Agricultural Sci. J. 41 : 1 (Suppl.) : 548-551 (2010) ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 548-551 (2553)

# ผลของกรรมวิธีการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของใบมะกรูดอบแห้ง

# Effect of Drying Methods on Physicochemical Properties of Dried Kaffir Lime Leaves

**อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล[1,2] และ พิชญา บุญประสม พูลลาภ[1,3]**
Israpong Pongsirikul[1,2] and Pitchaya Boonprasom Poonlarp[1,3]

**Abstract**

The effects of different drying methods on drying rate, drying time, citronellal content, color, moisture content and water activity of dried kaffir lime Leaves were investigated. Experiments on drying of kaffir lime leaves using vacuum microwave, indirect solar and tray dryer were conducted. Average initial moisture content of kaffir lime leave was 177.13 %dry basis. The drying rate curve using 60 $^{o}$C air temperature using tray dryer exhibited only in the falling rate period. From the experimental results of moisture ratio, it was found that the moisture ratio exponentially decreased with increasing of drying time. Drying models of Lewis, Henderson and Pabis, and Page were used to predict drying kinetic of kaffir lime leaves. Root Means Squared Error (RMSE), Coefficient of determination ($R^2$) and reduced chi-square, ($\chi^2$) were used to verify the models. The Page model was found to be the best model for describing the characteristics of drying kaffir lime leaves at temperatures of 60 $^{o}$C. Color assessment, moisture content, water activity ($a_w$) and citronellal content were analyzed as the quality parameters. Subsequently, quality parameters from solar dryer, tray dryer, and microwave vacuum rotary drum dryer were compared. Dried product qualities of kaffir lime leaves using solar dryer with moisture content of less than 7% were comparable to those dried in tray dryer and microwave vacuum rotary drum dryer. Electrical energy used by 3 dryers for drying process of kaffir lime leaves were determined as well.

**Key word:** kaffir lime leaves, drying, physicochemical properties

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของกรรมวิธีการอบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำแห้ง ปริมาณ citronellal ค่าสี ความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตีของใบมะกรูดอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบ และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด โดยทำการอบแห้งใบมะกรูดที่มีความชื้นเริ่มต้น 177.13 % มาตรฐานแห้ง ควบคุมอุณหภูมิของห้องอบที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าในกระบวนการอบแห้งจะมีแต่ช่วงการอบแห้งลดลงเท่านั้น อัตราส่วนความชื้นลดลงแบบเอกซ์โปเนเชียลกับระยะเวลาในการอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองของ Lewis, Henderson and Pabis และ Page ในการทำนายโดยพิจารณาจากค่า Root Means Squared Error (RMSE), coefficient of determination ($R^2$) และ reduced chi-square ($\chi^2$) พบว่าแบบจำลองของ Page จะสามารถทำนายอัตราการลดความชื้นของใบมะกรูดได้ดีที่สุดสำหรับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°C จากผลการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสามชนิด พบว่าคุณภาพหลังการอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนไม่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบทั้ง 3 วิธี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 วิธีอีกด้วย

**คำสำคัญ** ใบมะกรูด, การอบแห้ง, คุณสมบัติทางกายภาพเคมี

---

[1] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว/ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[1] Postharvest Technology Research Institute/Postharvest Innovation Technology Center. Chiangmai University, Chiangmai 50200
[2] ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
[2] Department of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiangmai University, Chiangmai 50100
[3] ภาควิศวกรรมกระบวนการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
[3] Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiangmai University, Chiangmai 50100

