

## Nghiên cứu biến thiên tỷ suất thoát ẩm trong quá trình sấy vi sóng thịt quả bơ

Study of Moisture Ratio Variation During Microwave Drying Process of Avocado Pulp

Nguyễn Đức Trung, Phan Minh Thụy\*

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội – Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 27-4-2018; chấp nhận đăng: 27-9-2019

### Tóm tắt

Quá trình sấy vi sóng (SVS) thịt quả bơ (*Persea Americana* Mills) được khảo sát ở qui mô phòng thí nghiệm thông qua sự biến thiên của tỷ suất thoát ẩm (TSTA) của vật liệu sấy (VLS) theo thời gian. Trị số của hàm MR(t) nằm trong khoảng từ 0 đến 1 đối với mọi chế độ công nghệ sấy (CNS) và tất cả các loại VLS. Thiết bị sấy vi sóng đĩa quay được sử dụng trong các thí nghiệm với các giá trị khác nhau của cường độ công suất riêng phần (CSR). Số liệu thực nghiệm được hồi qui bằng bộ công cụ CFT (Curve Fitting Toolbox) của phần mềm Matlab nhằm xác định tham số của các mô hình được đề xuất. Sự tương hợp của các mô hình hồi qui được kiểm định thông qua phân phối chi bình phương rút gọn ( $\chi^2$ ).

Từ khóa: thịt quả bơ, sấy vi sóng, tỷ suất thoát ẩm, mô hình hồi qui

### Abstract

Microwave drying (MWD) process of avocado (*Persea Americana* Mills) pulp is surveyed at laboratory scale via the variation of moisture ratio (MR) of drying material (DM) due to time. The value of MR(t) function is in the range from 0 to 1 for every drying technology mode and all kinds of DM. Rotary tray MWD equipment is applied in the experiments with different values of specific power ratio (SPR). Experiment data is regressed by the CFT (Curve Fitting Toolbox) toolbox of Matlab software in order to determine the parameters of the proposed models. The compatibility of regressive models is tested via reduced chi square distribution ( $\chi^2$ ).

Keywords: avocado pulp, microwave drying, moisture ratio, regressive model

### 1. Giới thiệu

Với đặc tính mùa vụ cùng chất lượng dinh dưỡng cao [1], vấn đề nâng cao giá trị gia tăng cho quả bơ được đặt ra như một nhiệm vụ cấp bách cho các nhà khoa học trong lĩnh vực bảo quản và chế biến nông sản – thực phẩm nước nhà. Những nghiên cứu điển hình ở trong và ngoài nước tập trung vào giải pháp công nghệ chỉ phù hợp cho sản xuất ở qui mô lớn với chi phí năng lượng và suất đầu tư ban đầu rất cao trên một đơn vị sản phẩm. Phương pháp bảo quản lạnh đối với bơ dạng quả tươi [2], sản xuất bột bơ phương pháp sấy lạnh [3, 4], sản xuất dầu béo và bột bơ loại béo từ trái bơ [5] có tính kinh tế – kỹ thuật chưa phù hợp với điều kiện sản xuất nước ta hiện nay.

Trong những năm gần đây, công nghệ SVS được quan tâm và ứng dụng trong lĩnh vực chế biến nông sản – thực phẩm, thảo dược tại Việt Nam nhờ khả năng tách ẩm hiệu quả, đặc biệt ở cuối quá trình sấy nên đã giảm được thời gian sấy từ đó giảm tiêu hao năng lượng cũng như nâng cao được hiệu quả khai thác thiết bị. Hơn thế nữa, CNS vi sóng

