Agricultural Sci. J. 41 : 1 (Suppl.) : 564-567 (2010) ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 564-567 (2553)

สมการอบแห้งเอมไพริคเคิลและคุณภาพด้านสีของแมคคาเดเมียภายใต้การอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง

Empirical Drying Equations and Color Quality of Macadamia Nuts under Heat Pump Drying Using Nitrogen Gas as Media

ธานินทร์ รัชโพธิ์[1], ละมุล วิเศษ[1], ณัฐพล ภูมิสะอาด[1] และ ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล[2]
Tanin Rudchapo[1], Lamul Wiset[1], Nattapol Poomsa-ad[1] and Chaleeda borompichaichartkul[2]

Abstract

The objective of this research was to investigate the empirical drying equations of Macadamia nut and color quality after drying by nitrogen gas as media. The macadamia nuts were dried by heat pump dryer beneath closed loop system. The drying temperatures of 40, 50 and 60°C were applied with the superficial air velocity of approximately 0.5 m/s and 30 % by pass air ratio. The initial moisture content of macadamia nuts was about 20 % wet basis. Approximatly 1 kilogram sample was used in each experiment. The weight was automatically recorded during drying until constant weight. Then, sample was dehusked and the kernel was taken for the color determination. For empirical drying model, the experimental data were fitted into Henderson, Logarithmic, Two term, Page's and Semi empirical thin-layer drying model to find the best equation for prediction the drying time and product moisture content. The coefficient of determination (R^2) and chi-square (χ^2) were criteria to select the best model. It was found that the best fit for macadamia was Two term model which gave the highest R^2 and the lowest χ^2. For color analysis, it was found that total color difference (ΔE^*) of the kernel was increased with the drying temperature.

Key word: drying, macadamia nut, empirical drying equations

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมการอบแห้งเอมไพริคเคิลของถั่วแมคคาเดเมีย และคุณภาพด้านสี หลังการอบแห้งโดยใช้ไนโตรเจนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง การทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้ระบบปิด ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ความเร็วของตัวกลางในห้องอบแห้ง 0.5 m/s และอัตราส่วนอากาศที่ไม่ผ่านเครื่องทำระเหยร้อยละ 30 ความชื้นเริ่มต้นของแมคคาเดเมียประมาณร้อยละ 20 มาตรฐานเปียก ใช้ตัวอย่างครั้งละประมาณ 1 กิโลกรัมในแต่ละการทดลอง บันทึกน้ำหนักในระหว่างการอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นกะเทาะเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและนำเนื้อในมาวิเคราะห์คุณภาพด้านสี สำหรับการหาสมการอบแห้งเอมไพริคเคิลจะใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางของ Henderson,Two term, Logarithmic, Page และ Semi มาฟิตกับค่าจากการทดลอง เพื่อหาสมการอบแห้งเอมไพริคเคิลที่สามารถทำนายความชื้นและเวลาของการอบแห้งแมคคาเดเมียที่ดีที่สุด โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และค่าไควสแควร์ (χ^2) เป็นเกณฑ์การเลือกสมการอบแห้งเอมไพริคเคิลที่ดีที่สุด จากการทดลองพบว่า สมการของ Two term สามารถทำนายอัตราการอบแห้งถั่วแมคคาเดเมียได้ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) สูงที่สุด และค่าไควสแควร์ (χ^2) ต่ำที่สุด สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสี พบว่า ความแตกต่างสีรวมของของเนื้อใน (ΔE^*) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้ง

คำสำคัญ การอบแห้ง, ถั่วแมคคาเดเมีย, สมการอบแห้งเอมไพริคเคิล

คำนำ

แมคคาเดเมียได้ชื่อว่าเป็นราชาแห่งถั่ว ซึ่งผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสนใจและมีความต้องการทางตลาดสูง เนื่องจากมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดีมีคุณค่าทางอาหารสูงโดยมีกรดโอเลิอิกสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Borompichaichart

