Agricultural Sci. J. 41 : 1 (Suppl.) : 520-523 (2010) ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 520-523 (2553)

การอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน

Kaffir Lime Leaves Drying Using Heat Pump Dryer under Air, Carbon Dioxide and Nitrogen Gas

กลยุทธ ดีจริง[1], **ณัฐพล ภูมิสะอาด**[1] **และ ละมุล วิเศษ**[1]
Konlayut Deejing[1], Nattapool Pomsa-ad[1] and Lamul Wiset[1]

Abstract

The objective of this research was to study the thin layer drying equation and the aspect color quality of dried kaffir lime leaves. Kaffir lime leaves were dried by heat pump dryer using hot air, CO_2 and N_2 gas as drying media in a closed-loop system at drying temperature of 40, 50 and 60 °C, drying media velocity in drying chamber was 0.5 m/s. The moisture contents of sample at any drying time were then fitted to the different thin layer drying equations such as Newton, Page, Modified Page, Henderson, Two-term, Midilli-Kucuk, and Logarithmic. The effect of drying media temperature on the coefficients of each equation was determined by multiple regression method. Coefficient of determination (R^2) and mean squares error (MSE) were used to select the best equation. The results showed that Midilli-Kucuk equation was found to be the most suitable for describing the experimental result. In the aspect of color quality of dried sample, drying under N_2 and CO_2 had loss total color difference than that of hot air as drying temperature increased.

Key word: empirical drying equations, heat pump dryer, Kaffir lime leaves

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมการอบแห้งชั้นบางและคุณภาพด้านสีของใบมะกรูดหลังการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนซึ่งทำการอบแห้งภายใต้ระบบปิดด้วยตัวกลางที่แตกต่างกันคือ อากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 °C ความเร็วของตัวกลางในห้องอบแห้ง 0.5 m/s ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของใบมะกรูดระหว่างการอบแห้งนำมาวิเคราะห์และสร้างสมการอบแห้งชั้นบางของใบมะกรูด โดยใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางของ Newton, Page, Modified Page, Henderson, Two-term, Midilli-Kucuk และ Logarithmic มาวิเคราะห์สมการถดถอย โดยให้ค่าคงที่ในแต่ละสมการเป็นความสัมพันธ์อุณหภูมิที่ใช้ในการในอบแห้ง ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) เป็นเกณฑ์การเลือกสมการที่สามารถทำนายผลการทดลองได้ดีสุด จากการศึกษาพบว่า สมการของ Midilli-Kucuk สามารถทำนายการอบแห้งด้วยตัวกลางทั้งสามชนิดได้ดีที่สุด สำหรับคุณภาพด้านสีของใบมะกรูดพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นใบมะกรูดที่อบแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าความแตกต่างสีรวมน้อยกว่าใบมะกรูดที่อบแห้งด้วยอากาศ

คำสำคัญ สมการอบแห้งเอมไพริเคิล, ปั๊มความร้อน, ใบมะกรูด

คำนำ

ใบมะกรูดจัดเป็นพืชสมุนไพรที่มีน้ำมันหอมระเหยและมีกลิ่นหอม เป็นที่นิยมนำมาใช้ปรุงแต่งกลิ่นอาหาร และเป็นส่วนประกอบอาหารได้หลายชนิด หรือเป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงรส ใบมะกรูดเริ่มเป็นที่ต้องการในตลาดต่างประเทศมากขึ้นตามการขยายตัวของร้านอาหารไทย การบริโภคจะอยู่ในรูปแบบทั้งของสดและแห้ง การส่งออกใบมะกรูดในรูปของผลิตภัณฑ์แห้งจำเป็นต้องรักษาสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากลักษณะดังกล่าวมีผลกับการยอมรับและไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถลดความชื้นอากาศก่อนใช้ในกระบวนการอบแห้ง จึงสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนทั่วไป การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในระบบปิดสามารถ

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[1] Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150