(CNSVS) đã chứng minh được khả năng ưu việt vượt trội so với CNS đối lưu nhiệt độ cao (CNSDL) khi áp dụng cho các nông sản – thực phẩm có đặc tính bết dính, nhiều dầu nên rất khó thoát ẩm, đồng thời dễ bị biến màu, mùi hoặc vị cũng như chứa nhiều thành phần hoạt tính sinh học dễ bị biến đổi ở nhiệt độ cao như gấc [6, 7, 8]. Năng lượng bức xạ điện từ vi sóng (BXĐTVS) được giữ lại trong một vùng không gian hẹp được chuyển hóa sang nhiệt năng tập trung vào các phân tử nước nằm sâu trong VLS tạo động lực đẩy ẩm ra bề mặt VLS ngay ở điều kiện nhiệt độ thường khiến cho quá trình sấy (QTS) diễn ra nhanh chóng ngay cả với VLS chứa nhiều dầu có phân bố tập trung ở bề mặt nên có xu hướng cản trở đáng kể đến QT quá trình nếu áp dụng CNSDL [9, 10, 11].

Tuy nhiên, QTSVS cũng tồn tại một số nhược điểm cố hữu như gây ra hiện tượng cháy cục bộ trên VLS do vậy cần có sự chuyển động tương đối giữa VLS với các đầu phát BXĐTVS như Klystron, TWT (Traveling Wave Tube)... hay điển hình là Magnetron. VLS dạng hạt, củ, lá rời thường được đặt trong thùng quay còn VLS có tính chất bết dính cần phải được đặt trên các đĩa quay hay băng tải hoặc sàng lắc đôi [6, 8, 9]. Hơn thế nữa, hiện tượng trên cũng dễ dàng xảy ra khi độ ẩm VLS đã giảm xuống

\* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 946.522.991

Email: thuy.phanminh@hust.edu.vn

thấp ở cuối QTS nên các số lượng phân tử nước dạng lỏng có thể hấp thụ BXĐT VS đã giảm do vậy BXĐT VS dư thừa sẽ nhanh chóng gia tăng nhiệt độ ở phần chất khô, đồng thời khiến cho nhiệt độ Magnetrons tăng khiến độ tin cậy thiết bị bị giảm đi và gây tiêu hao điện năng vô ích. Do vậy, công suất BXĐT VS (kW) cần được điều chỉnh tỷ lệ với tổng lượng ẩm (kg) còn lại trong VLS theo hệ số  $K$  đặc trưng cho một chế độ công nghệ nhất định. Hệ số  $K$  thường được gọi là CSRP (kW/kg hoặc W/g) [6, 8]. CSRP lớn sẽ tăng tốc độ sấy, hạ thấp độ ẩm cân bằng và tăng nền nhiệt VLS nên vai trò của CSRP trong CNSVS tương tự nhiệt độ TNS trong CNSĐL [8, 12].

## 2. Đối tượng nghiên cứu và thiết bị thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu sấy

Vật liệu sấy đóng vai trò đối tượng nghiên cứu là thịt quả bơ. Quả bơ được lựa chọn thuộc dòng bơ sáp được trồng tại tỉnh Đắk Lắk. Bơ được lựa chọn từ cùng một mẹ có cùng độ chín và chiều dài đồng đều (từ 69 mm đến 72 mm). Trước khi đưa vào thiết bị thí nghiệm, mỗi quả bơ được sơ chế lấy phần thịt quả bơ và chia đều thành 12 miếng đồng thời được tẩm axit ascorbic nhằm hạn chế ảnh hưởng của phản ứng oxy hóa gây ra biến đổi không tích cực tới cảm quan về màu sắc của VLS trong QTS [3, 4, 5].

### 2.2. Thiết bị thí nghiệm sấy vi sóng đĩa quay

Thiết bị sấy vi sóng đĩa quay sử dụng trong nghiên cứu đặt tại phòng thí nghiệm 301/C4 – 5 dưới sự quản lý của Bộ môn Quá trình – Thiết bị CN Sinh học – CN Thực phẩm, Trường ĐHBKHN; đã được dùng để sấy màng gác trong nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của chế độ công nghệ sấy vi sóng tới sự biến đổi của  $\beta$ -carotene và lycopene trong màng gác [6, 8].

