng giảm.



Hình 5.1. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến thời gian sấy khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm



Hình 5.2. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến chi phí năng lượng riêng khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm

Tương tự khi bề dày lớp nguyên liệu là 5 và 10 cm, chi phí năng lượng riêng đều giảm khi tốc độ gió tăng 0.1 đến 0.2 $\text{m}^3/\text{s.m}^2$, đặc biệt giảm mạnh ở lớp bề

dày nguyên liệu cao (Bảng 5.1, 5.2, 5.3 và 5.4). Ở nhiệt độ 60⁰C thì ở cả 3 cấp bề dày nguyên liệu được thử, chi phí năng lượng riêng đều tăng khi tăng tốc độ gió từ 0,2 đến 0,26 m³/s.m² do nhiệt chưa kịp trao đổi giữa không khí và nguyên liệu sấy đã bị thoát ra ngoài. Tuy nhiên sự tăng này là không đáng kể.

Bảng 5.1. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp hành củ thái lát 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, ⁰ C		
	43	50	60
0,10	13,5	11,5	10,5
0,15	12,0	10,5	9,5
0,20	10,5	9,5	9,0
0,26	10,0	9,5	9,0

Bảng 5.2. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp hành củ thái lát 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, ⁰ C		
	43	50	60
0,10	0,351	0,518	0,525
0,15	0,324	0,483	0,500
0,20	0,300	0,479	0,505
0,26	0,300	0,490	0,530

Bảng 5.3. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp hành củ thái lát 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, ⁰ C		
	43	50	60
0,10	19,0	17,5	16,5
0,15	18,0	15,5	14,0
0,20	15,0	13,0	12,5
0,26	14,0	12,0	11,5

Bảng 5.4. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp hành củ thái lát 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,748	0,628	0,677
0,15	0,550	0,479	0,589
0,20	0,451	0,387	0,525
0,26	0,451	0,391	0,557

Thời gian sấy và chi phí năng lượng riêng không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 50 và 60°C và khác đáng kể so với sấy ở 43°C trong dải tốc độ 0,15 – 0,2 m³/s.m². ở tốc độ thấp 0,1 m³/s.m², thời gian sấy khi sấy ở 43°C dài hơn nhiều ở 2 nhiệt độ sấy còn lại, và dẫn đến tình trạng màu sản phẩm bị hắc và đỏ do bị giữ ẩm và nhiệt, đặc biệt ở lớp bề dày nguyên liệu 10 cm. Màu sản phẩm trắng tự nhiên hơn khi sấy ở tốc độ gió cao kể cả 3 cấp nhiệt độ (Bảng 5.5).

Tóm lại, khi sấy ở 43 hoặc 50°C, hành củ thái lát nên được sấy ở tốc độ gió 0,15 – 0,26 m³/s.m² với bề dày nguyên liệu sấy 5 và 7 cm, và 0,2 - 0,26 m³/s.m² với bề dày nguyên liệu 10 cm để tăng tốc độ thoát ẩm và giảm thời gian sấy. Nếu sấy ở 60°C, nên dùng tốc độ gió 0,15 – 0,26 m³/s.m² cho cả 3 cấp bề dày.

5.2.2. Thí nghiệm sấy hành lá

Với các chế độ nhiệt độ và lưu lượng gió khác nhau, kết quả thí nghiệm về thời gian, chất lượng sấy và chi phí năng lượng riêng sau khi sấy hành lá từ độ ẩm 80% xuống 10% được cho ở phụ lục 2.

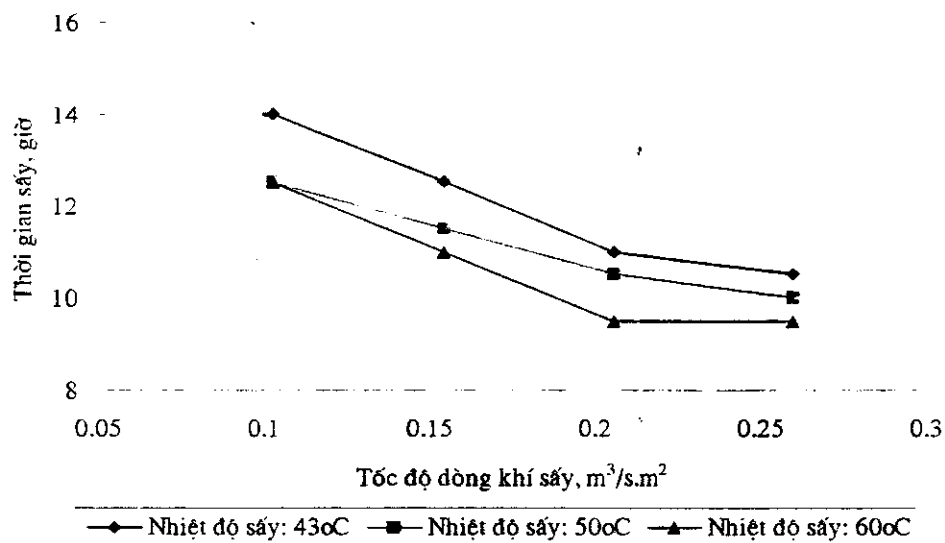
Kết quả sấy với lớp nguyên liệu dày 7 cm được thể hiện trên biểu đồ quan hệ giữa tốc độ gió với thời gian sấy (Hình 5.3) và với chi phí năng lượng riêng (Hình 5.4). Khi tốc độ dòng khí sấy tăng trong khoảng từ 0,1 đến 0,26 m³/s.m² thì thời gian sấy giảm nhanh. Thời gian sấy không giảm khi sấy ở nhiệt độ 60°C với tốc độ gió > 0,2 m³/s.m² do tốc độ gió cao làm nguyên liệu chưa kịp trao đổi

nhiều nhiệt và nhiệt bị thoát nhiều. Vì vậy, chi phí năng lượng riêng tăng lên ở chế độ nhiệt độ 60°C và tốc độ gió cao 0,26 m³/s.m². Sự tăng tốc độ gió trong dải

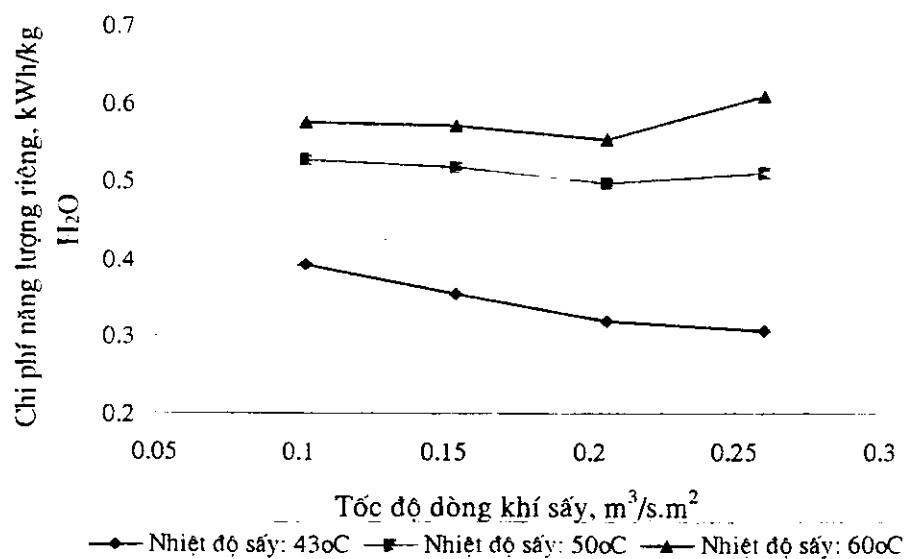
Bảng 5.5. *Chất lượng màu, mùi của hành củ thái lát sau khi sấy được đánh giá bằng cảm quan.*

