Agricultural Sci. J. 38 : 5 (Suppl.) : 305-308 (2007) ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 305-308 (2550)

การทำแห้งใบมะกรูดโดยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ

Kaffir lime leaves drying by tray dryer and heat pump dehumidified dryer

วิชญวดี ศรีนุเคราะห์[1] สิงหนาท พวงจันทน์แดง[1] และ บวรศักดิ์ ลีนานนท์[1]

Wichayawadee Srinukroh[1], Singhanat Phoungchandang[1] and Borwonsak Leenanon[1]

Abstract

Desorption isotherms of kaffir lime leaves (*Citrus hystrix* DC.) were determined at temperature of 20.0, 34.9 and 49.7 °C. The Modified Henderson, Modified Oswin, Modified Chung-Pfost and Modified Halsey models were used to fit the experimental desorption isotherms data. The Modified Halsey model was found to be the most suitable for describing the desorption isotherms of kaffir lime leaves both in the function of $X_e = f(RH,T)$ and $RH_e = f(X,T)$. Kaffir lime leaves were dried at temperature of 40, 50 and 60 °C in tray dryer and heat pump dehumidified dryer. The Newton, Henderson and Perry, Modified Page and Zero models were fitted for drying data. The Modified Page was found to be the most suitable for describing the drying curves of kaffir lime leaves in tray dryer and heat pump dehumidified dryer.

Keywords: desorption isotherms, drying model, heat pump dehumidified dryer

บทคัดย่อ

การศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบมะกรูดของใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 20.0 34.9 และ 49.7 องศาเซลเซียส เพื่อสร้างแบบจำลองของดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม โดยใช้แบบจำลอง Modified Henderson, Modified Oswin, Modified Chung-Pfost และ Modified Halsey พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey สามารถอธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบมะกรูดได้ดีที่สุดทั้งในรูปฟังก์ชั่น $X_e = f(RH,T)$ และ $RH_e = f(X,T)$ ส่วนการทำแห้งใบมะกรูดโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลอง Newton Henderson and Perry Modified Page และ Zero พบว่า แบบจำลอง Modified Page สามารถทำนายการทำแห้งของใบมะกรูดได้ดีที่สุดทั้งเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ

คำสำคัญ: ดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม แบบจำลองการทำแห้ง เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ

คำนำ

ใบมะกรูด (*Citrus hystrix* DC.) จัดเป็นพืชสมุนไพรสามารถนำมาใช้ในการประกอบอาหารไทยหลายชนิด ใบมีต่อมน้ำมันและกลิ่นหอม ในประเทศไทยมีการส่งออกสมุนไพรมากมายหลายชนิด โดยน้ำมันหอมระเหยที่พบในใบและผลมะกรูดสามารถมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อรา ทำให้มีการนำน้ำมันหอมระเหย ไปใช้เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผมเพื่อขจัดรังแคที่เกิดจากเชื้อรา โดยน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากใบและผิวของผลมะกรูด มีฤทธิ์ยับยั้งต่อ จุลินทรีย์อื่นๆ แตกต่างกันไป (บัญญัติ, 2527) ในช่วงปี 2540-2544 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกและมูลค่าการส่งออกพืชสมุนไพรเพิ่มมากขึ้น ทั้งในรูปวัตถุดิบที่เป็นของแห้งและสารสกัด แต่เนื่องจากการทำแห้งในประเทศไทย มักไม่มีมาตรฐานและไม่ค่อยมีการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยในการแปรรูป เนื่องจากนิยมใช้วิธีการตากแดด (Janjai and Tung, 2005) อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนหรือผลิตภัณฑ์ไม่แห้ง เนื่องจากอัตราการทำแห้งช้าลงในช่วงฤดูฝน และอาจเกิดสารพิษจากเชื้อราได้ ส่งผลให้การส่งออกไปต่างประเทศอาจมีการไม่ยอมรับและประกอบกับประเทศคู่แข่งทางการส่งออกของสมุนไพรมีสูง เพราะถ้าหากไม่มีมาตรฐานการแปรรูปที่ดี อาจทำให้การส่งออกสมุนไพรจากประเทศไทยประสบปัญหา ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการทำแห้งใบมะกรูด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้ง โดยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

[1] Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

อุปกรณ์และวิธีการ

ใบมะกรูดที่เก็บเกี่ยวจากแหล่งเดียวกันในจังหวัดขอนแก่น ล้างทำความสะอาดจากนั้นสะเด็ดน้ำแล้วนำไปศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม โดยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (TD) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่มีค่าต่างกัน 7 จุด ที่อุณหภูมิ 20.0 34.9 และ 49.7 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Novasina แล้วนำข้อมูลดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Nonlinear regression โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 11.5 จากนั้นศึกษาการทำแห้งโดยทำแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ (HPD) ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ปรับความเร็วลมที่ 0.5 m/s (Sun and Woods, 1994) ทำการบันทึกน้ำหนักใบมะกรูดทุก 5 นาที นำข้อมูลการทำแห้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Nonlinear regression แล้วทำการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีที่ได้จากการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ ต่อไป