## คำนำ

มะกรูด (*Citrus hystrix* DC.)เป็นสมุนไพรที่นำมาใช้ประโยชน์ทั้งผลและใบ ทั้งในรูปแบบสด อบแห้งหรือผ่านการแปรรูปโดยการกลั่นแยกเป็นน้ำมันหอมระเหย สำหรับใบมะกรูด ประเทศไทยได้มีการใช้ใบมะกรูดอบแห้งทั้งเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในประเทศหรือส่งออกใบมะกรูดแห้งไปยังต่างประเทศ การอบแห้งในวิธีการต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้คงคุณภาพด้านต่างๆ ของใบมะกรูด เช่น สี กลิ่นใบมะกรูด สารประกอบสำคัญได้แก่ สาร citronellal ซึ่งอยู่มากกว่าร้อยละ 70 ของน้ำมันหอมระเหยจากใบมะกรูด อย่างไรก็ตาม การอบแห้งใบมะกรูดในอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ซึ่งมีทั้งใช้พลังงานจากไฟฟ้า ก๊าซหุงต้ม หรือไอน้ำที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตา ถ่านหินหรือไม้ฟืน ดังนั้น การศึกษาถึงวิธีการอบที่สามารถลดต้นทุนและทำให้ใบมะกรูดอบแห้งยังมีคุณภาพในเกณฑ์ที่ดี ย่อมเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้ใช้ใบมะกรูดที่หาซื้อได้จากตลาดสดขายส่ง(ตลาดเมืองใหม่)ในจังหวัดเชียงใหม่ ทำการทดลองโดยใช้ใบมะกรูด 3 ชุด ใบมะกรูดในแต่ละชุด นำมาเด็ดให้เหลือเฉพาะใบ นำไปล้างน้ำสะอาด 2 รอบ ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ 30 นาที จากนั้นนำใบมะกรูดที่ได้แบ่งเป็น 3 ส่วน นำไปอบ 3 แบบ ได้แก่ 1)เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบโดยพัดลมไฟฟ้า (SD) มีอัตราเร็วลม 1 m/s 2) เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (TD) มีอัตราเร็วลม 1 m/s อุณหภูมิที่ใช้อบ 60°C และ 3) ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศแบบหมุน (VMD) จากบริษัทมาร์ชคูลจำกัด สภาวะในการอบโดยใช้แมกนีตรอนขนาด 800 วัตต์จำนวน 3 ชุด ความดันสุญญากาศ -600 mmHg อัตราเร็วในการหมุน 25 รอบต่อนาที ทำการอบใบมะกรูดภายใต้สภาวะข้างต้นจนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7.0 (น้ำหนักแห้ง) วิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (aw; Aqualab) ค่าสี L*, a*, b*, C*, Hue angle โดยเครื่อง Colorimeter (CR-400 Minalta, Japan) ส่วนปริมาณ citronellal โดยวิธี Headspace-Solid Phase Micro Extraction (SPME) ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC-2010 SHIMADZU, Japan) สภาวะในการวิเคราะห์ คือ SPME-fiber แบบ divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) คอลัมน์ DB-1 ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ 0.25 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร อุณหภูมิ inject port ที่ 230 °C ความดัน 117 kPa, Total flow 12.4 ml/min และใช้ Flame Ionization Detector โดยพักตัวอย่างไว้ 4 ชั่วโมง ก่อนทำการสุ่มตัวอย่างเป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิ 25°C วิธี Headspace-SPME ได้มีการใช้ในการศึกษาคุณภาพของผลลำไย (Lapsongpol et al., 2007) หรือสารประกอบที่เป็นพิษในเบียร์ (Pérez et al., 2008) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Randomized Complete Block โดยใช้ Statistix 8.2 ทำการวิเคราะห์สมการสำหรับอัตราการทำแห้งโดยใช้ Singma Plot 10.0 วิเคราะห์สมการถดถอยสำหรับกราฟมาตรฐานสาร citronellal โดย Minitab 15.0 และ คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คิดเป็นต่อน้ำหนักใบมะกรูดสด 1 กิโลกรัม

## ผล

ใบมะกรูดที่เตรียมได้มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 63.84 ± 2.08 (น้ำหนักเปียก) หรือร้อยละ 177.13 ± 15.86 (น้ำหนักแห้ง) ในการอบแห้งแบบ SD พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของการอบอยู่ที่ 56.8 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ 8 ชั่วโมง ขณะที่การอบแห้งแบบ TD จะใช้เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ส่วนการอบแห้งแบบ VMD จะใช้ระยะเวลาในการอบ 10.50 นาที ส่วนการทำกราฟมาตรฐานสาร ctironellal ใช้เมธานอลเป็นตัวทำละลาย ได้สมการความสัมพันธ์ (Table 1) โดย citronellal มี retention time เท่ากับ 11.988 นาที

**Table 1** Regression equation for prediction of citronellal content

| Equation | $R^2$ | P |
|---|---|---|
| Citronellal (mg) = $2.00414 \times 10^{-6}$ x Chromatogram Area | 0.9962 | < 0.0001 |

Model forced through origin

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของใบมะกรูดอบแห้ง (Table 2) พบว่า ค่า aw ค่าสี L* a* b* C* และ Hue angle ในแต่ละวิธีการอบ ให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \geq 0.05$) นอกจากนั้น ยังพบว่า มีปริมาณ citronellal ที่ได้จากการอบในแต่ละวิธี มีปริมาณใกล้เคียงกัน ($P \geq 0.05$) โดยมีปริมาณร้อยละ 1.81-2.14 (d.b.) หรือร้อยละ