เปลี่ยนตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งจากอากาศเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างการอบแห้งทำให้ช่วยรักษาสี กลิ่นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้ใกล้เคียงกับธรรมชาติ (Perera and Rahman, 1997) จากความสำคัญในการแปรรูปใบมะกรูดให้ได้คุณภาพเป็นที่ยอมรับและประโยชน์ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้ก๊าซเฉื่อยเป็นตัวกลางในการอบแห้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพด้านสีและสร้างสมการอบแห้งชั้นบางสำหรับการอบแห้งใบมะกรูดที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

การอบแห้งใบมะกรูดใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนแสดงดัง Figure 1 การทำงานของเครื่องอบแห้งคือ อากาศไหลผ่านขดลวดให้ความร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง อากาศหลังออกจากห้องอบแห้งส่วนหนึ่งไหลผ่านเครื่องทำระเหยเพื่อลดความชื้น และอีกส่วนไหลไปยังท่อ By pass จากนั้นเกิดการรวมกันของกระแสอากาศ ซึ่งจะไหลผ่านเครื่องควบแน่นและขดลวดความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามเงื่อนไขการทดลอง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งได้ตามที่กำหนดความร้อนจะระบายออกที่เครื่องควบแน่นตัวนอก เพื่อให้เครื่องทำระเหยทำงานต่อไป

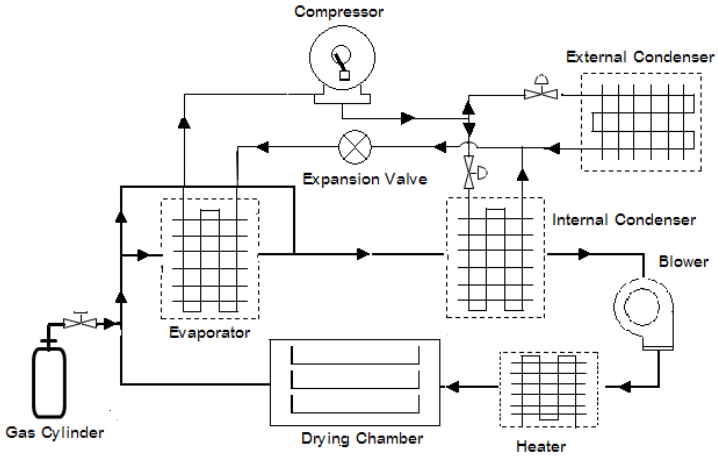

Figure 1 Schematic diagram of heat pump dryer system.

ในการทดลองทำการอบแห้งแบบระบบปิดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C โดยใช้อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความเร็วของตัวกลางอบแห้งในห้องอบ 0.5 m/s ความชื้นเริ่มต้นของใบมะกรูดประมาณ 186 % dry basis อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 10 % dry basis (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรแห้งความชื้นไม่เกินร้อยละ 12) ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของใบมะกรูดระหว่างการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธี Nonlinear regression ด้วยรูปแบบสมการชั้นบางของ Newton, Page, Modified Page, Henderson, Two-term, Midilli-Kucuk และ Logarithmic โดยนำค่าคงที่มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิด้วยสมการ Quadratic ($Y=AT^2+BT+C$) แล้วใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) เป็นเกณฑ์เลือกสมการที่สามารถทำนายผลการทดลองได้ดีสุด

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Chroma meter CR – 300) วัดค่าสี L* a* และ b* จากนั้นคำนวณค่าความแตกต่างสีของใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งเทียบกับสีของใบมะกรูดสดจากสมการ

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ผล

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ตัวกลางในการอบแห้งแตกต่างกัน ดังแสดงใน Figure 2 พบว่าอัตราการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในกรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง จะลดลงเร็วกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเร็วที่สุด และที่อุณหภูมิเดียวกันอัตราการอบแห้งของตัวกลางทั้งสามชนิดแตกต่างกันเล็กน้อย