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của CSRP tới QTSVS được khảo sát qua các giá trị:  $K1$  (2,0 W/g),  $K2$  (2,25 W/g),  $K3$  (2,5 W/g),  $K4$  (2,75 W/g) và  $K5$  (3,0 W/g). Vận tốc của TNS và tốc độ của đĩa quay chứa VLS được cố định: 1,0 m/s và 3,0 vòng/phút.

Khối lượng VLS được xác định từ thời điểm trước khi đưa vào buồng sấy ( $t=0$ ) đến khi khối lượng VLS đạt độ ẩm cân bằng (không thay đổi sau ba lần cân). Khoảng thời gian giữa hai lần định lượng liên tiếp là 3 phút. Thiết bị cân điện tử của hãng Keady (Đài Loan) có mã hiệu HB2002-ED với các tham số: bước chia tối thiểu 0,01 (g), khối lượng cân được tối đa 2000 (g) và khối lượng cân được tối thiểu 0,2 (g).

## 3. Phương pháp và công cụ nghiên cứu

### 3.1. Tỷ suất thoát ẩm

Thông thường, đường cong sấy có chung điểm xuất phát từ độ ẩm ban đầu  $M(0)$  VLS nhưng kết thúc tại các giá trị độ ẩm cân bằng  $M(\infty)$  của VLS khác

nau nên khó so sánh tương quan QTS ở các chế độ khác nhau do vậy khái niệm TSTA, đặc trưng bằng hàm số  $MR(t)$  giảm từ 1 về 0 trong QTS được định nghĩa và biến đổi tính toán qua các công thức sau:

$$MR(t) = \frac{M(t) - M(\infty)}{M(0) - M(\infty)} = \frac{\frac{m_{H_2O}(t) - m_{H_2O}(\infty)}{m_{VLS}(t)} - \frac{m_{H_2O}(\infty) - m_{H_2O}(\infty)}{m_{VLS}(\infty)}}{\frac{m_{H_2O}(0) - m_{H_2O}(\infty)}{m_{VLS}(0)} - \frac{m_{H_2O}(\infty) - m_{H_2O}(\infty)}{m_{VLS}(\infty)}}$$

$$= \frac{\frac{m_{VLS}(t) - m_K^{VLS}}{m_{VLS}(t)} - \frac{m_{VLS}(\infty) - m_K^{VLS}}{m_{VLS}(\infty)}}{\frac{m_{VLS}(0) - m_K^{VLS}}{m_{VLS}(0)} - \frac{m_{VLS}(\infty) - m_K^{VLS}}{m_{VLS}(\infty)}} = \frac{1 - \frac{m_{VLS}(\infty)}{m_{VLS}(t)}}{1 - \frac{m_{VLS}(\infty)}{m_{VLS}(0)}}$$

Việc tính toán hàm  $MR(t)$  trong hệ thức trên trong thực nghiệm thông qua việc xác định khối lượng vật liệu sấy ở các thời điểm bắt đầu đầu thí nghiệm đến khi kết thúc thí nghiệm mà không cần phải sử dụng đến thông số độ ẩm tương đối ban đầu  $M(0)$  của VLS để xác định thông số trung gian không đổi trong quá trình sấy: khối lượng khô  $m_K^{VLS}$  có trong VLS. Giá trị cực đại và cực tiểu của  $MR(t)$  lần lượt bằng 1 và 0 ứng với thời điểm  $t=0$  và  $t=\infty$  (kết thúc quá trình sấy). Hàm  $MR(t)$  là một hàm nghịch biến theo thời gian do  $M(t)$  cũng là một hàm nghịch biến của thời gian. Về mặt lý thuyết,  $MR(t)$  có công thức phức tạp và đã tập trung phản ánh chính xác vào quá trình sấy mà không cần quan tâm nhiều đến các sơ kiện đặc trưng của VLS [11, 12].