0.69-0.83 (เฉลี่ยร้อยละ 0.74) ของน้ำหนักใบมะกรูดสด ส่วนปริมาณความชื้น พบว่า การอบแห้งโดยวิธี VMD ภายใต้สภาวะที่กำหนด ทำให้ใบมะกรูดอบแห้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.82 ซึ่งต่ำกว่าการอบแห้งแบบ SD และ HD ที่มีความชื้นร้อยละ 6.69 และ 6.64 ตามลำดับ ($P < 0.05$)

**Table 2** Physicochemical properties of dried kaffir lime leaves on different drying methods

| Observed Value | Drying method | | |
|---|---|---|---|
| | Solar | Tray | Vacuum Microwave |
| L* | 53.790a ± 1.115 | 53.527a ± 2.147 | 53.073a ± 0.918 |
| a* | -11.495a ± 0.338 | -10.998a ± 0.102 | -11.242a ± 0.502 |
| b* | 27.317a ± 0.633 | 27.783a ± 1.119 | 28.765a ± 0.513 |
| C* | 29.642a ± 0.472 | 29.882a ± 1.056 | 30.888a ± 0.461 |
| Hue angle | 112.84a ± 1.045 | 111.62a ± 0.728 | 111.35a ± 1.021 |
| Moisture content (% d.b.) | 6.69a ± 0.38 | 6.64a ± 0.80 | 5.82b ± 0.22 |
| aw | 0.424a ± 0.025 | 0.413a ± 0.044 | 0.424a ± 0.023 |
| Citronellal (% d.b.) | 1.81a ± 0.06 | 2.14a ± 0.52 | 1.81a ± 0.38 |

Mean within a row followed by the same lowercase letter are not significantly difference ($P \geq 0.05$)

ในการศึกษาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page, Henderson and Pabis และ Lewis (Table 3) พบว่าแบบจำลองของ Page สามารถทำนายอัตราการลดความชื้นได้ดีที่สุด โดยมีค่า $R^2$ สูงที่สุดที่ 0.9978 และมีค่า reduced chi-square และ RMSE ต่ำที่สุดที่ 0.000291 และ 0.0170 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง Henderson and Pabis สามารถทำนายอัตราการลดความชื้นได้เป็นลำดับรองลงมา และแบบจำลอง Lewis ทำนายอัตราการลดความชื้นได้ต่ำที่สุด ส่วนกราฟแสดงอัตราการลดความชื้นโดยแบบจำลองต่างๆ แสดงดัง Figure 1