Bề dày lớp sấy cm	Nhiệt độ sấy °C	Tốc độ gió m/s	Chất lượng màu, mùi
5	43	0,10	Màu hơi đỏ, mùi hắc
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	50	0,10	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu đỏ, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
7	43	0,10	Màu đỏ, mùi hắc
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	50	0,10	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
10	43	0,10	Màu đỏ, mùi hắc
		0,15	Màu hơi đỏ, mùi hơi hắc
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	50	0,10	Màu đỏ, mùi hơi hắc
		0,15	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên

từ 0,1 đến 0,2 $\text{m}^3/\text{s.m}^2$ làm thời gian sấy giảm nhanh ở cả 3 cấp nhiệt độ do gió tăng sẽ mang hơi ẩm thoát nhanh hơn, và do đó chi phí năng lượng riêng giảm đi.



Hình 5.3. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến thời gian sấy khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm



Hình 5.4. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến chi phí năng lượng riêng khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm

Khi bề dày lớp nguyên liệu là 5 và 10 cm, chi phí năng lượng riêng đều giảm khi tốc độ gió tăng 0,1 đến 0,2 m³/s.m², đặc biệt giảm mạnh ở lớp bề dày nguyên liệu cao (Bảng 5.6, 5.7, 5.8 và 5.9). Đối với nhiệt độ 50 và 60°C thì ở cả 3 cấp bề dày nguyên liệu được thử, chi phí năng lượng riêng đều tăng một cách đáng kể khi tăng tốc độ gió tăng từ 0,2 đến 0,26 m³/s.m² do nhiệt chưa kịp trao đổi giữa không khí và nguyên liệu sấy đã bị thoát ra ngoài.

Bảng 5.6. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp hành lá 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	12,5	11,5	10,0
0,15	11,0	10,0	9,0
0,20	10,5	9,5	9,0
0,26	10,0	9,5	9,0

Bảng 5.7. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp hành lá 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,362	0,535	0,586
0,15	0,319	0,514	0,573
0,20	0,300	0,511	0,598
0,26	0,296	0,547	0,722

Bảng 5.8. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp hành lá 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	17,5	15,5	14,0
0,15	14,0	12,5	11,5
0,20	12,5	11,5	10,5
0,26	12,0	11,0	10,5

Bảng 5.9. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp hành lá 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,664	0,582	0,624
0,15	0,512	0,448	0,565
0,20	0,426	0,406	0,568
0,26	0,434	0,442	0,630

Thời gian sấy không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 43, 50 và 60°C, trong khi đó chi phí năng lượng riêng không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 50 và 60°C và khác đáng kể so với sấy ở 43°C trong dải tốc độ 0,15 – 0,2 m³/s.m². Tuy nhiên, ở tốc độ thấp 0,1 m³/s.m², thời gian sấy khi sấy ở 43°C có cao hơn ở 2 nhiệt độ sấy còn lại, và dẫn đến tình trạng màu sản phẩm bị hắc và vàng do bị om nhiệt, đặc biệt ở lớp bề dày nguyên liệu 10 cm. Màu sản phẩm xanh tự nhiên hơn khi sấy ở tốc độ gió cao kể cả 3 cấp nhiệt độ (Bảng 5.10).

Như vậy, khi sấy hành lá ở 43 hoặc 50°C, với bề dày nguyên liệu sấy 5 đến 10 cm, hành lá nên được sấy ở tốc độ gió 0,15 – 0,26 m³/s.m². Khi sấy ở 60°C, nên dùng tốc độ gió 0,15 – 0,2 m³/s.m² cho cả 3 cấp bề dày. Ở các chế độ sấy này sẽ cho chi phí năng lượng riêng thấp, giảm thời gian sấy và màu sắc sản phẩm đẹp tự nhiên.

5.2.3. Thí nghiệm sấy rau thìa là

Với các chế độ nhiệt độ và lưu lượng gió khác nhau, kết quả thí nghiệm về thời gian, chất lượng sấy và chi phí năng lượng riêng sau khi sấy rau thìa là từ độ ẩm 80% xuống 10% được cho ở phụ lục 3.

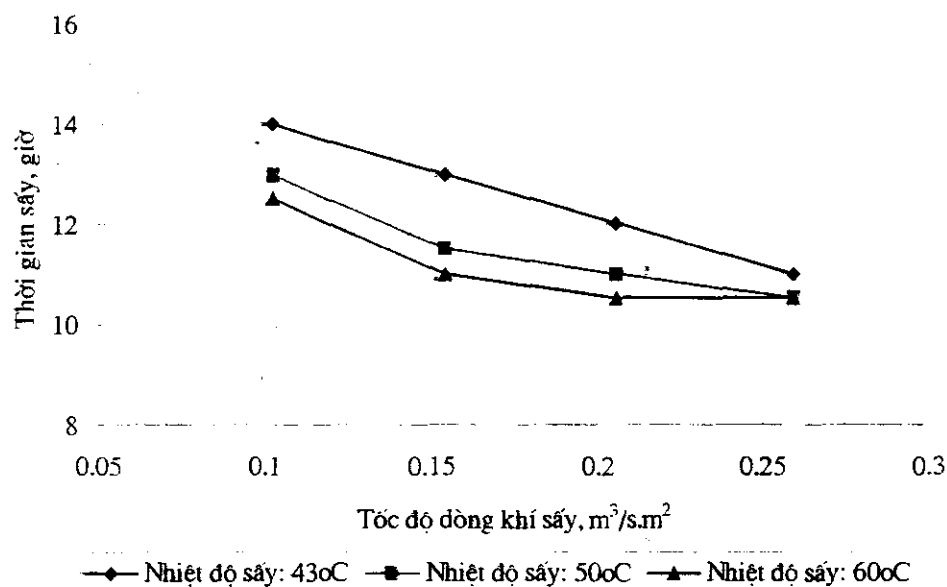
Kết quả sấy với lớp nguyên liệu dày 7 cm được thể hiện trên biểu đồ quan hệ giữa tốc độ gió với thời gian sấy (Hình 5.5) và với chi phí năng lượng riêng (Hình 5.6). Khi tốc độ dòng khí sấy tăng trong khoảng từ 0,1 đến 0,26 m³/s.m² thì thời gian sấy giảm nhanh. Cũng tương tự như sấy hành lá, ở nhiệt độ sấy 60°C thì

thời gian sấy không giảm khi tốc độ gió $> 0,2 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$. Chi phí năng lượng riêng tăng lên ở chế độ nhiệt độ 60°C và tốc độ gió cao $0,26 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$. Tốc độ gió tăng

