

MÔ HÌNH HÓA THỜI GIAN SẤY RIÊNG TRONG SẤY THÓC TÍNH THEO LỚP DẦY

Modelling of Specific Drying Time in Stationary Deep-bed Layer Drying of Paddy

Đỗ Thái Sơn

Bộ môn Kỹ thuật Nhiệt, Trường Đại học Giao thông Vận tải

Địa chỉ email tác giả liên lạc: sonnhiet@yahoo.com

Ngày gửi bài: 06.08.2011;

Ngày chấp nhận: 13.10.2011

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của các điều kiện sấy đối lưu như nhiệt độ và tốc độ khí sấy, chiều dày lớp hạt và khoảng thời gian đảo gió đến thời gian sấy riêng trong sấy thóc tính theo lớp dầy. Sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt đã xây dựng được mô hình thực nghiệm xác định thời gian sấy riêng có dạng sau: $Dt(\text{ph}/\text{kg}/\text{m}^2) = 43,424 - 1,905.T - 3,704.V - 0,043.D + 0,19.TV - 0,027.T.tĐ + 9,27^{03}.D.tĐ + 0,018.T^2 - 27,20.V^2 - 0,067.tĐ^2$. Mô hình này được sử dụng để dự đoán thời gian sấy thóc trong thiết bị sấy vỉ ngang.

Từ khóa: mô hình, thóc, thời gian sấy, lớp dầy.

SUMMARY

This study was conducted to examine the effect of convective drying conditions such as temperature and velocity of drying air, grain bed depth and time reversing drying air to specific drying time in stationary deep-bed layer drying of paddy. Using the Response Surface Methodology to construct a experimental model to determine specific drying time: $Dt(\text{ph}/\text{kg}/\text{m}^2) = 43,424 - 1,905.T - 3,704.V - 0,043.D + 2,44.tĐ + 0,19.TV - 0,027.T.tĐ + 9,27^{03}.D.tĐ + 0,018.T^2 - 27,20.V^2 - 0,067.tĐ^2$. The use of this formula can predict drying time of paddy in Fixed Flat Batch Dryer.

Key words: Deep-bed layer, drying time, model, paddy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thóc là đối tượng cần xử lý nhiệt nhiều hơn bất cứ loại hạt ngũ cốc nào khác. Sấy làm giảm độ ẩm của thóc vừa thu hoạch đến mức an toàn (13-14%) để bảo quản và xay xát. Yêu cầu cơ bản của quá trình sấy là nâng cao tốc độ sấy, giảm thiểu thời gian sấy và năng lượng tiêu hao mà vẫn giữ được chất lượng sản phẩm sấy. Trong sấy thóc đối lưu thời gian sấy phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: các thông số chế độ sấy (nhiệt độ, độ ẩm tương đối, tốc độ khí sấy, chiều dày lớp hạt), phương pháp sấy (sấy liên tục và gián đoạn, sấy có đảo hạt, đảo gió, làm dịu sau sấy...) và vật liệu sấy (loại thóc, kích thước hạt, độ

chín khi thu hoạch, độ ẩm ban đầu và độ ẩm cuối quá trình sấy của thóc, cấu trúc và dạng liên kết ẩm trong hạt thóc,...). Về nguyên tắc, có thể xác định thời gian sấy vật liệu ẩm bằng giải tích thông qua việc xây dựng mô hình vật lý phù hợp với thiết bị và vật liệu cần sấy để từ đó thiết lập mô hình toán học cùng các điều kiện đơn trị tương ứng và giải mô hình đó để xác định trường độ ẩm, độ ẩm trung bình của vật liệu sấy theo thời gian, từ đó xác định được thời gian sấy. Tuy nhiên theo nghiên cứu tổng kết của Jayas và cs. (1993) thì việc xác định thời gian sấy thóc bằng giải tích gặp rất nhiều khó khăn vì nó phụ thuộc vào quá nhiều thông số, nên trong thực tế thường sử dụng phương pháp thực

nghiệm hoặc bán thực nghiệm để xây dựng công thức xác định thời gian sấy tương ứng với một phương thức sấy cụ thể.

Trong những năm gần đây, thiết bị sấy cơ khí đơn giản (thiết bị sấy vĩ ngang) được nông dân đồng bằng sông Cửu Long sử dụng ngày càng phổ biến để sấy thóc sau thu hoạch. Thiết bị sấy vĩ ngang có thể vận hành không phụ thuộc vào thời tiết và có năng suất sấy cao hơn, thời gian sấy ngắn hơn và chất lượng sản phẩm sấy tốt hơn so với việc phơi thóc trực tiếp dưới ánh nắng mặt trời. Tuy nhiên, cho đến nay các kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình dự đoán thời gian sấy thóc tĩnh theo lớp dày (ứng với kiểu thiết bị sấy vĩ ngang) được công bố trong và ngoài nước là rất ít. Việc dự đoán thời gian sấy một mẻ thóc sấy là rất quan trọng, vì ứng với các điều kiện sấy xác định nếu thời gian sấy không đủ thì thóc sẽ không sấy được xuống độ ẩm bảo quản an toàn, còn nếu ngược lại thì sẽ lại làm giảm năng suất của thiết bị, làm tăng giá thành của một đơn vị sản phẩm sấy. Vì vậy việc nghiên cứu xây dựng mô hình xác định thời gian sấy riêng (D_t , $ph/kg/m^2$) theo các điều kiện sấy cơ bản nhất (là nhiệt độ và tốc độ khí sấy, chiều dày lớp hạt và khoảng thời gian giữa các lần đảo gió) trong quá trình sấy thóc tĩnh theo lớp dày để xác định thời gian sấy thực của một mẻ sấy trong thiết bị sấy vĩ ngang và kết hợp với hai mô hình tiêu hao năng lượng riêng và tỷ lệ nguyên hạt (được trình bày trong bài báo khác) nhằm xác định các tham số chế độ sấy tối ưu cho thiết kế và vận hành hiệu quả loại thiết bị sấy này là rất thiết thực.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt để xây dựng mô hình thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng đồng thời của nhiệt độ và tốc độ khí sấy, chiều dày lớp hạt và khoảng thời gian giữa các lần đảo gió đến thời gian sấy riêng trong sấy thóc tĩnh theo lớp dày. Các điều kiện ban đầu như nguồn