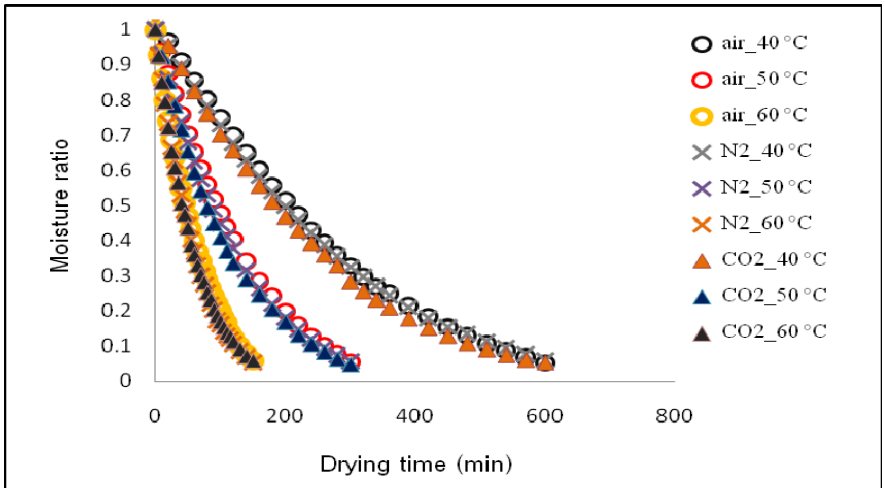

Figure 2 Moisture ratio of kaffir lime leaves during drying by heat pump dryer under different conditions.

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนความชื้นกับเวลาการอบแห้ง ด้วยวิเคราะห์การถดถอยใช้วิธี Nonlinear regression พบว่าสมการ Midilli-Kucuk สามารถทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นของใบมะกรูดที่อบแห้งด้วยก๊าซทั้งสามชนิดได้ดีที่สุด ค่าคงที่และค่าทางสถิติจากสมการ Midilli-Kucuk แสดงดัง Table 1 ซึ่งสมการ Midilli-Kucuk มีรูปแบบดังนี้

$MR = aexp(-kt^n)+bt$

เมื่อ a, k, n, b คือ ค่าคงที่ของสมการ

MR คือ อัตราส่วนความชื้น

t คือ เวลาในการอบแห้ง (นาที)

Table 1 Statistical results of the Midilli–Kucuk model at different drying conditions

Drying media	model constants	Parameter in Quadratic Relationship			R^2	MSE
		A	B	C		
Air	a	-4.24×10^{-6}	-2.065×10^{-4}	1.027	0.9996	0.000024
	k	1.779×10^{-5}	-1.141×10^{-3}	1.881×10^{-2}		
	n	3.758×10^{-4}	-4.408×10^{-2}	2.289		
	b	-5.865×10^{-7}	4.258×10^{-5}	-8.662×10^{-4}		
N_2	a	1.120×10^{-4}	-1.143×10^{-2}	1.291	0.9997	0.000026
	k	1.866×10^{-5}	-1.252×10^{-3}	2.257×10^{-2}		
	n	1.583×10^{-4}	-1.775×10^{-2}	1.526		
	b	-4.596×10^{-7}	3.962×10^{-5}	-9.488×10^{-4}		
CO_2	a	2.368×10^{-5}	-2.933×10^{-3}	1.091	0.9996	0.000028
	k	1.030×10^{-5}	-3.965×10^{-4}	1.833×10^{-3}		
	n	2.541×10^{-4}	-2.817×10^{-2}	1.798		
	b	-5.214×10^{-7}	4.876×10^{-5}	-1.196×10^{-3}		

ส่วนด้านคุณภาพใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งนำมาตรวจสอบค่าสี พบว่าใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างสีรวมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน มีค่าความแตกต่างสีรวมน้อยกว่าใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Table 2 Color value of kaffir lime leaves after drying under different media and temperature