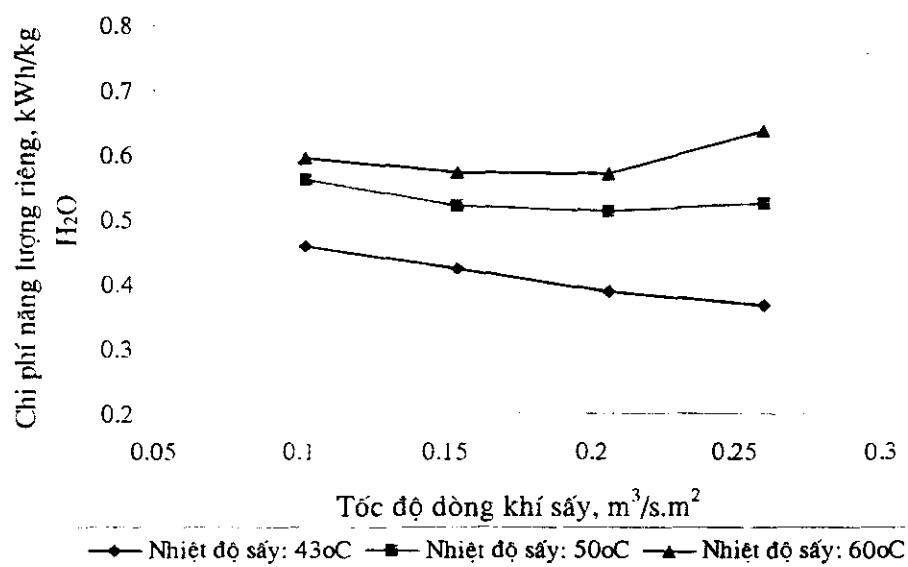
Bảng 5.10. *Chất lượng màu, mùi của hành lá sau khi sấy được đánh giá bằng cảm quan.*

Bề dày lớp sấy cm	Nhiệt độ sấy $^\circ\text{C}$	Tốc độ gió m/s	Chất lượng màu, mùi
5	43	0,10	Màu vàng, mùi hắc
		0,15	Màu xanh, mùi hơi hắc
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	50	0,10	Màu hơi vàng, mùi hắc
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu hơi vàng, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
7	43	0,10	Màu vàng, mùi hắc
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	50	0,10	Màu vàng, mùi hắc
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu hơi vàng, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
10	43	0,10	Màu vàng úa, mùi hơi hắc
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	50	0,10	Màu vàng, mùi hắc
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu vàng, mùi hăng tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên

trong dải từ 0,1 đến 0,2 $\text{m}^3/\text{s.m}^2$ thì thời gian sấy giảm nhanh ở cả 3 cấp nhiệt độ do gió tăng sẽ mang hơi ẩm thoát nhanh hơn, và do đó chi phí năng lượng riêng có chiều hướng giảm, nhưng không nhiều.



Hình 5.5. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến thời gian sấy khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm



Hình 5.6. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến chi phí năng lượng riêng khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm

Với bề dày lớp nguyên liệu là 5 và 10 cm, chi phí năng lượng riêng đều giảm khi tốc độ gió tăng 0,1 đến 0,2 m³/s.m², đặc biệt giảm mạnh ở lớp bề dày nguyên liệu cao và với nhiệt độ sấy 43 và 50°C (Bảng 5.11, 5.12, 5.13 và 5.14). Đối với nhiệt độ 50 và 60°C thì ở cả 3 cấp bề dày nguyên liệu được thử, chi phí năng lượng riêng đều tăng đáng kể khi tăng tốc độ gió tăng từ 0,2 đến 0,26 m³/s.m² do nhiệt chưa kịp trao đổi giữa không khí và nguyên liệu sấy đã bị thoát ra ngoài.

Bảng 5.11. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp rau thìa là 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	13,0	12,0	12,0
0,15	12,5	11,0	10,5
0,20	11,5	10,5	9,5
0,26	11,0	10,5	9,5

Bảng 5.12. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp rau thìa là 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,446	0,554	0,600
0,15	0,424	0,521	0,580
0,20	0,368	0,529	0,598
0,26	0,365	0,565	0,688

Bảng 5.13. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp rau thìa là 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	16,5	15,5	14,0
0,15	14,5	13,0	12,5
0,20	13,0	12,0	11,5
0,26	12,0	11,5	11,5

Bảng 5.14. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp rau thìa là 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,715	0,777	0,805
0,15	0,650	0,714	0,749
0,20	0,590	0,666	0,707
0,26	0,554	0,671	0,745

Thời gian sấy không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 43, 50 và 60°C, trong khi đó chi phí năng lượng riêng không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 50 và 60°C và khác đáng kể so với sấy ở 43°C trong dải tốc độ 0,15 – 0,26 m³/s.m². Ở tốc độ thấp 0,1 m³/s.m², thời gian sấy khi sấy ở 43°C cao hơn ở 2 nhiệt độ sấy còn lại, và dẫn đến tình trạng màu sản phẩm bị vàng do bị giữ ẩm và nhiệt, đặc biệt ở lớp bề dày nguyên liệu 10 cm. Màu sản phẩm xanh tự nhiên hơn khi sấy ở tốc độ gió cao kể cả 3 cấp nhiệt độ (Bảng 5.15).

Như vậy, khi sấy rau thìa là ở 43 hoặc 50°C, với bề dày nguyên liệu sấy 5 đến 10 cm, thìa là nên được sấy ở tốc độ gió 0,15 – 0,26 m³/s.m² do thìa là có độ xốp và thoáng như hành lá. Khi sấy ở 60°C, nên dùng tốc độ gió 0,15 – 0,2 m³/s.m² cho cả 3 cấp bề dày. Ở các chế độ sấy này sẽ cho chi phí năng lượng riêng thấp, giảm thời gian sấy và màu sắc sản phẩm đẹp tự nhiên.

5.2.4. Thí nghiệm sấy rau thơm

Với các chế độ nhiệt độ và lưu lượng gió khác nhau, kết quả thử nghiệm về thời gian, chất lượng sấy và chi phí năng lượng riêng sau khi sấy rau thơm từ độ ẩm 80% xuống 10% được cho ở phụ lục 4.

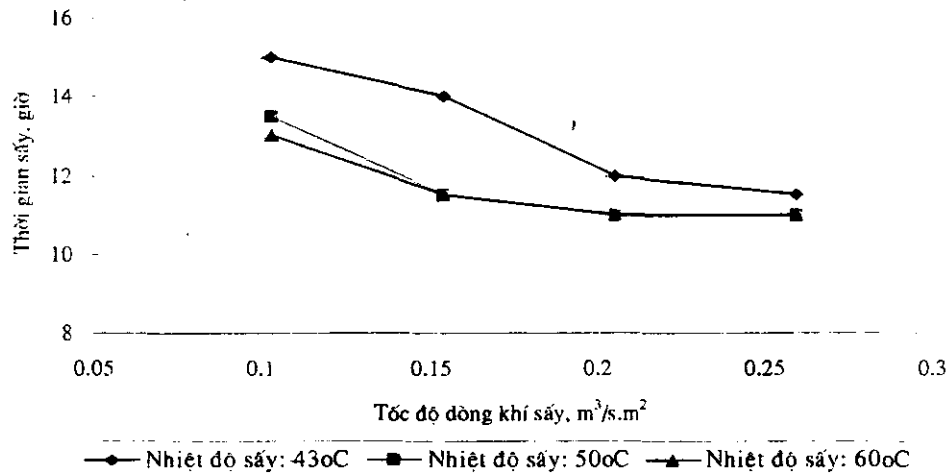
Kết quả sấy với lớp nguyên liệu dày 7 cm được thể hiện trên biểu đồ quan hệ giữa tốc độ gió với thời gian sấy (Hình 5.7) và với chi phí năng lượng riêng (Hình 5.8). Khi tốc độ dòng khí sấy tăng trong khoảng từ 0,1 đến 0,26 m³/s.m² thì

thời gian sấy giảm nhanh. ở nhiệt độ sấy 50 và 60°C, thời gian sấy không giảm khi tốc độ gió > 0.2 m³/s.m². Điều này là do rau thơm có độ thoáng hơn so với