Thông số TSTA tại một thời điểm ( $t$ ) sử dụng trong tính toán hồi qui bằng công cụ CFT trong Matlab được xác định bằng trung bình cộng của các trị số  $MR(t)$  tương ứng trong ba lần lặp lại của cùng một thí nghiệm nhằm giảm sai số ngẫu nhiên [13].

### 3.2. Mô hình và công cụ hồi qui tỷ suất thoát ẩm

Hàm  $MR(t)$  có mô hình hồi qui đề xuất bởi các nhóm nghiên cứu được tổng hợp trên bảng 1 [11, 12].

Phương pháp hồi qui số liệu thực nghiệm ( $MR_{exp,i}$ ) theo mô hình định trước ( $MR_{pre,i}$ ) dựa trên nguyên tắc tối thiểu hàm mục tiêu: tổng bình phương của các sai lệch giữa mô hình và  $N$  số liệu thực nghiệm ( $MR_{exp,i} - MR_{pre,i}$ ) được thiết lập [11, 12, 13].

$$S_r = \sum_{i=1}^N E_i^2 = \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2$$

Tính tương hợp của mô hình đề xuất được cho là lớn ứng với các giá trị nhỏ của trị số tương hợp mô hình  $\chi^2$  được tính theo công thức sau [11, 12, 13]:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n}$$

Tính tương hợp mô hình được kiểm định thông qua phân phối chi bình phương (còn đọc là khi bình phương)  $\chi^2$  rút gọn với  $(N-n)$  bậc tự do cho  $N$  điểm định lượng và  $n$  tham số cần tìm của mô hình hồi qui cần xét.

**Bảng 1.** Các mô hình hồi qui của TSTA (MR)

TT	Mô hình	Công thức	Năm
1	Lewis – Newton	$MR = \exp(-kt)$	1921
2	Page	$MR = \exp(-at^b)$	1949
3	Henderson và Pabis (gốc)	$MR = a \exp(-kt)$	1961
4	Logarit (Chandra và Singh)	$MR = a \exp(-kt) + b$	1995
5	Midilli (và cộng sự)	$MR = a \exp(-kt) + bt$	2002
6	Midilli hiệu chỉnh (Ghazanfari và cộng sự)	$MR = \exp(-kt) + bt$	2006
7	Henderson và Pabis hiệu chỉnh: hai bậc tự do (Glenn)	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$	1978
8	Sharaf – Eldeen (và cộng sự)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	1980
9	Verma (và cộng sự)	$MR = a \exp(-k_1t) + (1-a) \exp(-k_2t)$	1985
10	Henderson và Pabis hiệu chỉnh: ba bậc tự do (Karathanos và cộng sự)	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t) + c \exp(-k_3t)$	1999
11	Wang và Singh	$MR = 1 + bt + at^2$	1978

Mức độ tin cậy của các tham số tìm được trong các mô hình hồi qui được đánh giá thông qua hệ số tương quan R như biểu thức trên [11, 12, 13].

Hệ số tương quan R thường ít được dùng trong tính và đánh giá mức độ tin cậy của các tham số tìm được mà giá trị  $R^2$  được sử dụng thường xuyên hơn. Trị số  $R^2$  sử dụng trong đánh giá tương quan luôn luôn nhỏ hơn 1. Giá trị này càng sát với 1 thì kết quả tham số tìm được khi hồi qui tương quan có mức độ tin cậy càng cao. Bộ công cụ CFT (Curve Fitting Toolbox) nằm trong phần mềm Matlab phiên bản R2014B cho hệ điều hành 32 bit của MathWorks chạy trên nền cho phép thực hiện phương pháp hồi

qui để xác định tham số cần tìm và hệ số tương quan thông qua giá trị  $R^2$  [13, 14].

$$R = \left( N \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} MR_{exp,i} - \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} \sum_{i=1}^N MR_{exp,i} \right) \times \left[ N \sum_{i=1}^N MR_{pre,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \times \left[ N \sum_{i=1}^N MR_{exp,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^N MR_{exp,i} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Chỉ số  $\chi^2$  đánh giá tương hợp mô hình được tính toán bằng chương trình con với đầu vào là tham số tìm được và bộ số liệu thực nghiệm. Kết quả hồi qui được trình bày chi tiết trong phần 4 của nghiên cứu.