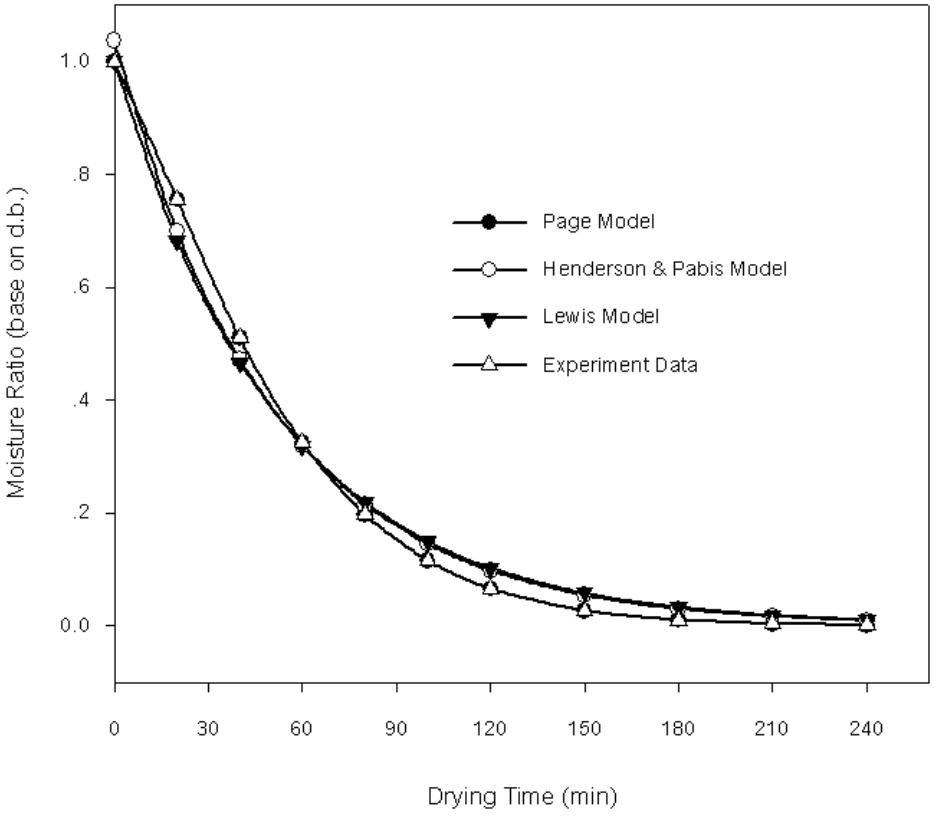


**Figure 1** Moisture ratio of different models and experimental data on kaffir lime leaves.

**Table 3** Values of the drying constants and coefficients of models determined through regression method

| Model name | Equation | RMSE | $R^2$ | reduced chi-square |
|---|---|---|---|---|
| Page | MR = exp(-0.0062 $t^{1.2719}$) | 0.0170 | 0.9978 | 0.000291 |
| Henderson and Pabis | MR =1.0373 exp(-0.0197 t ) | 0.0374 | 0.9892 | 0.001402 |
| Lewis | MR = exp(-0.0190 t ) | 0.0380 | 0.9877 | 0.001443 |

t = drying time, MR = Moisture ratio = [(moisture content at t min)/(initial moisture content)](dry basis)

จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 1.667 kwh/1 kg วัตถุดิบสด ส่วนเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดใช้พลังงานไฟฟ้า 4.167 kwh/1 kg วัตถุดิบสด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศใช้พลังงานไฟฟ้า 8.801 kwh/1 kg วัตถุดิบสด

## วิจารณ์

การอบทั้ง 3 วิธี (SD, TD, VMD) ในการอบแห้งใบมะกรูด ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางด้านค่าสี L* a* b* C* Hue angle ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใบมะกรูดมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างต่ำ อีกทั้งใบมีลักษณะที่คงตัวไม่แตกหรือบอบช้ำโดยง่ายไม่ว่าจะผ่านการอบแห้งโดยวิธีช้า (SD และ TD) หรือเร็ว (VMD) ก็ตาม ส่วนปริมาณ citronellal พบว่า มีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 0.74 ของน้ำหนักใบมะกรูดสด ซึ่งน้อยกว่าที่จักรพันธ์ และคณะ (2008) ได้ศึกษาไว้โดยการกลั่นด้วยน้ำที่ร้อยละ 0.87 การที่ปริมาณ citronellal ลดลงนี้ อาจเกิดจากการสูญเสียเนื่องจากการระเหยด้วยความร้อนระหว่างการอบและการเตรียมตัวอย่าง สำหรับการทำนายอัตราการลดความชื้นนั้น แบบจำลองของ Page จะอธิบายได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Phupaichitkun et al. (2008) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งในลำไยทั้งเปลือก ด้านต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ พบว่าเครื่องอบแห้งแบบ SD จะใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ TD ประมาณ 2.5 เท่า แต่ใช้ระยะเวลาอบนานกว่า 2 เท่า และแบบ VMD จะใช้พลังงานมากที่สุด มากกว่าแบบ SD ถึง 5.3 เท่า แต่ใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 10.50 นาที

## สรุป

การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบ มีศักยภาพสำหรับการผลิตใบมะกรูดอบแห้งแบบต้นทุนต่ำโดยที่ยังใบมะกรูดแห้งมีคุณภาพเท่าเทียมกับวิธีการอบแห้งลมร้อนแบบถาดและไมโครเวฟสุญญากาศ

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และคณะอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

จักรพันธ์ จุลศรีไกวัล, สรินยา ขัดชุ่มแสง, เอื้อพร ไชยวรรณ และ สุวรรณา เวชอภิกุล. 2008. ผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพจากมะกรูดและส้มโอและการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้. Thai Pharmaceutical and Health Science Journal, 3(2): 203-213.

Lapsongpol, S., B. Mahayothee., S. Phupaichitkun., H. Leis., M. Haewsungcharoen., S. Janjai and J. Mueller. 2007. Effect of drying temperature on changes in volatile compounds of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit . Conference on International Agricultural Research for Development : Tropentag 2007. University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen, October 9-11, 2007.

Pérez, D.M., G. G. Alatorre., E. B. Álvarez., E. E. Silva. and J. F. J. Alvarado. 2008. Solid-phase microextraction of N-nitrosodimethylamine in beer. Food Chemistry 107: 1348–1352.

Phupaichitkun, S., B. Mahayothee, T. Waldenmaier and J. Müller 2008. Generalized single-layer model for drying kinetics of unpeeled-longan. Int J Agric & Biol Eng. 1(2): 64-71.