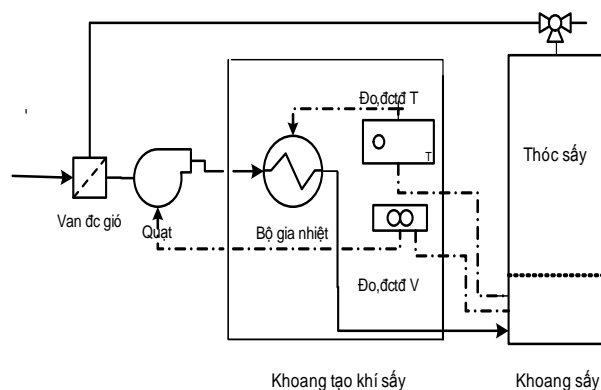
gốc của hạt, điều kiện thu hoạch và xử lý hạt trước quá trình sấy không thuộc phạm vi của nghiên cứu này. Ảnh hưởng của độ ẩm tương đối của khí sấy có vai trò quan trọng đối với quá trình sấy thóc đã được nhiều công trình nghiên cứu trước đây khảo sát kỹ (Agrawal và Singh, 1977; Wang và Singh, 1978; Jayas và cs., 1991; Jayas và cs., 1993; Chen và Wu, 2001; Basunia và Abe, 1998; Basunia và Abe, 2005; Wongwiset và Thonprasert, 2000) và là thông số trong thực tế vận hành thiết bị sấy nông dân không thể điều chỉnh nên không được đưa vào để xây dựng mô hình. Ảnh hưởng này sẽ được đánh giá bằng một hệ số trong nghiên cứu tối ưu sau này.

2.1. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Loại thóc dùng trong nghiên cứu này là thóc IR64, cỡ hạt trung bình, được thu hoạch vào tháng 10/2010. Toàn bộ mẫu thóc được làm sạch và bảo quản ở 5°C trong 10 ngày để đảm bảo độ ẩm của mẫu là đồng nhất. Mẫu thóc được cho vào các túi plastic kín và được đưa lên nhiệt độ phòng 24h trước mỗi thí nghiệm. Độ ẩm ban đầu của thóc vừa thu hoạch đã được xử lý sơ bộ (sấp xỉ 30% d.b.) và độ ẩm cuối của thóc (14% d.b) được xác định thông qua khối lượng cốt khô và lượng ẩm có trong thóc. Khối lượng cốt khô của thóc (g_k) được xác định bằng phương pháp thiêu kết 1 kg mẫu thí nghiệm ở 105°C trong 36 giờ.

2.2. Thiết bị sấy thí nghiệm

Sơ đồ nguyên lý và thiết bị sấy thí nghiệm được trình bày trên các hình 1,2. Bộ phận chính của thiết bị gồm: quạt ly tâm, khoang gia nhiệt và ổn định thông số của khí sấy (bằng bơm nhiệt kết hợp với thanh đốt điện trở 2000W) và khoang sấy mẫu. Để duy trì sự ổn định của các thông số chế độ sấy, thiết bị sấy được thiết kế để có thể vận hành theo kiểu thổi thẳng, hồi lưu một phần hoặc toàn bộ khí sấy. Các khay chứa mẫu sấy được làm bằng thép lá có kích thước 12,5 cm x 12,5 cm x 55 cm và có lưới ở đáy. Chiều dày của lớp hạt trong khay sấy từ 35-55cm tùy thí nghiệm.



Hình 1. Sơ đồ thiết bị thí nghiệm



Hình 2. Thiết bị sấy thí nghiệm

Nhiệt độ khí sấy được điều chỉnh on-off tự động nhờ nhiệt kế điện tử Dixell (của Italia) cho thanh đốt nichrome 2000W. Sai số của thiết bị đo nhiệt độ là $0,5^{\circ}\text{C}$. Độ ẩm tương đối của khí sấy được đo bằng ẩm kế tự động Fox (của Hàn quốc) sai số là 1% và được điều chỉnh ổn định nhờ máy hút ẩm và gia ẩm bổ sung đặt bên ngoài thiết bị thí nghiệm để duy trì độ chứa ẩm trung bình $d = 20 \text{ g/kgkk}$. Tốc độ khí sấy được xác định nhờ tốc kế điện tử Testo (của CHLB Đức) có sai số là $0,01 \text{ m/s}$ và được kiểm soát bằng cách thay đổi tốc độ quay của quạt nhờ chiết áp điều tốc.