**4. Kết quả và thảo luận**

Sau khi xử lý số liệu trên Matlab, tính tương hợp của mô hình và mức độ tin cậy của các tham số theo mô hình hồi qui được tổng hợp trên Bảng 2 và Bảng 3.

**Bảng 2.** Chỉ số tương hợp mô hình ( $\chi^2: 10^{-3}$ )

TT	K1	K2	K3	K4	K5
1	12,2	7,7	40,5	14,3	2,9
2	0,7	0,2	0,6	0,1	2,9
3	9,1	5,0	9,7	10,4	3,0
4	1,0	1,4	1,3	2,5	1,9
5	1,0	1,5	1,3	2,6	1,8
6	1,3	4,5	1,9	3,4	2,0
7	2,5	11,4	35,9	2,7	4,3
8	3,0	0,8	2,8	2,1	3,0
9	2,5	3,9	2,0	1,6	3,1
10	2,5	3,9	2,2	5,6	3,5
11	3,11	1,7	1,9	3,4	2,9

**Bảng 3.** Hệ số tương quan ( $R^2: \%$ )

TT	K1	K2	K3	K4	K5
1	89,2	93,4	88,9	89,0	96,3
2	99,4	99,9	99,5	99,9	96,4
3	92,3	95,9	92,5	92,5	96,3
4	99,1	98,9	99,0	98,3	97,7
5	99,1	98,8	99,0	98,3	97,9
6	98,9	98,1	98,6	97,5	97,5
7	98,1	92,1	98,6	98,3	98,5
8	97,5	99,3	97,9	98,5	96,3
9	98,0	96,9	98,5	98,9	96,3
10	98,3	97,3	98,7	97,0	96,4
11	98,9	98,6	98,5	97,6	96,4

Bảng 2 và Bảng 3 thể hiện lần lượt các chỉ số tương hợp  $\chi^2$  và hệ số tương quan  $R^2$  ứng với trị số CSRP khác nhau ( $K1, K2, K3, K4$  và  $K5$ ) của các mô hình đề xuất theo thứ tự trong bảng 1.

Căn cứ vào số liệu trên Bảng 2 cùng với nguyên tắc sắp xếp mô hình phù hợp nhất cần có chỉ số tương hợp mô hình  $\chi^2$  là nhỏ nhất, thứ tự phù hợp của các mô hình cho QTSVS trên thị trường theo sự thay đổi CSRP đồng thời cố định tốc độ đĩa quay và vận tốc TNS tương ứng là mô hình số 2 (Page); mô hình số 4 (Logarit, được Chandra và Singh đề xuất năm 1995) và mô hình số 5 (Midilli, được Midilli và cộng sự đề xuất năm 1995); .... Mô hình được cho là kém phù hợp nhất là mô hình số 1 (được đề xuất vào năm 1921 bởi Lewis – Newton) và mô hình số 7 (do Glenn đề xuất vào năm 1978 với hiệu chỉnh nâng cấp hai bậc tự do từ mô hình gốc được đề xuất bởi Henderson và Pabis).