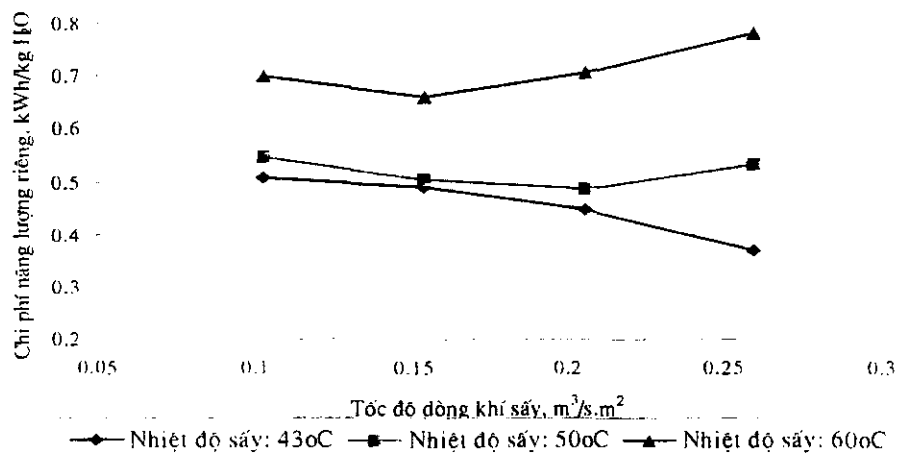
Bảng 5.15. *Chất lượng màu, mùi của rau thìa là sau khi sấy được đánh giá bằng cảm quan.*

Bề dày lớp sấy cm	Nhiệt độ sấy °C	Tốc độ gió m/s	Chất lượng màu, mùi
5	43	0,10	Màu thâm, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm yếu
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	50	0,10	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	60	0,10	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
7	43	0,10	Màu thâm, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	50	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
10	43	0,10	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	50	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	60	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên

hành và thìa là, và tốc độ gió cao làm nhiệt thoát đi nhanh. Chính vì vậy, chi phí năng lượng riêng tăng mạnh ở chế độ nhiệt độ 50 và 60°C với tốc độ gió cao 0,2 - 0,26 m³/s.m². Tốc độ gió tăng trong dải thấp từ 0,1 đến 0,15 m³/s.m² thì thời gian sấy giảm nhanh ở cả 3 cấp nhiệt độ do gió tăng sẽ mang hơi ẩm thoát nhanh hơn, và do đó chi phí năng lượng riêng giảm.



Hình 5.7. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến thời gian sấy khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm



Hình 5.8. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến chi phí năng lượng riêng khi bề dày lớp nguyên liệu 7 cm

Khi bề dày lớp nguyên liệu là 5 và 10 cm, chi phí năng lượng riêng giảm khi tốc độ gió tăng 0,1 đến 0,2 m³/s.m², đặc biệt giảm mạnh khi bề dày nguyên liệu tăng và với nhiệt độ sấy 43 và 50°C (Bảng 5.16, 5.17, 5.18 và 5.19). Ở nhiệt độ 50°C với cả 3 cấp bề dày nguyên liệu được thử, chi phí năng lượng riêng đều tăng khi tăng tốc độ gió tăng từ 0,2 đến 0,26 m³/s.m². Còn ở nhiệt độ 60°C, chi phí năng lượng riêng tăng khi tăng tốc độ gió từ 0,15 đến 0,26 m³/s.m² do nhiệt chưa kịp trao đổi giữa không khí và nguyên liệu sấy đã bị thoát ra ngoài.

Bảng 5.16. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp rau thơm 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	13,5	12,0	11,5
0,15	13,0	10,5	9,5
0,20	11,0	10,0	9,5
0,26	10,5	10,0	9,5

Bảng 5.17. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp rau thơm 5 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,477	0,564	0,624
0,15	0,471	0,537	0,588
0,20	0,387	0,530	0,620
0,26	0,354	0,576	0,705

Bảng 5.18. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến thời gian sấy (giờ) khi bề dày lớp rau thơm 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	18,5	16,0	15,0
0,15	15,0	14,0	13,0
0,20	13,5	12,5	12,0
0,26	12,5	12,0	12,0

Bảng 5.19. Ảnh hưởng của tốc độ gió và nhiệt độ sấy đến chi phí năng lượng riêng (kWh/kgH₂O) khi bề dày lớp rau thơm 10 cm

Tốc độ gió, m ³ /s.m ²	Nhiệt độ sấy, °C		
	43	50	60
0,10	0,884	0,780	0,761
0,15	0,780	0,655	0,610
0,20	0,566	0,489	0,550
0,26	0,510	0,489	0,606

Thời gian sấy không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 50 và 60°C, và khác nhau đáng kể với sấy ở 43°C, trong khi đó chi phí năng lượng riêng không khác nhau đáng kể giữa sấy ở 43 và 50°C nhưng khác đáng kể so với sấy ở 60°C trong dải tốc độ thí nghiệm. ở tốc độ thấp 0,1 m³/s.m², thì thời gian sấy khi sấy ở 43°C có cao hơn ở 2 nhiệt độ sấy khác, và dẫn đến tình trạng màu sản phẩm bị thâm đen do bị giữ nhiệt và ẩm, đặc biệt ở lớp bề dày nguyên liệu 10 cm. Màu sản phẩm xanh tự nhiên hơn khi sấy ở tốc độ gió cao kể cả 3 cấp nhiệt độ (Bảng 5.20).

Như vậy, khi sấy rau thơm ở 43 hoặc 50°C, với bề dày nguyên liệu sấy 5 đến 10 cm, rau thơm nên được sấy ở tốc độ gió 0,15 – 0,26 m³/s.m² do rau thơm có độ xốp và thoáng hơn cả. Khi sấy ở 60°C, nên dùng tốc độ gió 0,15 m³/s.m² cho cả 3 cấp bề dày, ở các chế độ sấy này sẽ cho chi phí năng lượng riêng thấp, giảm thời gian sấy và màu sắc sản phẩm đẹp tự nhiên.