Khối lượng của mẫu được xác định nhờ cân điện tử Shimadzu (Model N° EB-3200H-A) sai số $0,1\text{gr}$. Quá trình đo khối lượng mẫu được làm đi làm lại cho đến khi độ ẩm của mẫu đạt 14% (d.b). Trạng thái ổn định của chế độ sấy được xác lập bằng cách chạy mẫu sấy thử trước ít nhất 1 giờ trong phòng thí nghiệm được điều hòa nhiệt độ và độ ẩm, sau đó nhanh chóng thay các mẫu thí nghiệm vào khoang sấy.

Thời gian sấy riêng ($Dt, \text{ph/kg\%m}^2$) là thời gian trung bình cần thiết để tách được 1 kg ẩm từ mẫu sấy từ độ ẩm ban đầu (30%)

đến độ ẩm cuối cùng (14%) của thóc ứng với một đơn vị diện tích mặt sàng của thiết bị sấy tĩnh. Thông số này được xác định nhờ đồng hồ đo thời gian và cân mẫu sấy từ khi bắt đầu thí nghiệm cho đến khi mẫu thóc đạt độ ẩm cuối cùng. Vì khối lượng cốt khô của thóc ($G_k = g_k \cdot G_{30\%}$) đã được xác định ứng với khối lượng ban đầu của một khay mẫu thí nghiệm ($G_{30\%}$) nên dễ dàng xác định được khối lượng của mẫu khi nó đạt độ ẩm 14% (d.b) ($G_{14\%} = 1,14 \cdot G_k$) mà không phải thiêu kết cho từng mẫu thí nghiệm.

2.3. Các thí nghiệm khảo sát

Để đánh giá mức độ và xu hướng ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đến thời gian sấy riêng cần thực hiện một số thí nghiệm trong khoảng giá trị các thông số chế độ sấy. Các thí nghiệm được thực hiện trong phòng thí nghiệm đã được điều hòa nhiệt độ và độ ẩm (nhờ máy hút ẩm và gia ẩm) để các thông số chế độ sấy ổn định hơn trong quá trình thí nghiệm.

Thí nghiệm khảo sát 1: Ảnh hưởng của nhiệt độ khí sấy ($T, ^{\circ}\text{C}$) đến Dt (ph/kg\%m^2). Gồm bảy thí nghiệm lặp lại được thực hiện với $T = 30 - 60^{\circ}\text{C}$, $V = 0,25\text{m/s}$, $D = 38\text{cm}$, $tĐ = 6,5\text{h}$

Thí nghiệm khảo sát 2: Ảnh hưởng của tốc độ khí sấy ($V, m/s$) đến D_t ($ph/kg\hat{a}/m^2$). Gồm bảy thí nghiệm lặp lại được thực hiện với $V = 0,05 - 0,35 m/s$, $T = 43^\circ C$, $D = 38 cm$, $t\hat{D} = 6,5 h$

Thí nghiệm khảo sát 3: Ảnh hưởng của chiều dày lớp hạt (D, cm) đến D_t ($ph/kg\hat{a}/m^2$). Gồm bảy thí nghiệm lặp lại được thực hiện với $D = 35 - 50 cm$, $T = 43^\circ C$, $V = 0,25 m/s$, $t\hat{D} = 6,5 h$

Thí nghiệm khảo sát 4: Ảnh hưởng của khoảng thời gian đảo gió ($t\hat{D}, h$) đến D_t . Gồm bảy thí nghiệm lặp lại được thực hiện với $t\hat{D} = 6 - 9 h$, $T = 43^\circ C$, $V = 0,25 m/s$, $D = 38 cm$

2.4. Phương pháp xây dựng mô hình đánh giá đồng ảnh hưởng của T, V, D và tĐ đến Dt

Phương pháp đáp ứng bề mặt (the Response Surface Methodology, RSM) là phương pháp được sử dụng rộng rãi và

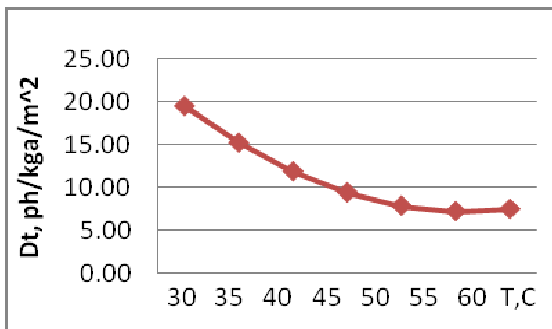
hiệu quả trong rất nhiều nghiên cứu thực nghiệm để xây dựng các mô hình mô phỏng nhiều biến số có thể đánh giá được ảnh hưởng của từng tham số cũng như ảnh hưởng lẫn nhau giữa các tham số đến từng đáp ứng như nghiên cứu của Madamba và cs. (2005), của Rao và cs. (2007), Đỗ Thái Sơn và Trần Gia Mỹ (2005),... Trong nghiên cứu này công thức hồi quy cho đáp ứng bề mặt Y_k , là thời gian sấy riêng ($D_t, ph/kg\hat{a}/m^2$), được xây dựng theo 4 biến độc lập đã được mã hóa là X_1 (nhiệt độ), X_2 (tốc độ khí sấy), X_3 (chiều dày lớp hạt) và X_4 (khoảng thời gian đảo gió), cũng như các ảnh hưởng chéo giữa các thông số đó trong quá trình sấy thóc tĩn theo lớp dày. Đáp ứng đầu ra Y_k được lấy theo giá trị trung bình của ba thí nghiệm lặp. Hàm Y_k có thể được xấp xỉ theo đa thức bậc hai:

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^4 \beta_{ki} X_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{kii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \beta_{kij} X_i X_j \tag{1}$$

Trong đó: β_{k0} , β_{ki} , β_{kii} , β_{kij} là các hệ số hồi quy được xác định và kiểm định theo tiêu chuẩn Student và Fish của lý thuyết thống kê (Bùi Minh Trí, 2003).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ khí sấy đến thời gian sấy riêng



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ khí sấy

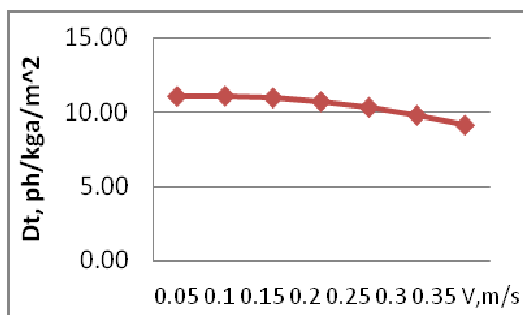
Kết quả các thí nghiệm khảo sát 1 được thể hiện trên hình 3 cho thấy khi nhiệt độ khí sấy tăng (với độ chứa ẩm của khí sấy

không đổi) làm thế sấy tăng, làm tăng khả năng bay hơi ẩm trong hạt thóc ra ngoài và làm cho thời gian sấy riêng giảm mạnh theo hàm phi tuyến. Tốc độ giảm của D_t thấp dần khi nhiệt độ khí sấy tăng và D_t giảm rất ít khi tăng T vượt quá $50^\circ C$. Thời gian sấy riêng giảm 38,2% (từ 15,24 xuống 9,42 $ph/kg\hat{a}/m^2$) khi nhiệt độ khí sấy tăng từ 35 lên $45^\circ C$, nhưng D_t chỉ giảm được 8,1% (từ 7,87 xuống 7,23 $ph/kg\hat{a}/m^2$) khi nhiệt độ khí sấy tăng từ 50 lên $60^\circ C$. Kết quả này có thể giải thích theo kết quả nghiên cứu của Rao và cs. (2007) rằng tốc độ và thời gian sấy thóc chịu ảnh hưởng chủ yếu bởi quá trình khuếch tán ẩm trong hạt (có số Biot truyền chất $Bi_m > 100$). Khi tăng nhiệt độ khí sấy lớn hơn nhiệt độ chuyển thái giòn-dẻo của thóc thì quá trình sấy thóc chuyển sang vùng dẻo sẽ hạn chế quá trình khuếch tán ẩm trong

hạt làm tốc độ sấy tăng chậm và thời gian sấy giảm chậm lại. Hơn nữa, tăng nhiệt độ khí sấy đồng nghĩa với tăng chi phí năng lượng và làm độ không đồng đều được sấy của các lớp hạt trong sấy thóc tĩnh theo lớp dày sẽ tăng lên, lớp hạt tiếp xúc đầu tiên với khí sấy có nhiệt độ cao sẽ bị “quá sấy” làm cho tỷ lệ hạt gãy tăng lên. Theo nghiên cứu của Abud-Archila và cs. (2000), Cnossen và cs. (2001) thì nhiệt độ khí sấy có ảnh hưởng mạnh đến các tính chất cơ - nhiệt của hạt thóc trong sấy đối lưu bằng khí nóng, và tốt hơn cả là giữ nhiệt độ của khí sấy nhỏ hơn nhiệt độ chuyển thái giòn-dẻo (T_g) của thóc ($T_g = 43 - 53^\circ\text{C}$ ứng với độ ẩm của thóc giảm từ 30 - 13%) thì sẽ giảm thiểu được ứng suất nhiệt trong hạt khi sấy tĩnh.

Tóm lại, phương pháp làm giảm thời gian sấy thóc bằng cách tăng nhiệt độ khí sấy bị khống chế bởi việc đảm bảo chất lượng sản phẩm sấy, chi phí năng lượng và vì thế cần phải giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu xác định chế độ sấy tối ưu nói chung, nhiệt độ khí sấy nói riêng.