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150
[1]Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kamriang District, Kantarawichai Mahasarakham 44150
[2]ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กทม. 10330
[2]Department of Food Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Payathai Rd., Patumwan, Bangkok, 10330

kul et al., 2009) สำหรับประเทศไทยมีการปลูกแมคคาเดเมียกันมากทางตอนเหนือของประเทศ เช่น จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่

Nomenclature

MR	moisture ratio (-)	R^2	coefficient of determination
MR_{exp}	experimental moisture ratio (-)	t	drying time, minute
MR_{pred}	predicted moisture ratio (-)	N	number of observations
χ^2	chi-square	n	parameter of empirical equation
a, b, c	coefficient of polynomial	k_0, k_1	drying constants (min^{-1})
A_0, A_1, c, n	empirical constants	T	temperature (°C)

แต่มักพบปัญหาในระหว่างเก็บรักษาและกระบวนการลดความชื้น ทำให้แมคคาเดเมียสูญเสียคุณภาพ เนื่องจากความชื้นของแมคคาเดเมียไม่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาและการสัมผัสกับออกซิเจนในกระบวนการลดความชื้น โดยทั่วไปความชื้นของแมคคาเดเมียหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 20-30 % มาตรฐานแห้ง สามารถเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย ซึ่งความชื้นของแมคคาเดเมียที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคือ 1-2 %มาตรฐานแห้ง (Silva et al., 2005) วิธีที่น่าสนใจที่สามารถลดความชื้นได้ในระยะเวลาที่สั้นลงและยังช่วยรักษาคุณภาพของแมคคาเดเมีย คือการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนแบบเปลี่ยนตัวกลางอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งวิธีนี้ทำได้โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้ง (Hawlader et al., 2005) จะทำให้ไม่มีออกซิเจนในระบบเป็นการลดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้แมคคาเดเมียสูญเสียคุณภาพน้อยลง การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนนี้ยังมีการลดความชื้นในตัวกลางอบแห้งทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลงได้ สามารถนำพลังงานมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยนำความร้อนหลังการอบแห้งกลับคืนมาใช้และยังช่วยรักษาคุณภาพด้านสีและกลิ่นให้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบก่อนอบ

สมการอบแห้งเอมไพริคเคิล คือ สมการอบแห้งที่ได้มาจากการทดลอง สามารถทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี การประยุกต์ใช้สมการอบแห้งเอมไพริคเคิลเพื่อทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของแมคคาเดเมีย ซึ่งสมการที่เหมาะสมสามารถทำนายค่าความชื้นในแต่ละเวลาได้อย่างเหมาะสม ทำให้ทราบเวลาสิ้นสุดการอบแห้งได้ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเสื่อมเสียของคุณภาพเนื่องจากการอบแห้งที่ใช้เวลานานเกินไป และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมการอบแห้งเอมไพริคเคิล คุณภาพด้านสีของแมคคาเดเมีย โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่สภาวะการทดลองระบบปิดโดยใช้ไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

นำแมคคาเดเมียที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20 % มาตรฐานเปียก มาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้การทดลองระบบปิดดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ 1.ห้องอบแห้ง 2.เครื่องทำระเหย 3.ท่ออากาศไหลข้ามเครื่องอบแห้ง 30% 4.เครื่องควบแน่นตัวใน 5.พัดลม 6.ขดลวดความร้อน 7.เครื่องอัดไอ 8.เครื่องควบแน่นตัวนอก 9.วาล์วลดความดัน

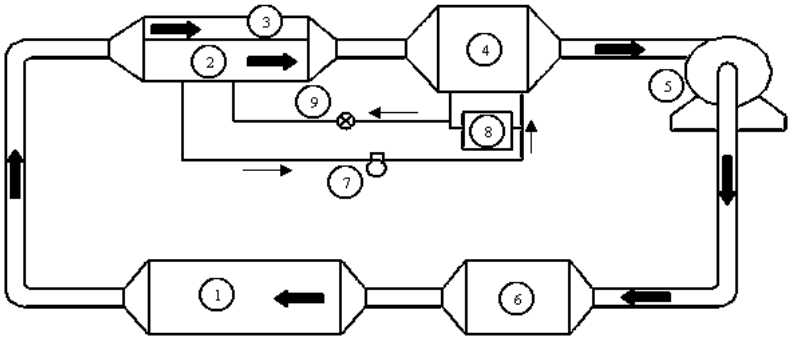

Figure 1 A schematic diagram of heat pump dryer.

อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C เมื่ออุณหภูมิถึงตามที่กำหนด ทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าระบบอบแห้ง บันทึกน้ำหนักในระหว่างการอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นหาความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็น

เวลา 24 ชม. เมื่อทราบค่าความชื้นสุดท้ายสามารถหาค่าความชื้นในแต่ละเวลาและหาอัตราส่วนความชื้นได้ นำอัตราส่วนความชื้นและเวลามาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Regression) เพื่อหาค่าคงที่ของสมการ โดยใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางของ Henderson, Logarithmic, Two term, Page และ Semi ซึ่งมีรูปแบบของสมการดังต่อไปนี้

Henderson	$MR = A_0 \exp(-k_0 t)$
Logarithmic	$MR = A_0 \exp(-k_0 t) + c$
Two term	$MR = A_0 \exp(-k_0 t) + A_1 \exp(k_1 t)$
Page	$MR = \exp(-k_0 t^n)$
Semi	$MR = \exp(-k_0 t)$

นำค่าคงที่ในสมการอบแห้งมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบแม่นตรง (validity) ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับค่าคงที่ด้วยสมการ Quadratic ซึ่งมีรูปแบบของสมการคือ $\theta = aT^2 + bT + C$ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination; R^2) และค่าไคสแควส์ (Chi-square; χ^2) เป็นดัชนีบ่งชี้ที่แสดงถึงความสามารถของสมการในการทำนาย สำหรับการศึกษาค่าสีของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยนำแมคคาเดเมียอบแห้งมากะเทาะกะลาแล้วนำเนื้อในมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีรุ่น Mini Scan Plus (Hunter Lab) ในระบบ CIE (L* a* b*) และคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้ $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

ผลและวิจารณ์

การอบแห้งแมคคาเดเมียโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้ไนโตรเจน พบว่า อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง โดยเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C จะใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุดและเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดดังแสดงใน Figure 2 ผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายด้วยกฎของ Fick ซึ่งอัตราการการแพร่ของน้ำขึ้นอยู่กับสัมประ สิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ซึ่งมีค่ามากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

สำหรับการหาสมการอบแห้งเอมไพริคเคิลที่สามารถทำนายค่าความชื้นและเวลาในการอบแห้งได้เหมาะสมที่สุด โดยใช้ค่า R^2 และ χ^2 เป็นดัชนีบ่งชี้ที่แสดงถึงความสามารถของสมการในการทำนายดังแสดงใน Table 1 ซึ่งผลการทดลองพบว่าสมการของ Two term ความเหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาเดเมียมากที่สุดโดยให้ค่า R^2 สูงสุดและค่า χ^2 ต่ำสุด สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทำนายมาวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับการอบแห้งแมคคาเดเมียด้วยปั๊มความร้อนโดยใช้ไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้ง โดยสมการที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Palipane (1992)

Table 1 Values of R^2 and χ^2 of selected equation

Equation	R^2	χ^2
Henderson	0.9926	0.0008
Logarithmic	0.9925	0.0009
Two term	0.9991	0.0001
Page	0.9926	0.0008
Semi	0.9832	0.0024

นำอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการอบแห้งเอมไพริคเคิล มาพล๊อตกราฟเปรียบเทียบกับอัตราส่วนความ ชื้นจากการทดลอง ซึ่งสมการ Two term สามารถทำนายได้เหมาะสมที่สุดทุกอุณหภูมิอบแห้งดังเช่นใน Figure 3

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณภาพสีของแมคคาเดเมียอบแห้ง พบว่าคุณภาพสีของแมคคาเดเมียหลังอบแห้งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในขณะทำการอบแห้ง เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเนื้อในแมคคาเดเมียจะมีค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่าง (L*) จะลดลงมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ค่าความแตกต่างสีรวม (ΔE^*) มีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งผล