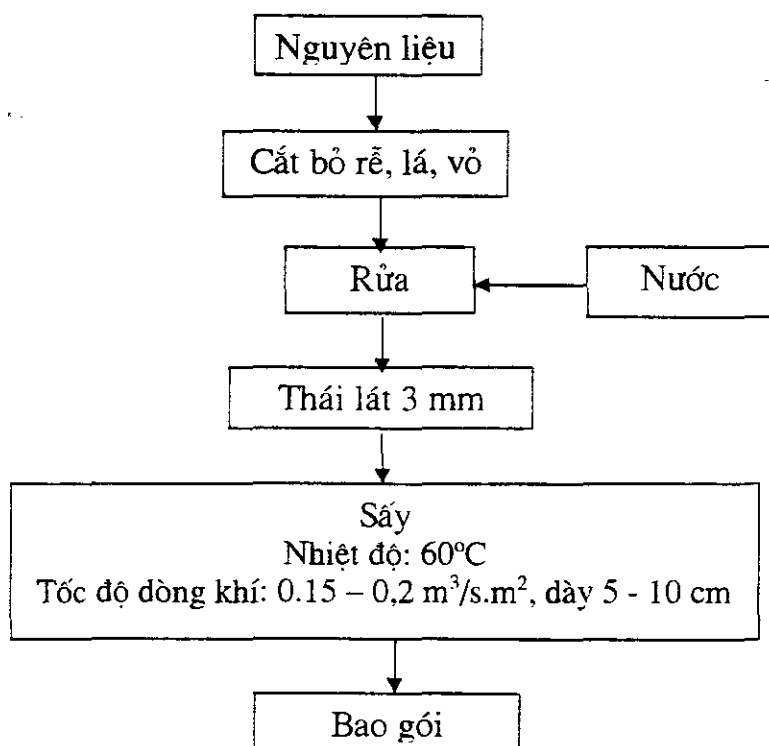
Bảng 5.20. *Chất lượng màu, mùi của rau thơm sau khi sấy được đánh giá bằng cảm quan.*

Bề dày lớp sấy cm	Nhiệt độ sấy °C	Tốc độ gió m/s	Chất lượng màu, mùi
5	43	0,10	Màu thâm, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	50	0,10	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	60	0,10	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
7	43	0,10	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	50	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	60	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
10	43	0,10	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	50	0,10	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	60	0,10	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
		0,15	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,20	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
		0,26	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên

VI. XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ SẤY

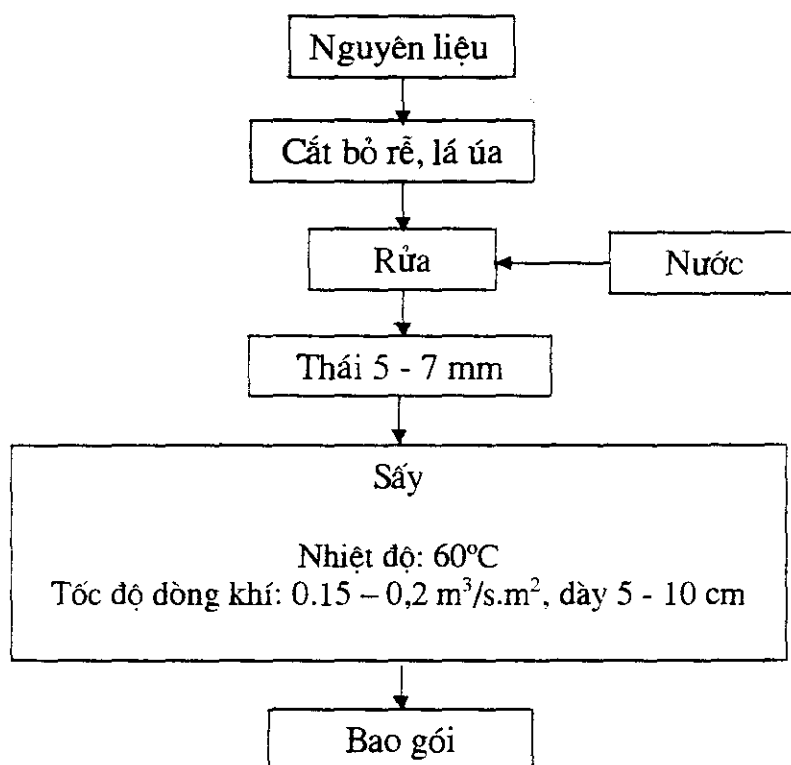
Quy trình công nghệ để sấy một số rau quả đã được nhiều nghiên cứu tiến hành, song ở chế độ công nghệ sấy nhiệt thông thường. Qua các thí nghiệm trên máy sấy bơm nhiệt cho một số loại rau, quy trình công nghệ sấy cụ thể cho từng loại được đề ra như sau:

Đối với hành củ, cắt bỏ rễ, lá và vỏ già bên ngoài, sau đó rửa sạch đất cát và tạp chất bằng nước máy. Tiếp theo, củ được thái lát với độ dày khoảng 3 mm bằng tay hoặc bằng máy. Hành lát được xếp vào khay và đưa vào buồng sấy. Tùy theo lượng hành có mà xếp với độ dày khác nhau. Nếu độ dày 5 – 7 cm, có thể sấy ở 43 – 50°C với tốc độ dòng khí sấy 0,15 – 0,26 m³/s.m², hoặc ở 60°C với tốc độ dòng khí sấy 0,15 – 0,2 m³/s.m². Nếu độ dày 10 cm, có thể sấy ở 43 – 50°C với tốc độ dòng khí sấy 0,2 – 0,26 m³/s.m², hoặc ở 60°C với tốc độ dòng khí sấy 0,15 – 0,2 m³/s.m² đến khô. Tuy nhiên, để cho khả năng diệt vi sinh vật được tốt thì nên sấy ở chế độ với nhiệt độ 60°C như chỉ ra trong sơ đồ hình 6.1. Sau đó, khay được đưa ra để khoảng 10 phút cho nguội rồi tiến hành đóng túi.



Hình 6.1. Sơ đồ công nghệ sấy hành củ thái lát trên máy sấy bơm nhiệt

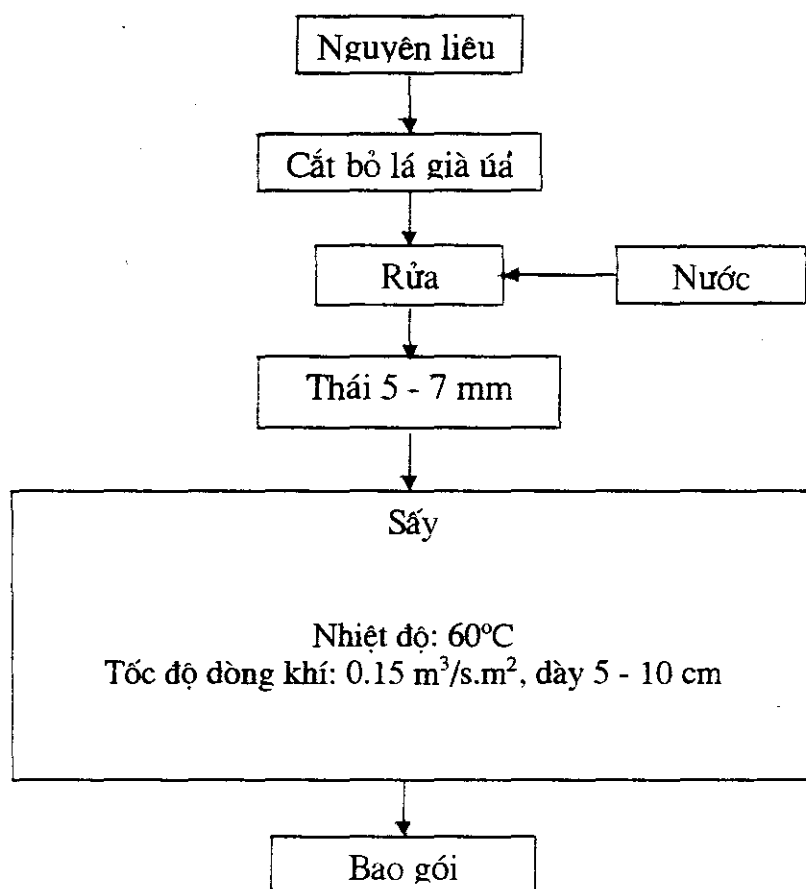
Đối với hành lá cũng như rau thìa là, cắt bỏ rễ, lá úa và vỏ già bên ngoài, sau đó rửa sạch đất cát và tạp chất bằng nước máy. Tiếp theo, thái ngắn với chiều dài khoảng 5 - 7 mm bằng tay hoặc bằng máy. Hành lá hoặc rau thìa là sau khi thái được xếp vào khay và đưa vào buồng sấy. Tùy theo lượng mà xếp với độ dày khác nhau. Với độ dày 5 - 10 cm, có thể sấy ở $43 - 50^{\circ}\text{C}$ với tốc độ dòng khí sấy $0.15 - 0.26 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, hoặc ở 60°C với tốc độ dòng khí sấy $0.15 - 0.2 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$ đến khô. Tuy nhiên, để cho khả năng diệt vi sinh vật được tốt thì nên sấy ở chế độ với nhiệt độ 60°C như chỉ ra trong sơ đồ hình 6.2. Sau đó, khay được đưa ra để khoảng 10 phút cho nguội rồi tiến hành đóng túi.