3.2. Ảnh hưởng của tốc độ khí sấy đến thời gian sấy riêng



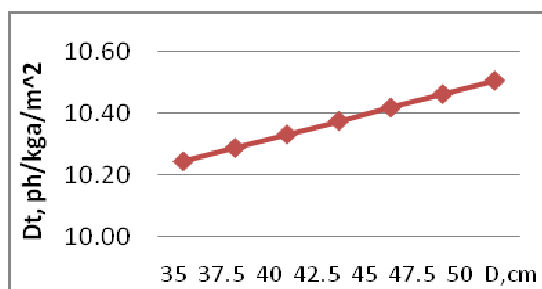
Hình 4. Ảnh hưởng của tốc độ khí sấy

Kết quả các thí nghiệm khảo sát 2 được thể hiện trên hình 4 cho thấy tốc độ khí sấy (V) ảnh hưởng đến thời gian sấy riêng (Dt) theo đường phi tuyến với tốc độ biến thiên nhỏ và điểm cực đại của Dt ứng với $V = 0,05\text{m/s}$. Tốc độ khí sấy tăng làm thời gian sấy giảm do hạt được tiếp xúc đồng đều hơn với khí sấy làm quá trình bay hơi ẩm từ bề

mặt của hạt tăng lên. Khi V tăng trong khoảng 0,05 - 0,15m/s thì Dt chỉ giảm 0,9% (từ 11,03 xuống 10,93ph/kga/m²) và ảnh hưởng của V đến Dt trở nên rõ rệt hơn khi $V > 0,2\text{m/s}$. Cụ thể là khi V tăng từ 0,2 đến 0,35m/s thì Dt giảm 14,7% (từ 10,68 xuống 9,11ph/kga/m²). Kết quả của thí nghiệm khảo sát này cho thấy: khi sấy thóc tĩnh theo lớp dày ở nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ chuyển thái giòn-dẻo của thóc ($T < T_g$) thì việc tăng tốc độ khí sấy sẽ làm chất lượng thóc sấy được nâng lên và thời gian sấy giảm đi. Nhưng tăng tốc độ khí sấy cũng làm tiêu hao năng lượng tăng lên vì phải tăng công suất động cơ và cột áp của quạt. Vì thế đây cũng là một thông số cần lựa chọn tối ưu.

3.3. Ảnh hưởng của chiều dày lớp hạt đến thời gian sấy riêng

Kết quả thí nghiệm khảo sát 3 được thể hiện trên hình 5 cho thấy thời gian sấy riêng (Dt) chịu ảnh hưởng của chiều dày lớp hạt (D) theo quy luật gần như tuyến tính. Khi D tăng thì Dt cũng tăng nhưng không nhiều. Cụ thể là khi D tăng từ 35cm lên 55cm thì Dt chỉ tăng 2,6% (từ 10,24 lên 10,5 ph/kga/m²). Nhưng chiều dày lớp hạt trong thiết bị sấy tĩnh cũng chính là thông số biểu thị năng suất của thiết bị nên thời gian sấy thực cho một mẻ thóc sẽ tăng tương ứng với lượng ẩm cần tách từ thóc trong mẻ sấy và lượng ẩm đó lại tỷ lệ thuận với chiều dày lớp hạt. Điều đó có nghĩa là thời gian sấy thực sẽ tỷ lệ thuận hai lần với chiều dày lớp hạt và nó sẽ tăng khá mạnh khi chiều dày lớp hạt tăng.

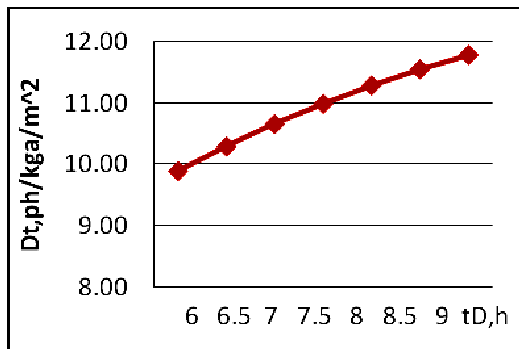


Hình 5. Ảnh hưởng của chiều dày lớp hạt

Chiều dày lớp hạt tăng làm tăng năng suất sấy, làm thời gian sấy riêng tăng nhẹ, thời gian sấy thực tăng và chi phí năng lượng tăng. Chiều dày lớp hạt tăng còn làm cho các tiêu chí về chất lượng thóc sấy có xu hướng giảm (tỷ lệ nguyên hạt của gạo giảm, tỷ lệ hạt gãy tăng) do thóc không được sấy đồng đều. Rõ ràng đây cũng là một thông số cần phải tối ưu trong thiết kế và vận hành thiết bị sấy tĩnh theo lớp dày.

3.4. Ảnh hưởng của khoảng thời gian đảo gió đến thời gian sấy riêng

Kết quả thí nghiệm khảo sát 4 được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian đảo gió

Để nâng cao chất lượng thóc sấy và giảm thời gian sấy trong quá trình sấy thóc tĩnh theo lớp dày thì không thể bỏ qua vai trò của đảo hạt. Tuy nhiên trong thực tế vận hành thiết bị sấy vĩ ngang với năng suất sấy từ 2 - 8 tấn/m² thì việc đảo hạt sẽ tiêu tốn rất nhiều công lao động. Vì vậy các thiết bị sấy vĩ ngang được thiết kế để có thể đảo gió thay vì đảo hạt. Đảo gió có vai trò tương tự như đảo hạt nhưng tiết kiệm được rất nhiều công lao động. Đảo gió giúp cho độ ẩm giữa các lớp thóc trong sấy tĩnh theo lớp dày giảm bớt sự khác biệt (chỉ còn xấp xỉ 2%, theo kết quả khảo sát của Phan Hiếu Hiền và cs., 2007). Theo kết quả thí nghiệm khảo sát 4 thì khi giảm thời gian đảo gió (tĐ) sẽ làm thời gian sấy riêng (Dt) giảm theo dạng hàm phi