Dựa trên vào số liệu trên Bảng 3., cùng với nguyên tắc sắp xếp mô hình cho kết quả tham số hồi qui tìm được có tính tin cậy cao nhất ứng với hệ số tương quan  $R$  là lớn nhất, thứ tự về độ chính xác hồi qui của các mô hình cho QTSVS trên thị trường theo sự thay đổi CSRP đồng thời cố định tốc độ đĩa quay và vận tốc TNS tương ứng là mô hình số 2 (Page); mô hình số 5 (Midilli) và mô hình số 4 (Logarit); .... Mô hình số 1 (Lewis – Newton, 1921) và mô hình số 3 (do Henderson và Pabis đề xuất năm 1961) cũng

được nhìn nhận là những mô hình có mức độ tin cậy của tham số hồi qui tìm được kém nhất.

Kết quả hồi qui tham số của những mô hình có mức độ tương hợp cao: mô hình số 2 (k, n), mô hình số 4 (a, b, k) và mô hình số 5 (a, b, k) được trình bày lần lượt trên các bảng số liệu: Bảng 4, Bảng 5 và Bảng 6.

**Bảng 4.** Kết quả hồi qui tham số của mô hình số 2

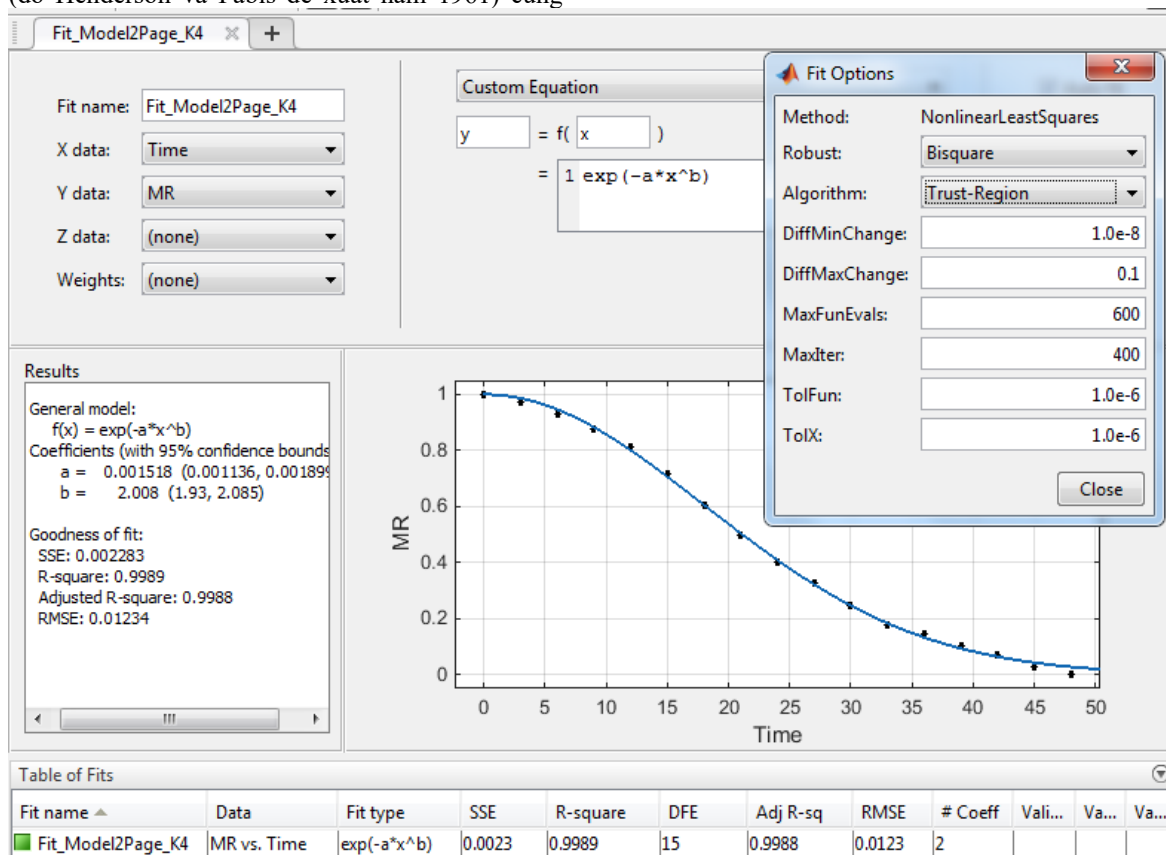
Tham số	K1	K2	K3	K4	K5
a( $10^{-3}$ )	0,8	2,3	1,1	1,5	2,3
B	1,928	1,671	1,957	2,008	1,049