Hình 6.2. Sơ đồ công nghệ sấy hành lá, rau thìa là trên máy sấy bơm nhiệt

Đối với rau thơm, cắt bỏ cọng già, lá sâu, úa, sau đó rửa sạch đất cát và tạp chất bằng nước máy. Tiếp theo, thái ngắn khoảng 5 - 7 mm bằng tay hoặc bằng máy rồi xếp vào khay và đưa vào buồng sấy. Tùy theo lượng mà xếp với độ dày

khác nhau. Với độ dày 5 – 10 cm, có thể sấy ở 43⁰C với tốc độ dòng khí sấy 0.15 – 0.26 m³/s.m², hoặc ở 50⁰C với tốc độ dòng khí sấy 0,15 – 0,2 m³/s.m², hoặc ở 60⁰C với tốc độ dòng khí sấy 0.15 m³/s.m² đến khô. Tuy nhiên, để cho khả năng diệt vi sinh vật được tốt thì nên sấy ở chế độ với nhiệt độ 60⁰C như chỉ ra trong sơ đồ hình 6.3. Sau đó, khay được đưa ra để khoảng 10 phút cho nguội rồi tiến hành đóng túi.



Hình 6.3. Sơ đồ công nghệ sấy rau thơm trên máy sấy bơm nhiệt

VII. SO SÁNH VÀ TÍNH HIỆU QUẢ KINH TẾ

Tiến hành lấy số liệu về thời gian sấy, chi phí than và điện khi sấy hành củ thái lát bằng máy sấy dùng lò đốt than đá trực tiếp tại gia đình ông Hiền, thôn Mạn Đê, xã Nam Trung, Nam Sách, Hải Dương, tính và so sánh với máy sấy dùng bơm nhiệt về chi phí năng lượng riêng cũng như giá thành sấy như sau:

7.1. Sấy hành củ thái lát bằng máy sấy gián tiếp dùng nhiên liệu than đá

Ba trăm (300) kg hành tươi có độ ẩm ban đầu 80% được sấy xuống 10% trong 14 giờ, nhiệt độ sấy: 60 - 70°C .

Lượng nước bốc hơi tính được là 235,2 kg. Lượng sản phẩm khô là 64,8 kg. Lượng than tiêu thụ là 56 kg. Năng lượng điện do quạt sấy tiêu thụ: 11,2 kWh.

Như vậy tổng năng lượng tiêu thụ quy đổi là:

$$\frac{56 \times 25.000}{3600} + 11,2 = 400 \text{ kWh}$$

Như vậy, chi phí năng lượng riêng:

$$\frac{400}{235,2} \approx 1,701 \text{ kWh/kg H}_2\text{O}$$

Chi phí sấy là:

$$\frac{11,2 \times 1200 + 56 \times 1000}{64,8} = 1072 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

7.2. Sấy hành củ thái lát bằng máy sấy dùng bơm nhiệt

Từ kết quả sấy hành củ thái lát với độ dày trung bình là 7 mm bằng máy sấy dùng bơm nhiệt thì tính giá thành sấy được tính như sau:

Khi sấy ở nhiệt độ 43°C:

+ Ở tốc độ gió 0,154 m³/s.m², chi phí năng lượng riêng là 0,341 kWh/kg nước, thời gian sấy là 14,5 giờ, điện năng tiêu thụ 36,5 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{36,5 \times 1.200 \text{ đ/kWh}}{31} = 1413 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

+ Ở tốc độ gió $0,206 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là $0,325 \text{ kWh/kg}$ nước, thời gian sấy là 12,5 giờ, điện năng tiêu thụ 30 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{30 \times 1.200 \text{ đ/kWh}}{26} = 1385 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

+ Ở tốc độ gió $0,260 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là $0,321 \text{ kWh/kg}$ nước, thời gian sấy là 11,5 giờ, điện năng tiêu thụ 23 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{23 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{20,4} = 1353 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

Khi sấy ở nhiệt độ 50°C :

+ Ở tốc độ gió $0,154 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là $0,49 \text{ kWh/kg}$ nước, thời gian sấy là 12,5 giờ, điện năng tiêu thụ 57,5 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{57,5 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{32,4} = 2130 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

+ Ở tốc độ gió $0,206 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là $0,477 \text{ kWh/kg}$ nước, thời gian sấy là 11 giờ, điện năng tiêu thụ 45 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{45 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{27} = 2000 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

+ Ở tốc độ gió $0,260 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là $0,477 \text{ kWh/kg}$ nước, thời gian sấy là 10 giờ, điện năng tiêu thụ 35 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{35 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{20,8} = 2019 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

Khi sấy ở nhiệt độ 60°C :

+ Ở tốc độ gió $0.154 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là 0.531 kWh/kg nước, thời gian sấy là 11.5 giờ, điện năng tiêu thụ 58.5 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{58.5 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{31} = 2265 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

+ Ở tốc độ gió $0.206 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là 0.531 kWh/kg nước, thời gian sấy là 10 giờ, điện năng tiêu thụ 50 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{50 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{27.8} = 2158 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

+ Ở tốc độ gió $0.260 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$, chi phí năng lượng riêng là 0.536 kWh/kg nước, thời gian sấy là 10 giờ, điện năng tiêu thụ 38 kWh.

$$\text{Chi phí sấy} = \frac{38 \times 1200 \text{ đ/kWh}}{20} = 2280 \text{ đ/kg sản phẩm khô}$$

Qua so sánh ta thấy chi phí năng lượng riêng khi dùng máy sấy bơm nhiệt chỉ nằm trong khoảng $0.34 - 0.54 \text{ kWh/kg}$ nước bốc hơi, bằng $1/3 - 1/4$ chi phí năng lượng riêng khi dùng máy sấy dùng lò đốt than trực tiếp (1.7 kWh/kg nước). Tuy nhiên chi phí sấy (chưa kể khấu hao thiết bị, lương công nhân) lại cao hơn $1.3 - 2.2$ lần tùy theo nhiệt độ sử dụng (khoảng 1400 đ, 2000 đ và 2300 đ/kg sản phẩm khi sấy ở 43, 50 và 60°C tương ứng, trong khi đó chỉ là 1072 đ khi sấy bằng máy sấy với than đốt trực tiếp). Điều này do máy sấy bơm nhiệt phải sử dụng điện trong khi 1 kg than có giá rẻ hơn và có nhiệt trị cao hơn nhiều so với 1 kWh điện.