tuyến. Cụ thể là Dt giảm khoảng 15,95% (từ 11,78 xuống 9,9 ph/kg/m²) khi tĐ giảm từ 9h xuống 6h (khi sấy thóc ở nhiệt độ T = 43°C, tốc độ khí sấy V= 0,25m/s, chiều dày lớp hạt D = 38cm). Khi tĐ giảm từ 7 - 6h thì tốc độ giảm của Dt là 7,1% lớn hơn tốc độ giảm 5,5% của Dt (khi tĐ giảm từ 8 - 7h) và 4,2% (khi tĐ giảm từ 9 - 8h). Cần phải suy xét lựa chọn thời gian đảo gió thích hợp trong sấy thóc tĩnh theo lớp dày, vì tĐ càng nhỏ thì Dt càng giảm và thóc được sấy đồng đều hơn chất lượng thóc sấy tốt hơn nhưng vận hành thiết bị vất vả phức tạp hơn và có thể làm tiêu hao năng lượng tăng lên. Vì thế thông số này cũng là một đối tượng cần tối ưu khi vận hành thiết bị sấy vĩ ngang.

Kết quả của các thí nghiệm khảo sát 1,2,3,4 cho phép đánh giá xu hướng ảnh hưởng của từng thông số chế độ sấy đối với thời gian sấy riêng của quá trình sấy thóc tĩnh theo lớp dày. Để đánh giá toàn diện hơn ảnh hưởng đồng thời và mức độ ảnh hưởng của cả bốn thông số chế độ sấy quan trọng này cần tiến hành các thí nghiệm theo phương pháp RSM để xây dựng phương trình hồi qui thực nghiệm xác định thời gian sấy riêng Dt như là hàm của bốn thông số chế độ sấy T, V, D và tĐ.

3.5. Phương trình hồi qui xác định thời gian sấy riêng $\hat{y}(Dt) = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$

Tiến hành 25 thí nghiệm theo sơ đồ trực giao của phương pháp RSM với các giá trị của nhiệt độ khí sấy là 35°C, 47,5°C và 60°C; tốc độ khí sấy là 0,1m/s, 0,2m/s và 0,3 m/s; chiều dày lớp hạt là 35cm, 45cm và 55cm; và khoảng thời gian đảo gió là 6 giờ, 7,5 giờ và 9 giờ; được mã hóa tương ứng thành X₁, X₂, X₃ và X₄ với các giá trị tương ứng là -1, 0 và 1. Đáp ứng đầu ra là thời gian sấy riêng (Dt, ph/kg/m²) được lấy theo giá trị trung bình của ba thí nghiệm lặp được thống kê trong bảng 1.

Bảng 1. Ma trận thí nghiệm và kết quả

Số	Biến	thực	Biến	đã	mã	hóa	Kết quả		
TN	T,độC	V,m/s	D,cm	tĐ,h	x1	x2	x3	x4	Dt(ph/kgâ/m^2)
1	60	0,3	35	6	1	1	-1	-1	5,08
2	35	0,3	35	6	-1	1	-1	-1	12,36
3	60	0,1	35	6	1	-1	-1	-1	5,75
4	35	0,1	35	6	-1	-1	-1	-1	13,95
5	60	0,3	55	6	1	1	1	-1	5,29
6	35	0,3	55	6	-1	1	1	-1	12,42
7	60	0,1	55	6	1	-1	1	-1	5,94
8	35	0,1	55	6	-1	-1	1	-1	13,98
9	60	0,3	35	9	1	1	-1	1	5,64
10	35	0,3	35	9	-1	1	-1	1	14,72
11	60	0,1	35	9	1	-1	-1	1	6,33
12	35	0,1	35	9	-1	-1	-1	1	16,38
13	60	0,3	55	9	1	1	1	1	6,27
14	35	0,3	55	9	-1	1	1	1	15,40
15	60	0,1	55	9	1	-1	1	1	6,99
16	35	0,1	55	9	-1	-1	1	1	17,13
17	47.5	0,2	45	7,5	0	0	0	0	7,23
18	66.3	0,2	45	7,5	1,5	0	0	0	7,00
19	28,8	0,2	45	7,5	-1,5	0	0	0	19,88
20	47,5	0,35	45	7,5	0	1,5	0	0	6,30
21	47,5	0,05	45	7,5	0	-1,5	0	0	7,70
22	47,5	0,2	60	7,5	0	0	1,5	0	8,17
23	47,5	0,2	30	7,5	0	0	-1,5	0	6,65
24	47,5	0,2	45	9,75	0	0	0	1,5	8,45
25	47,5	0,2	45	5,25	0	0	0	-1,5	6,06

