

แบบจำลองการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อน

Models of pepper drying using hot air oven

ณรงค์ อึ้งกิมบัว¹ ภาณุพงษ์ บุญเพียร² และ วันเพ็ญ หวานระรื่น¹Narong Uengkimbuan¹, Panupong Boonpain² and Wanphen Hwanrarun¹

Abstract

The objectives of this research were to study the drying kinetics and to determine the drying models of pepper drying using hot air oven at the temperatures of 50, 70 and 90°C. The experimental data were fitted to 11 different drying models. The drying models were compared using the coefficient of determination (R^2), chi-square (χ^2), and root mean square error (RMSE) for determination of the best suitable model. The experimental results showed that the drying rate of pepper increased with an increase of drying temperatures. The logarithmic model showed a better fit to the experimental drying data as compared to other models due to the highest values of the coefficient of determination and the lowest values of chi-square and root mean square error.

Keywords: drying, model, pepper

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาจลนพลศาสตร์และแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส จากข้อมูลผลการทดลองจะใช้แบบจำลองการอบแห้งจำนวน 11 แบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลการอบแห้งพริกไทย โดยความถูกต้องของแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โคสแควร์ และรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง จากผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งพริกไทยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น แบบจำลองการอบแห้งแบบลอการิทึมจะให้ผลการทำนายการอบแห้งพริกไทยดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 สูงที่สุดในขณะที่ให้ค่า χ^2 และ RMSE น้อยที่สุด

คำสำคัญ: การอบแห้ง แบบจำลอง พริกไทย

คำนำ

พริกไทย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Piper nigrum* L. เป็นพืชสมุนไพรที่นิยมปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่จังหวัด หนองบัวลำภู จันทบุรี และตราด โดยเฉพาะจังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่เพาะปลูก 12,249 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 98 ของพื้นที่ปลูกพริกไทยทั้งประเทศและให้ผลผลิตผลในปี 2551 ประมาณ 5,714 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) เนื่องจากเม็ดพริกไทยมีสรรพคุณทั้งเป็นเครื่องเทศและสรรพคุณทางยา ดังนั้นจากข้อมูลพื้นฐานทางการเกษตร ปี 2552 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552) พบว่าร้อยละ 73 ของผลผลิตที่ได้ใช้บริโภคในประเทศ ส่วนที่เหลือส่งออกขายต่างประเทศในรูปแบบของพริกไทยป่นร้อยละ 92 จากข้อมูลพบว่าตั้งแต่ปี 2550-2552 พริกไทยมีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปีโดยมีมูลค่าการส่งออกต่อปีเท่ากับ 59.21, 82.89 และ 117.70 ล้านบาทตามลำดับ โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเม็ดพริกไทยแห้งของเกษตรกรทำได้โดยวิธีการตากแดดธรรมชาติซึ่งระยะเวลาในการทำแห้งประมาณ 5-7 วันขึ้นกับสภาพอากาศ แต่เนื่องจากพื้นที่เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุกทำให้การทำแห้งพริกไทยแต่ละครั้งต้องใช้เวลามากขึ้น มีผลให้พริกไทยที่ได้มีคุณภาพต่ำทำให้ราคาที่เกษตรกรขายได้มีค่าลดลง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีผู้พัฒนาเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งพริกไทยด้วยแหล่งพลังงานต่างๆ เช่นการใช้ลมร้อน ดังนั้นการออกแบบเครื่องอบแห้งสำหรับการใช้งานโดยทั่วไปจำเป็นต้องคำนึงถึงความสะดวกของการใช้งาน ราคาประหยัด รวมถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองการอบแห้งมีความจำเป็นสำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุขณะทำการอบแห้งเพื่อกำหนดระยะเวลาการอบแห้งที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้ประกอบการเลือกใช้

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 10140

² Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131

³ คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว สระแก้ว 27160

⁴ Faculty of Science and Social Science, Burapha University, Sakaeo Campus, Sakaeo, 27160

พลังงานที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ และหาแบบจำลองการอบแห้งพริกไทยที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพริกไทย

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์แบบจำลองการอบแห้งพริกไทย เริ่มจากใช้พริกไทยแก่จากสวนของเกษตรกรจังหวัดตราด มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 190 มาตรฐานแห้ง และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5.65 ± 0.30 มิลลิเมตร มาทำการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90°C ความละเอียด $\pm 1^\circ\text{C}$ แล้วนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกไทยที่ได้มาทำการวิเคราะห์แบบจำลองการอบแห้ง ในรูปของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้งจำนวน 11 แบบจำลอง แสดงดัง Table 1