Drying media	Temperature (°C)	L*	a*	b*	ΔE*
Air	40	$40.50^{bc} \pm 1.78$	$-9.60^{b} \pm 1.42$	$21.16^{b} \pm 1.46$	$8.15^{a} \pm 1.42$
	50	$40.42^{bc} \pm 1.85$	$-4.83^{c} \pm 1.15$	$25.11^{c} \pm 1.71$	$12.50^{b} \pm 1.83$
	60	$41.73^{c} \pm 1.38$	$-2.99^{d} \pm 1.03$	$25.99^{c} \pm 1.92$	$14.78^{c} \pm 1.16$
N_2	40	$39.00^{b} \pm 1.28$	$-9.50^{b} \pm 1.02$	$20.25^{b} \pm 1.44$	$6.52^{a} \pm 0.53$
	50	$39.91^{bc} \pm 1.84$	$-8.03^{b} \pm 1.26$	$20.62^{b} \pm 1.20$	$7.77^{a} \pm 2.33$
	60	$39.50^{bc} \pm 0.84$	$-4.80^{c} \pm 1.32$	$24.78^{c} \pm 1.18$	$11.78^{b} \pm 1.37$
CO_2	40	$38.88^{b} \pm 0.63$	$-8.34^{b} \pm 1.59$	$20.83^{b} \pm 0.61$	$7.13^{a} \pm 0.57$
	50	$40.23^{bc} \pm 1.68$	$-8.57^{b} \pm 0.52$	$20.87^{b} \pm 1.08$	$8.02^{a} \pm 0.98$
	60	$39.63^{bc} \pm 1.44$	$-4.72^{c} \pm 1.10$	$24.90^{c} \pm 1.15$	$11.96^{b} \pm 1.67$
Fresh leaves		$34.20^{a} \pm 3.21$	$-11.62^{a} \pm 1.97$	$16.87^{a} \pm 1.50$	-

$^{a, b, c}$ Different superscripts in the same column indicated that means were significantly different ($p<0.05$) by DMRT

วิจารณ์

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งใบมะกรูด เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งใบมะกรูดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากใบมะกรูดได้รับพลังงานความร้อนมากที่สุด ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและกระแสอากาศมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดี (สมชาติ, 2540) ทำให้อัตราการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์สูงตามด้วย ที่อุณหภูมิเดียวกันอัตราการอบแห้งของตัวกลางทั้งสามชนิดแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับใบมะกรูดในแต่ละตัวกลางมีปริมาณไม่ต่างกันมาก ซึ่งสมบัติทางกายภาพและความร้อนของก๊าซที่มีไม่ความแตกต่างกันมาก

การอบแห้งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวของอาหาร เนื่องจากในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อนนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา pheophytinization สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยทั่วไปการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากกว่า (นิธิยา, 2549) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล (enzymatic browning) เกิดจากส่วนประกอบหลายอย่างเช่น ออกซิเจน เอนไซม์ ทองแดง ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนในห้องอบแห้งจะช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ (Hawlader et al., 2006) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิสูง การใช้ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางในการอบแห้งใบมะกรูดจะมีความแตกต่างสีรวมน้อยกว่าการใช้อากาศ

สรุป

จากการศึกษาการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน อัตราการอบแห้งของตัวกลางทั้งสามชนิดในแต่ละอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย สมการของ Midilli-Kucuk สามารถทำนายค่าอัตราส่วนความชื้น และเวลาในการอบแห้งได้ดีที่สุด การใช้ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางในการอบแห้งจะช่วยรักษาสีของใบมะกรูดได้ดีกว่าการใช้อากาศ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนานนท์ 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและ อาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Perera, C. O. and M.S. Rahman. 1997. Heat pump dehumidifier drying of food. Trends in Food Science &Technology. 8: 75-79.

Hawlader, M.N.A., O.C. Perera and M. Tian. 2006. Drying of Guava and Papaya: Impact of Different Drying Methods. Drying Technology 24(1) : 77-87.