Dựa vào bảng kết quả thí nghiệm, mô hình \hat{y} (Dt) dạng công thức (1) đã được xây dựng và kiểm định sự phù hợp với kết quả thí nghiệm. Sai số của mô hình là do hai nhân tố: sai số thí nghiệm thuần và thiếu phù hợp của mô hình với số liệu thí nghiệm. Sai số thí nghiệm thuần được tính bởi sự khác biệt đáng kể giữa các quan trắc ở cùng một điều kiện thí nghiệm trong một trình tự ngẫu nhiên. Sự thiếu phù hợp là số đo sự thất bại của mô hình mô phỏng các số liệu

thực nghiệm tại những điểm không có trong quá trình hồi qui hoặc bởi sai số ngẫu nhiên. Mô hình \hat{y} (Dt) được xây dựng bằng phương pháp RSM với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ khi chọn tiêu chuẩn Student cho thấy mô hình có ý nghĩa về mặt thống kê với độ tin cậy cao. Nó đã được kiểm định phù hợp với số liệu thí nghiệm cũng với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ khi chọn tiêu chuẩn Fish cho thấy có thể sử dụng mô hình này để dự đoán thời gian sấy trong sấy thóc tinh theo lớp dày với độ tin

cây cao (Bùi Minh Trí, 2003). Mô hình \tilde{y} (Dt) theo các biến được mã hóa được xác định như sau:

$$(Dt) = 9,643 - 4,312.X_1 - 0,554.X_2 + 0,268.X_3 + 0,862.X_4 + 0,238.X_1X_2 - 0,486.X_1X_4 + 0,134.X_3X_4 + 2,837.X_1^2 - 0,272.X_2^2 - 0,150.X_4^2 \quad (2)$$

Sử dụng phương trình (2), với các biến X_i không thứ nguyên là hoàn toàn bình đẳng với nhau, có thể đánh giá một cách toàn diện mức độ và xu hướng ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đối với thời gian sấy riêng thông qua các hệ số của chúng trong phương trình. Mức độ ảnh hưởng của các biến X_i đến \tilde{y} (Dt) có thể xếp theo thứ tự sau: $-X_1 > +X_1^2 > +X_4 > -X_2 > -X_1X_4 > -X_2^2 > +X_3 > +X_1X_2 > -X_4^2 > X_3X_4$; dấu '+' để chỉ ảnh hưởng thuận chiều, còn dấu '-' để chỉ ảnh hưởng theo chiều ngược. Từ đó có thể xếp hạng mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đến thời gian sấy riêng Dt như sau: $-T > +T^2 > +tĐ > -V > -T.tĐ > -V^2 > +D > +T.V > -tĐ^2 > +D.tĐ$; tức là: thời gian sấy riêng Dt giảm mạnh nhất (theo hàm bậc hai) khi nhiệt độ khí sấy tăng; kể đến Dt tăng theo hàm bậc hai khi khoảng thời gian đảo gió tăng; Dt cũng giảm theo hàm bậc hai khi tốc độ khí sấy tăng; Dt tỷ lệ nghịch với tích nhiệt độ và thời gian đảo gió, tỷ lệ thuận với tích nhiệt độ và tốc độ khí sấy và cuối cùng là tỷ lệ thuận với tích chiều dày lớp hạt và thời gian đảo gió. Phân tích trên là cơ sở giúp tìm ra giải pháp tác động hiệu quả để giảm thời gian sấy (tất nhiên là phải chú ý để không làm giảm chất lượng sản phẩm). Nghĩa là để xác định được Dt tối ưu vẫn phải giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình sấy thóc tẻ theo lớp dày.

Dạng cụ thể của mô hình Dt nhận được khi chuyển phương trình (2) về các biến thực, với khoảng xác định của các thông số: $T = 35 - 60^\circ\text{C}$, $V = 0,1 - 0,3\text{m/s}$, $D = 35 - 55\text{cm}$, $tĐ = 6 - 9\text{h}$, như sau:

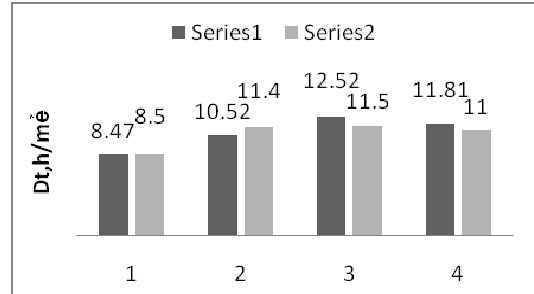
$$Dt(\text{ph}/\text{kga}/\text{m}^2) = 43,424 - 1,905.T - 3,704.V - 0,043.D + 2,44.tĐ + 0,19.TV - 0,027.T.tĐ + 9,27^{-03}.D.tĐ + 0,018.T^2 - 27,2.V^2 - 0,067.tĐ^2 \quad (3)$$

Từ phương trình (3) dễ dàng tính được thời gian sấy thực của một mẻ sấy trong thiết bị sấy vĩ ngang bằng công thức sau:

$$Dt(\text{ph}/\text{m}^2) = Dt(\text{ph}/\text{kga}/\text{m}^2) * W/F \quad (4)$$

ở đây: $W(\text{kga}/\text{m}^2)$ là lượng ẩm cần tách ra từ thóc trong một mẻ sấy, $F(\text{m}^2)$ là diện tích mặt vĩ ngang của thiết bị sấy thực.

So sánh kết quả giữa Dt tính theo mô hình (3),(4) và Dt thực đo - theo khảo sát của Phan Hiếu Hiền và cs. (2007) đối với thiết bị sấy vĩ ngang SRA8 ở Kiên Giang và máy sấy mini SRA1- được thể hiện trên hình 7. Sai khác của Dt trong khoảng 0,34 - 8,57% có thể là do sự khác nhau về loại thóc sấy, điều kiện thời tiết khi sấy, độ chính xác của dụng cụ đo,...giữa mô hình dự đoán và khảo sát thực tế. Tuy nhiên, sự sai khác là không lớn nên có thể dùng mô hình (3),(4) để dự đoán thời gian sấy thóc thực trong thiết bị sấy vĩ ngang.