ของค่าสีมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prichavudhi and Yamamoto (1987) ที่รายงานว่า การอบแห้งแมคคาเดเมียที่อุณหภูมิสูงจะมีโอกาสเกิดสีน้ำตาลตรงกลางเมล็ดสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

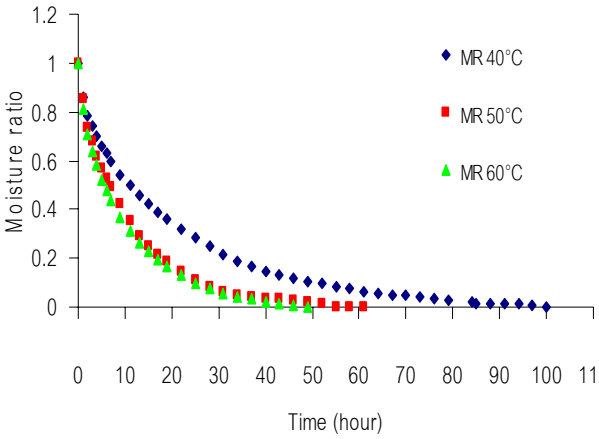

Figure 2 Moisture ratio of the experimental data at drying temperatures of 40, 50 and 60°C.

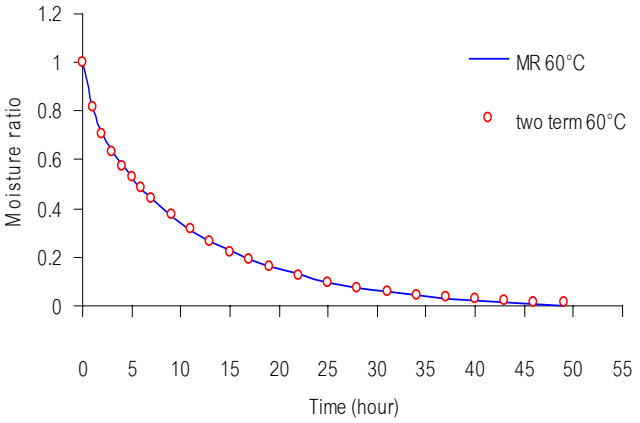

Figure 3 Comparison of the experimental and predicted moisture ratio by two term empirical equation of drying at 60°C.

Table 2 Colour values of macadamia after drying under nitrogen gas at different drying temperature

Temperature (°C)	Colour parameters			
	L*	a*	b*	ΔE*
40	67.64 ± 0.39[a]	2.41±0.05[c]	25.36±0.30[c]	2.13±0.37[c]
50	64.05 ± 0.38[b]	3.70 ± 0.07[b]	27.64 ± 0.23[b]	6.48±0.36[b]
60	61.07 ± 0.80[c]	7.03 ± 0.37[a]	30.01 ± 0.36[a]	11.16±0.90[a]

* Means with the same letter in each column are not significantly different (P ≥ 0.05) by DMRT

สรุป

การวิเคราะห์หาสมการอบแห้งเอมไพริคเคิลที่เหมาะสมในการทำนายค่าความชื้นและเวลาในการอบแห้ง พบว่าสมการ Two term สามารถทำนายได้อย่างเหมาะสมที่สุด และการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าสีของแมคคาเดเมีย พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารอ้างอิง

Borompichaichartkul, C., K. Luengsode, N. Chinprahast and S. Devahastin. 2009. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process, Journal of Food Engineering. 93: 348-353.

Hawlader, M.N.A., C.O. Perera and M. Tian. 2005. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods. Journal of Food Engineering. 74: 392-401.

Palipane, K.B. 1992. Deep bed drying of macadamia nuts. Doctoral Dissertation. Department of Food science and Technology : The university of New South Wales.

Prichavudhi, K. and H.Y. Yamamoto. 1987. Effect of drying temperature on chemical composition and quality of macadamia nuts. Food Technology. 19: 129-132.

Silva, F.A., A.J. Marsaioli, G.J. Maximo, M.A.A.P. Silva and L.A.G. Goncalves. 2005. Microwave assisted drying of macadamia nuts. Journal of Food Engineering. 77: 550–558.