Table 1 Mathematical models applied to the kinetics of pepper drying

| Model equation | Name of model | References |
|--|------------------------------|-----------------------------|
| $MR = \exp(-kt)$ | Newton | Ayensu, 1997 |
| $MR = \exp(-kt^n)$ | Page | Simal, et al., 2005 |
| $MR = a \exp(-kt)$ | Henderson and Pabis | Yaldiz, et al., 2001 |
| $MR = a \exp(-kt) + c$ | Logarithmic | Togrul and Pehlivan, 2003 |
| $MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$ | Two Term | Henderson, 1974 |
| $MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$ | Two Term exponential | Sharaf-Eldeen, et al., 1980 |
| $MR = 1 + at + bt^2$ | Wang and Sing | Akpinar et al., 2003 |
| $MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$ | Diffusion approximation | Yaldiz and Ertekin, 2001 |
| $MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$ | Verma et al. | Doymaz, 2005 |
| $MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$ | Modified Henderson and Pabis | Karathanos, 1999 |
| $MR = a \exp(-kt^n) + bt$ | Midilli et al. | Mohamed et al., 2005 |

การวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ ของแบบจำลอง ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) โคสควร์ (chi-square, χ^2) และรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) เป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายของแบบจำลองโดยแบบจำลองที่ดีจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด ให้ค่า χ^2 และค่า RMSE น้อยที่สุด โดยที่ χ^2 และ RMSE มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1 และ 2

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

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

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น N คือจำนวนข้อมูล และ n คือจำนวนค่าคงที่ในแบบจำลอง

ผลการศึกษา

จากผลการทดลองการอบแห้งพริกไทยที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90°C พบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำลงทำให้อัตราการอบแห้งพริกไทยสูงขึ้น มีผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลงแสดงดัง Figure 1 และรายละเอียดผลการวิเคราะห์หาแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพริกไทยที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงใน Table 2 โดยพบว่าแบบจำลอง Logarithm ให้ผล

การทำนายดีที่สุดสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C โดยมีค่า R^2 , χ^2 และ RMSE เท่ากับ 99.979%, 0.000046 และ 0.006495 ตามลำดับ ซึ่งจากแบบจำลองที่ได้สามารถเปรียบเทียบผลการทำนายและการทดลองได้ดัง Figure 2 โดยจากรูปจะเห็นว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองและจากผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่แบบจำลอง Wang and Sing ให้ผลการทำนายดีที่สุดสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C โดยมีค่า R^2 , χ^2 และ RMSE เท่ากับ 99.897%, 0.000163 และ 0.012447 ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิต่ำ 90°C แบบจำลอง Modified Henderson and Pabis ให้ผลการทำนายดีที่สุด โดยมีค่า R^2 , χ^2 และ RMSE เท่ากับ 99.927%, 0.000223 และ 0.013563 ตามลำดับ

Table 2 Statistical results of pepper drying at different air temperatures

| Model | Temperature (°C) | R^2 | χ^2 | RMSE |
|------------------------------|------------------|---------|----------|----------|
| Newton | 50 | 0.99683 | 0.000641 | 0.024971 |
| | 70 | 0.99493 | 0.001021 | 0.031555 |
| | 90 | 0.98341 | 0.004284 | 0.064483 |
| Page | 50 | 0.99816 | 0.000382 | 0.019014 |
| | 70 | 0.99755 | 0.000440 | 0.020443 |
| | 90 | 0.99887 | 0.000304 | 0.016906 |
| Henderson and Pabis | 50 | 0.99695 | 0.001819 | 0.041490 |
| | 70 | 0.99591 | 0.001415 | 0.036663 |
| | 90 | 0.98916 | 0.004188 | 0.062785 |
| Logarithmic | 50 | 0.99979 | 0.000046 | 0.006495 |
| | 70 | 0.99937 | 0.000344 | 0.017848 |
| | 90 | 0.99432 | 0.001568 | 0.037820 |
| Two Term | 50 | 0.99695 | 0.000672 | 0.024480 |
| | 70 | 0.99571 | 0.000924 | 0.028843 |
| | 90 | 0.99916 | 0.003088 | 0.052203 |
| Two Term exponential | 50 | 0.99617 | 0.000671 | 0.025200 |
| | 70 | 0.99473 | 0.001083 | 0.032074 |
| | 90 | 0.98324 | 0.004463 | 0.064812 |
| Wang and Sing | 50 | 0.99895 | 0.000218 | 0.014356 |
| | 70 | 0.99897 | 0.000163 | 0.012447 |
| | 90 | 0.99676 | 0.000869 | 0.028600 |
| Diffusion Approximation | 50 | 0.98097 | 0.004041 | 0.060938 |
| | 70 | 0.98355 | 0.003146 | 0.053946 |
| | 90 | 0.99835 | 0.000458 | 0.020427 |
| Verma et al. | 50 | 0.99963 | 0.000080 | 0.008585 |
| | 70 | 0.99934 | 0.000294 | 0.016500 |
| | 90 | 0.99263 | 0.002036 | 0.043082 |
| Modified Henderson and Pabis | 50 | 0.99695 | 0.000715 | 0.024480 |
| | 70 | 0.99804 | 0.000379 | 0.017959 |
| | 90 | 0.99927 | 0.000223 | 0.013563 |
| Midilli et al. | 50 | 0.99905 | 0.000210 | 0.013683 |
| | 70 | 0.99949 | 0.000607 | 0.023372 |
| | 90 | 0.99914 | 0.000245 | 0.014703 |