**Bảng 5.** Kết quả hồi qui tham số của mô hình số 4

Tham số	K1	K2	K3	K4	K5
a	6,514	1,460	3,955	2,612	1,298
b( $10^{-3}$ )	-5467	-376	-2889	1529	353
k( $10^{-3}$ )	2,6	17,2	5,6	11,9	15,1

**Bảng 6.** Kết quả hồi qui tham số của mô hình số 5

Tham số	K1	K2	K3	K4	K5
a	1,046	1,087	1,064	1,081	0,950
b( $10^{-3}$ )	-9,8	-2,5	-10,1	-10,0	-2,2
k( $10^{-3}$ )	6,4	21,4	11,2	19,6	18,9



**Hình 1.** Hồi qui tham số trên Matlab R2014B cho dữ liệu thực nghiệm CSRP K4 (2,75 W/g) theo mô hình số 2

TSTA ( $MR$ ) có đơn vị không thứ nguyên còn thời gian ( $t$ ) có đơn vị được tính bằng phút nên các kết quả hồi qui của các bộ tham số ( $a, b$ ) hay ( $a, b, k$ ) đều có đơn vị được hiệu chỉnh phù hợp tương ứng.

Quá trình hồi qui tham số theo mô hình số 2 (mô hình Page với hai tham số cần tìm:  $a$  và  $b$ ) của thí nghiệm ứng với CSRP K4 (2,75 W/g) được thực hiện trên bộ công cụ hồi qui CFT của Matlab theo đường cong với phương trình cho trước với các bước trung gian và kết quả tham số hồi qui tìm được và hệ số tương quan theo  $R^2$  được thể hiện trên hình 1. Chế độ tối ưu hàm mục tiêu sai lệch giữa thực nghiệm với mô hình hồi qui được cài đặt với dải tham số tìm kiếm không có ràng buộc miền biên (-Inf:Inf); giải thuật: "Trust - Region" cho phương pháp tối thiểu hóa quân phương hàm phi tuyến ("NonlinearLeastSquares"); tính bền vững theo chuẩn: *Bisquare*; dung sai:  $1e-6$ ; điểm xuất phát từ gốc tọa độ (0;0); bước nhảy cực đại và cực tiểu lần lượt là: 0,1 và  $10^{-8}$  cùng các tham số phụ khác (số vòng lặp tối đa:400; số lượng tối đa của giá trị ước lượng của hàm TSTA:600; dung sai cho giá trị ước lượng của hàm TSTA:  $10^{-6}$  và biên thời gian:  $10^{-6}$ ).

### 5. Kết luận

Về căn bản, những mô hình đề xuất trong những năm gần đây (ngoại trừ mô hình số 2 của Page, được đề xuất sớm hơn vào năm 1949) đều cho những kết quả tốt hơn về mức độ tương hợp và độ tin cậy của tính tương quan của tham số tìm được từ mô hình hồi qui. Kết quả này đánh giá mức độ tương hợp và mức độ tin cậy của tham số hồi qui của các mô hình TSTA của QTSVS trên thịt quả bơ trong nghiên cứu này cũng phù hợp với kết quả đánh giá tương hợp cũng như mức độ tin cậy của tham số hồi qui về mô hình TSTA của QTSVS trong với một số nghiên cứu quốc tế của W. McMinn và cộng sự [12]; Z. F. Wang và cộng sự [11] trên VLS lần lượt là: được phẩm dạng bột; tảo thái lát dạng miếng mỏng.