Tuy nhiên chất lượng sản phẩm khi sấy bằng máy sấy bơm nhiệt sạch hơn, hành củ thái lát sau sấy trắng hơn so với sấy bằng máy sấy dùng lò đốt than trực tiếp.

KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

Qua các kết quả nghiên cứu, thiết kế và thử nghiệm cho thấy:

Bơm nhiệt cho thấy có hiệu quả trong việc ứng dụng vào công nghệ sấy ở điều kiện khí hậu nóng ẩm như ở Việt nam.

Trong khuôn khổ của nội dung được giao, nhóm đề tài đã tìm hiểu thực tiễn tình hình sản xuất rau quả và nhu cầu làm khô rau quả trong nước. Nhóm đã thu thập và tìm hiểu được các tài liệu về công nghệ cũng như nguyên lý và phương pháp sấy rau quả dùng bơm nhiệt. Từ đó đã tính toán thiết kế, chế tạo và thử nghiệm mẫu máy sấy dùng bơm nhiệt có năng suất 150 – 200 kg/mẻ, với chi phí năng lượng riêng thấp dưới 1 kWh/kg ẩm bốc hơi ở hầu hết các chế độ nhiệt.

Máy sấy bơm nhiệt được thiết kế làm việc tốt, ổn định. Máy có thể được dùng để sấy nhiều sản phẩm dạng hạt, rau quả thái miếng. Các sản phẩm dạng lá hoặc miếng to bản sẽ làm giảm năng suất của máy do bề dày lớp nguyên liệu bị hạn chế.

Máy sấy được thiết kế đảm bảo sấy được các sản phẩm rau quả mà không làm mất đi hương vị và màu sắc của sản phẩm, tuy nhiên phải theo quy trình đặt ra cho từng loại rau quả. Máy sấy dùng bơm nhiệt là dạng máy sấy dùng nhiệt độ thấp nên rất an toàn cho sản phẩm sấy. Đề tài đã thí nghiệm sấy với rau thìa là, thơm, hành lá và hành củ thái lát ở các chế độ công nghệ khác nhau, qua đó, đã xây dựng được quy trình công nghệ sấy cho từng loại sản phẩm được thí nghiệm.

Tuy nhiên, máy sấy bơm nhiệt có hạn chế là phải thường xuyên bảo dưỡng cho máy nén và bộ lọc môi chất, phải thường xuyên nạp môi chất, dễ rò rỉ môi chất ra môi trường nếu đường ống hư hỏng, chi phí đầu tư cao, và chi phí vận hành vẫn cao hơn so với máy sấy thông thường dùng than làm nhiên liệu.

Đề nghị Hội đồng cho đề tài được nghiệm thu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ NN & PTNT. Đề án phát triển sản xuất rau quả giai đoạn 2000 – 2010. 1999.
2. Brooker D.B., Bakker-Arkema F.W., Hall C.W. Drying and storage of grain and oilseeds. *An AVI Book*. New York, 1992.
3. Bùi Hải, Trần Thế Sơn. Nhiệt động truyền nhiệt và Kỹ thuật lạnh. *NXB Khoa học và Kỹ thuật*, Hà nội, 2001.
4. Chu Văn Thiện. Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm thiết bị sấy gián tiếp các loại nông sản sạch dùng cho nhu cầu nông thôn. *Báo cáo khoa học*. Viện Cơ điện Nông nghiệp, 1999.
5. Chua, K.J. and Chou, S.K. Heat pump drying technology. In: *The Second Regional Workshop on Drying Technology*. HCM city, Vietnam, 29 Jul. - 2 Aug. 2002.
6. Kato, K. Grain dryer. *Revised and enlarged edition*. Kyoto University. Japan, 2000.
7. Lê Chí Hiệp. Kỹ thuật điều hoà không khí. *NXB Khoa học và Kỹ thuật* (in lần thứ 2). Hà nội, 1997.
8. McLean K.A. Drying and storage combinable crops. (*2nd edition*). Farming Press, 1989.
9. NGTK. Niên giám thống kê. *NXB Tổng cục thống kê*, 2001.
10. Nguyễn Đức Lợi, Phạm Văn Tuỳ. Kỹ thuật lạnh cơ sở. *NXB Giáo dục*, Hà nội, 1994.
11. Nguyễn Đức Lợi, Phạm Văn Tuỳ. Môi chất lạnh. *NXB Giáo dục*, Hà nội, 1996.

12. Nguyễn Đức Lợi, Phạm Văn Tuy. Hệ thống sấy lạnh dùng bơm nhiệt ở HAIHACO. *Tạp chí khoa học và công nghệ nhiệt*. 2(3) 1998: 6-8.
13. Nguyễn Đức Lợi. Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt. *Tạp chí khoa học và công nghệ nhiệt*. 3, 2000: 16-18.
14. Nguyễn Văn Chỉ, Nguyễn Văn Đường, Nguyễn Văn Sắc. Áp dụng công nghệ sấy nhiệt độ thấp để bảo quản và sơ chế nông sản sau thu hoạch. *Báo cáo khoa học*. Trường Đại học Nông nghiệp I. Hà nội, 1996.
15. Perera. C.O. and Rahman, M.S. Heat pump drying. *In: Trends Food Science Technology*, 8(3) 1990: 75.
16. Phan Tố Nga, Nguyễn Đại Hùng, Đàm Thanh Bình, Nguyễn Lan Anh, Nguyễn Đại Hưng và Nguyễn Kim Vũ. Nghiên cứu quy trình và thiết bị sấy rau đặc sản. *Báo cáo khoa học*. Viện Công nghiệp Thực phẩm, 1997.
17. Phạm Văn Tuy. Sử dụng bơm nhiệt máy nén - một giải pháp hiệu quả tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi sinh và nâng cao chất lượng sản phẩm. *Tạp chí khoa học và công nghệ nhiệt*. 4(7) 1999: 5-6.
18. Phạm Văn Tuy, Đỗ Thái Sơn, Nguyễn Luận. Hiệu quả sử dụng bơm nhiệt sấy lạnh ở Công ty Bánh kẹo Hải Hà (HAIHACO). *Tạp chí khoa học và công nghệ nhiệt*. 2(3) 1999: 17-18.
19. Quách Đình, Nguyễn Văn Tiếp và Nguyễn Văn Thoa. Công nghệ sau thu hoạch và chế biến rau quả. *NXB Khoa học và Kỹ thuật*, Hà nội, 1996.