สรุป

จากผลการศึกษการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90°C พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการอบแห้งพริกไทยเพิ่มขึ้น และจากผลการวิเคราะห์แบบจำลองการอบแห้งทั้ง 11 แบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ให้ผลการทำนายการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90°C ดีที่สุดได้แก่ แบบจำลอง Logarithmic, Wang and Sing และแบบจำลอง Modified Henderson and Pabis ตามลำดับ

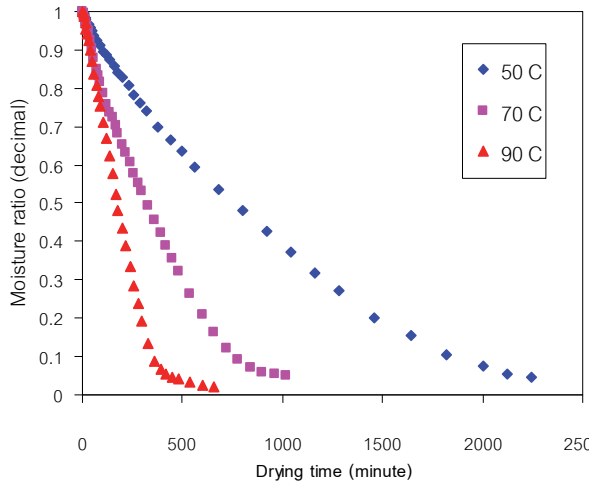


Figure 1 Variation of moisture ratio and drying time of pepper drying at different temperatures

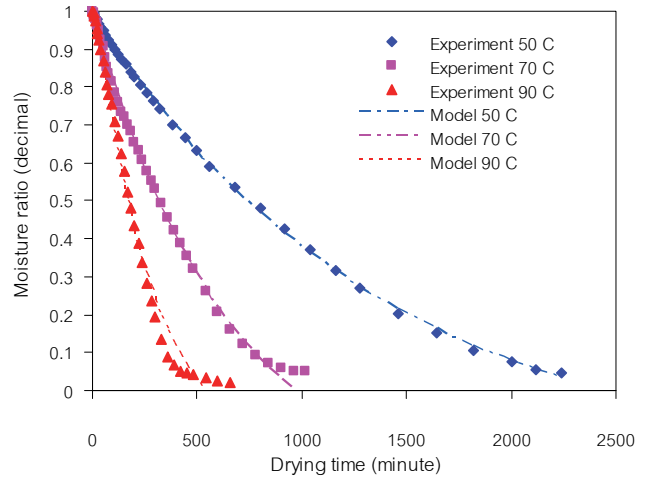


Figure 2 Comparison of experimental and predicted moisture ratio by Logarithmic model

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2551. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. น. 92 - 93.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. น. 46 - 47.
- Akpınar, E. A. Midilli and Y. Bicer. 2003. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management* 44: 1689-1705.
- Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy* 59: 121-126.
- Doymaz, I. 2005. Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering* 71: 403-407.
- Henderson, S. 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. *Transactions of the ASAE* 17: 1167-1172.
- Karathanos, V.T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering* 39: 337-344.
- Mohamed, L.A., M. Kouhila, A. Jamali, A. Lahsasni, N. Kechaou and M. Mahrouz. 2005. Single layer solar drying behaviour of Citrus aurantium leaves under forced convection. *Energy Conversion and Management* 46: 1473-1483.
- Simal, S., A. Femenia, M.C. Garau and C. Rossell. 2005. Use of exponential, Page's and diffusion modes to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering* 66: 323-328.
- Sharaf-Eldeen, Y.I., J.L. Blaisdell and M.Y. Hamdy. 1980. A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE* 23: 1261-1271.
- Togrul, I.T. and D. Pehlivan. 2003. Modeling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering* 58: 23-32.
- Yaldiz, O., C. Ertekin and H.I. Uzun. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy-An International Journal* 26: 457-465.
- Yaldiz, O. and C. Ertekin. 2001. Thin layer solar drying some different vegetables. *Drying Technology* 19: 583-597.