Hình 7. So sánh kết quả Dt tính từ mô hình (series 1) và Dt thực tế (series 2)

4. KẾT LUẬN

• Bằng nghiên cứu thực nghiệm và phương pháp RSM đã phát triển được mô hình (3) dự đoán thời gian sấy riêng $Dt(\text{ph}/\text{kga}/\text{m}^2)$ phụ thuộc đồng thời vào bốn thông số chế độ sấy là nhiệt độ và tốc độ khí sấy, chiều dày lớp hạt và khoảng thời gian

đảo gió trong sấy thóc tĩnh theo lớp dày. Dựa trên sự phân tích về mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy có thể đề ra các giải pháp tác động hiệu quả để giảm thời gian sấy (tất nhiên là phải chú ý để không làm giảm chất lượng sản phẩm).

- Sử dụng mô hình (3) và (4) có thể dự đoán nhanh và khá chính xác thời gian sấy thóc thời gian sấy thực trong thiết bị sấy vĩ ngang.

- Từ kết quả nghiên cứu và qua phân tích ảnh hưởng của bốn thông số chế độ sấy được khảo sát trên đến thời gian sấy riêng cho thấy cần phải có nghiên cứu bổ xung đánh giá ảnh hưởng của các thông số này đến chất lượng thóc sấy và tiêu hao năng lượng riêng và xác định trị số tối ưu của chúng bằng cách xây dựng và giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu trong sấy thóc tĩnh theo lớp dày. Kết quả tối ưu đó sẽ là cơ sở khoa học cho thiết kế và vận hành hiệu quả thiết bị sấy thóc vĩ ngang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abud-Archila M., F. Courtois, C. Bonazzi and J.J. Bimbenet (2000). Processing quality of rough rice during drying - modelling of head rice yield versus moisture gradients and kernel temperature, *Journal of Food Engineering* 45, 161-169.
- Agrawal Y.C. and R.P. Singh (1977). Thin-layer drying studies on short-grain rice, *ASAE*, No.77-3531, St. Joseph, MI, USA
- Basunia M.A. and T. Abe (1998). Thin-layer characteristics of rough rice at low and high temperature, *Drying Technology*, 16:3, 579-595.
- Basunia M.A. and T. Abe (2005). Thin-layer re-wetting of rough rice at low and high temperature, *Journal of Store Products Research* 41, 163-173
- Bihercs G. and J. Beke (2006). Semi-empirical model of convective drying with wide range layer deep validity, *Drying Technology*, 24:9, 1165-1172.
- Chen C. and P. Wu (2001). Thin-layer drying model for rough rice with high moisture content, *J. Agric. Eng. Res.* 80(1), 45-52
- Cnossen A.G., T.J. Siebenmorgen, W. Yang and R.C. Bautista (2001). An application of glass transition temperature to explain rice kernel fissure occurrence during the drying process, *Drying Technology*, 19:8, 1661-1682.
- Phan Hiếu Hiền, Lê Quang Vinh, Trần Thị Thanh Thúy, Nguyễn Thanh Nghị và Trần Văn Tuấn (2007). Đề án CARD - Tiêu hợp phân sấy tĩnh - Báo cáo lần 2.
- Jayas D.S., S. Cenkowski, S. Pabis and E. M. William (1991). Review of Thin-layer Drying and Wetting Equations, *Drying Technology*, 9:3, 551-588.
- Jayas D.S., S. Cenkowski, and S. Pabis (1993). Deep-Bed Grain Drying - A Review of Particular Theories, *Drying Technology*, 11:7, 1553-1582.
- Madamba P.S. and R. Yabes (2005). Determination of the optimum intermittent drying conditions for rough rice, *Lebensm-Wiss. u- Techno.* 38, 157-165.
- Rao P.S., S. Bal and T.K. Goswami (2007). Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy, *Journal of food Engineering* 78, 480-487.
- Reddy B.S. and A. Chakraverty (2004). Physical properties of raw and parboiled paddy, *Biosystems Engineering* 88(4), 461-466.
- Silompul, S. Johnner, Istadi and I.N. Widiasa (2001). Modelling and simulation of deep-bed grain dryer, *Drying Technology*, 19:2, 269-280.
- Đỗ Thái Sơn, Trần Gia Mỹ (2005). Nghiên cứu thực nghiệm đồng ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đối với lượng ẩm tách khi sấy đối lưu thóc, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt* N° 63, 5-8.
- Bùi Minh Trí (2003). Mô hình toán kinh tế, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Wang C.Y. and R.P. Singh (1978). A single layer drying equation for rough rice, *ASAE Paper*, No 78-3001, St. Joseph, MI, USA.
- Wongwises S. and M. Thonprasert (2000). Thin layer and deep bed drying of long grain rough rice, *Drying Technology*, 18:7, 1583-1599.
- Zare D., S. Minaei, M. Z. Mohamad and M. H. Khoshtagsza (2006). Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer, *J. Energy Conver. and Manag.* 47, 3241-3254.