PHU LUC 1**SỐ LIỆU SẤY HÀNH CỦ THÁI LÁT***Bề dày lớp nguyên liệu: 5 cm*

Nhiệt độ sấy oC	Tốc độ gió m/s	Thời gian sấy h	Chi phí năng lượng riêng KWh/Kg H ₂ O	Chất lượng màu, mùi
43	0,103	13,5	0,351	Màu hơi đỏ, mùi hắc
	0,154	12,0	0,324	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	10,5	0,300	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10,0	0,300	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
50	0,103	11,5	0,518	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
	0,154	10,5	0,483	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	9,5	0,479	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	9,5	0,490	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
60	0,103	10,5	0,525	Màu đỏ, mùi hăng tự nhiên
	0,154	9,5	0,500	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	9,0	0,505	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	9,0	0,530	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 7 cm</i>				
43	0,103	15,5	0,392	Màu đỏ, mùi hắc
	0,154	14,5	0,341	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	12,5	0,325	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	11,5	0,321	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
50	0,103	13,5	0,527	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
	0,154	12,5	0,490	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	11,0	0,477	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10,5	0,477	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
60	0,103	13,0	0,558	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
	0,154	11,5	0,531	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	10,0	0,531	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10,0	0,536	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 10 cm</i>				
43	0,103	19,0	0,748	Màu đỏ, mùi hắc
	0,154	18,0	0,550	Màu hơi đỏ, mùi hơi hắc
	0,206	15,0	0,451	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	14,0	0,451	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
50	0,103	17,5	0,628	Màu đỏ, mùi hơi hắc
	0,154	15,5	0,479	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
	0,206	13,0	0,387	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	12,0	0,391	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
60	0,103	16,5	0,677	Màu hơi đỏ, mùi hăng tự nhiên
	0,154	14,0	0,589	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,206	12,5	0,525	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên
	0,260	11,5	0,557	Màu trắng, mùi hăng tự nhiên

PHỤ LỤC 2**SỐ LIỆU SẤY HÀNH LÁ***Bề dày lớp nguyên liệu: 5 cm*

Nhiệt độ sấy oC	Tốc độ gió m/s	Thời gian sấy h	Chi phí năng lượng riêng KWh/Kg H ₂ O	Chất lượng màu, mùi
43	0,103	12,5	0,362	Màu vàng, mùi hắc
	0,154	11,0	0,319	Màu xanh, mùi hơi hắc
	0,206	10,5	0,300	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10,0	0,296	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
50	0,103	11,5	0,535	Màu hơi vàng, mùi hắc
	0,154	10,0	0,514	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	9,5	0,511	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	9,5	0,547	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
60	0,103	10,0	0,586	Màu hơi vàng, mùi hăng tự nhiên
	0,154	9,0	0,573	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	9,0	0,598	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	9,0	0,722	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 7cm</i>				
43	0,103	14,0	0,393	Màu vàng, mùi hắc
	0,154	12,5	0,354	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	11,0	0,318	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10,5	0,305	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
50	0,103	12,5	0,505	Màu vàng, mùi hắc
	0,154	11,5	0,515	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	10,5	0,496	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10	0,508	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
60	0,103	12,5	0,574	Màu hơi vàng, mùi hăng tự nhiên
	0,154	11,0	0,568	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	9,5	0,552	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	9,5	0,607	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 10cm</i>				
43	0,103	17,5	0,664	Màu vàng úa, mùi hơi hắc
	0,154	14,0	0,512	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	12,5	0,426	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	12,0	0,434	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
50	0,103	15,5	0,582	Màu vàng, mùi hắc
	0,154	12,5	0,448	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	11,5	0,406	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	11,0	0,442	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
60	0,103	14,0	0,624	Màu vàng, mùi hăng tự nhiên
	0,154	11,5	0,565	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,206	10,5	0,568	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên
	0,260	10,5	0,630	Màu xanh, mùi hăng tự nhiên

PHU LUC 3

SỐ LIỆU SẤY RAU THÌA LÀ

Bề dày lớp nguyên liệu: 5 cm

Nhiệt độ sấy oC	Tốc độ gió m/s	Thời gian sấy h	Chi phí năng lượng riêng KWh/Kg H ₂ O	Chất lượng màu, mùi
43	0,103	13,0	0,446	Màu thâm, mùi thơm yếu
	0,154	12,5	0,424	Màu xanh, mùi thơm yếu
	0,206	11,5	0,368	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,0	0,365	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
50	0,103	12,0	0,554	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	11,0	0,521	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	10,5	0,529	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	10,5	0,565	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
60	0,103	12,0	0,600	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	10,5	0,580	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	9,5	0,598	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	9,5	0,688	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 7 cm</i>				
43	0,103	14,0	0,458	Màu thâm, mùi thơm yếu
	0,154	13,0	0,425	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	12,0	0,388	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,0	0,368	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
50	0,103	13,0	0,560	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	11,5	0,522	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	11	0,513	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	10,5	0,523	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
60	0,103	12,5	0,595	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	11	0,572	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	10,5	0,570	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	10,5	0,636	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 10 cm</i>				
43	0,103	16,5	0,715	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
	0,154	14,5	0,650	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	13,0	0,590	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	12,0	0,554	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
50	0,103	15,5	0,777	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	13,0	0,714	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	12,0	0,666	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,5	0,671	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
60	0,103	14,0	0,805	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	12,5	0,749	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	11,5	0,707	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,5	0,745	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên

PHU LUC 4

SỐ LIỆU SẤY RAU THOM

Bề dày lớp nguyên liệu: 5 cm

Nhiệt độ sấy oC	Tốc độ gió m/s	Thời gian sấy h	Chi phí năng lượng riêng KWh/Kg H ₂ O	Chất lượng màu, mùi
43	0,103	13,5	0,477	Màu thâm, mùi thơm yếu
	0,154	13,0	0,471	Màu xanh, mùi thơm yếu
	0,206	11,0	0,387	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	10,5	0,354	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
50	0,103	12,0	0,564	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	10,5	0,537	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	10,0	0,530	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	10,0	0,576	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
60	0,103	11,5	0,624	Màu hơi thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	9,5	0,588	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	9,5	0,620	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	9,5	0,705	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 7 cm</i>				
43	0,103	15,0	0,509	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
	0,154	14,0	0,491	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	12,0	0,448	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,5	0,370	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
50	0,103	13,5	0,547	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	11,5	0,506	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	11,0	0,486	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,0	0,533	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
60	0,103	13,0	0,700	Màu thâm đen, mùi thơm tự nhiên
	0,154	11,5	0,661	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	11,0	0,709	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	11,0	0,782	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
<i>Bề dày lớp nguyên liệu: 10 cm</i>				
43	0,103	18,5	0,884	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
	0,154	15,0	0,780	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	13,5	0,566	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	12,5	0,510	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
50	0,103	16,0	0,780	Màu thâm đen, mùi thơm yếu
	0,154	14,0	0,655	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	12,5	0,489	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	12,0	0,489	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
60	0,103	15,0	0,761	Màu thâm, mùi thơm tự nhiên
	0,154	13,0	0,610	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,206	12,0	0,550	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên
	0,260	12,0	0,606	Màu xanh, mùi thơm tự nhiên

PHỤ LỤC 5.

MÁY SẤY BƠM NHIỆT



PHỤ LỤC 6. SẢN PHẨM SAU KHI SẤY BẰNG MÁY SẤY BƠM NHIỆT



Hành lá
Sấy bằng bơm nhiệt 2/6/02