Mô hình số 2 được Page đề xuất từ năm 1949 có mức kết quả tốt nhất về mức độ tương hợp và độ tin cậy của tính tương quan của tham số tìm được từ mô hình hồi qui trong số 11 mô hình được tổng hợp trình bày trong bảng 1 và được nhóm nghiên cứu khuyến nghị nên áp dụng trong việc sử dụng mô hình hồi qui TSTA của QTSVS trên thịt quả bơ khi khảo sát ảnh hưởng của không chỉ CSRP mà còn đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ khác như thời gian sấy hoặc vận tốc TNS hoặc tốc độ đĩa quay trong các nghiên cứu khác.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2017-PC-002.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Ding H., Chin, Y., Kinghorn, A. D., D'Ambrosio, M., Chemopreventive Characteristics of Avocado Fruit. Proceeding of 17th Seminars in Cancer Biology, (2007) 386 – 394.
- [2] Hoàng Mạnh Cường, Báo cáo tổng kết đề tài "Nghiên cứu bảo quản lạnh trái bơ sau thu hoạch", Viện khoa học nông nghiệp Tây Nguyên (2015).
- [3] Saucedo, Ma Claudia et al. Effect of freeze-drying and production process on the chemical composition and fatty acids profile of avocado pulp. Rev. chil. nutr. [online]. 2014, vol.41, n.4, pp.404-411. ISSN 0717-7518.
- [4] Souza et al, Rehydration characteristics of freeze-dried avocado, International Congress on Engineering and Food – ICEF11, Food Process Engineering in a Changing World, Athens, Greece (2011)
- [5] Eyres L., Sherpa, N., Hendricks, G., Avocado Oil: A New Edible Oil from Australia, Journal of Lipid Technology, Vol. 13 (4), (2001) 84 – 88.
- [6] Nguyễn Đức Trung, Nguyễn Ngọc Hoàng, Nguyễn Minh Hệ, Hoàng Hải Hà, Ảnh hưởng của chế độ công nghệ sấy vi sóng tới sự biến đổi của  $\beta$ -carotene và lycopene trong màng gấc, Tạp chí Khoa học & Công nghệ các trường Đại học Kỹ thuật, ISSN: 0868-3980, Vol. 117, (2017).
- [7] Nguyễn Đức Trung, Báo cáo tổng hợp Đề tài T2016 – 33, cấp Trường ĐHBKHN (2016).
- [8] Nguyễn Đức Trung, Nguyễn Ngọc Hoàng, Nguyễn Minh Hệ, Phan Minh Thụy, Hoàng Hải Hà, Nghiên cứu quá trình tách ẩm và phát triển thiết kế thiết bị sấy vi sóng phục vụ chế biến bột gấc, Kỷ yếu Hội nghị "Tiến bộ Kỹ thuật Thực phẩm và Kỹ thuật Sinh học: Từ nghiên cứu tới sản xuất", ISBN: 978-604 – 95-0038-1, (2016) 103 – 110.
- [9] A. Methlouthi, O. Rouaud, L. Boillereaux, Microwave Applicator with Conveyor Belt System, Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference, Paris (2010).
- [10] Nguyễn Minh Hệ, Báo cáo CĐ2 – Đề tài T2011 – 22 cấp Trường ĐHBKHN (2011).
- [11] Z. F. Wang, et al. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal of Food Engineering, vol. 80, (2007) 536 – 544.
- [12] W. McMinn, et al. Thin-Layer Modeling of Microwave, MW-Convective, and MW-Vacuum Drying of Pharmaceutical Powders, Drying Technology 23(3), (2005) 513 – 532
- [13] Seber, G. A. F., and C. J. Wild. Nonlinear Regression. Hoboken, Wiley – Interscience, 2003.
- [14] Curve Fitting Toolbox of Matlab online help: <https://mathworks.com/help/curvefit/>