ผล

ใบมะกรูดที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและวัดค่า วอเตอร์แอกติวิตี้ ที่อุณหภูมิ 20.0 34.9 และ 49.7 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Nonlinear regression โดยใช้แบบจำลอง Modified Henderson, Modified Oswin, Modified Chung-Pfost และ Modified Halsey เพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้น ที่ได้จากการทดลองและการทำนาย พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey สามารถทำนายได้ดีที่สุดดังแสดงใน Figure 1 ทั้งในรูปฟังก์ชั่น $X_e = f(RH,T)$ และ $RH_e = f(X,T)$ โดยแบบจำลอง Modified Halsey ให้ค่า SEE ต่ำที่สุด และให้ค่า R^2 สูงที่สุด ค่าคงที่ในสมการคือ

$X_e = f(RH,T)$; $C_1 = 4.73610$; $C_2 = -0.00750$; $C_3 = 1.66407$; SEE = 1.46 %d.b.; $R^2 = 0.97755$ (1)

$RH_e = f(X,T)$; $C_1 = 4.99523$; $C_2 = -0.00765$; $C_3 = 1.74474$; SEE = 0.018 %d.b.; $R^2 = 0.98947$ (2)

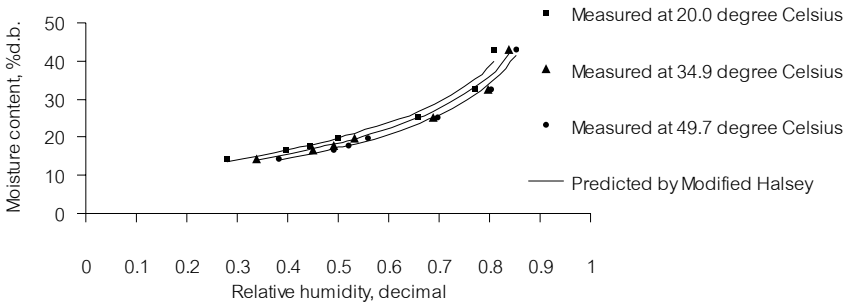

Figure 1 Comparison of the desorption isotherms of kaffir lime leaves at 20.0 34.9 and 49.7 °C predicted using the Modified Halsey model.

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในอาหารกับเวลาการทำแห้ง ด้วย Nonlinear regression โดยใช้แบบจำลอง Newton Henderson and Perry Modified Page และ Zero พบว่าแบบจำลอง Modified Page มีความเหมาะสมกับข้อมูลการทำแห้งมากที่สุด โดยค่าคงที่การทำแห้ง (K) ที่ได้จากแบบจำลอง Modified Page ได้ผลดัง Table 1 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในอาหารกับเวลาการทำแห้งดัง Figure 2

Table 1 Drying constant (K) of Kaffir lime leaves from tray drier and heat pump dehumidified drier.

Tempurature (°C)	Drier	
	TD	HPD
40	0.00660	0.00826
50	0.02253	0.02655
60	0.03236	0.06642

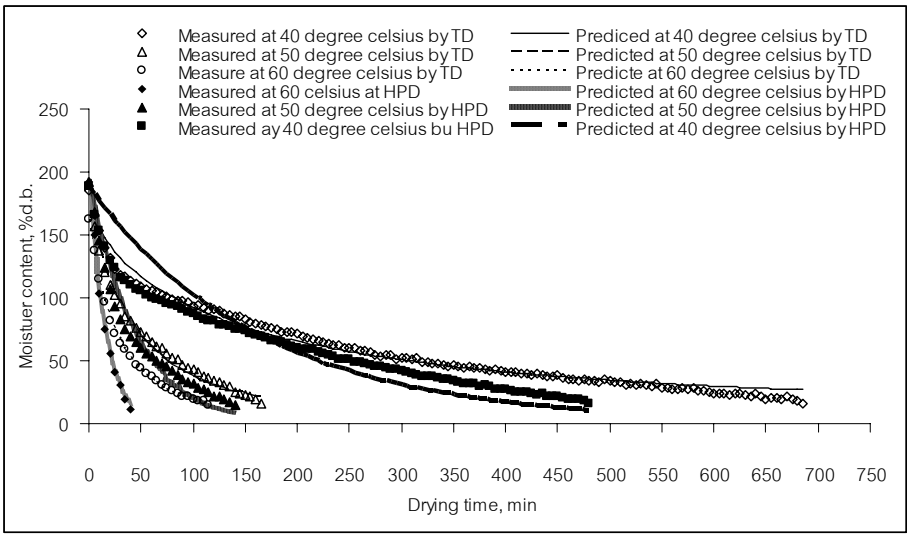

Figure 2 Moisture content of Kaffir lime leaves from tray drier and heat pump dehumidified drier as predicted using the Modified Page model.

การศึกษาค่าสีของใบมะกรูดจากการทำแห้ง โดยวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*) พบว่า ใบมะกรูดที่ทำแห้งจากเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างของสีรวมต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Color value of kaffir lime leaves drying.

Drier	Temp. (°C)	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
TD	40	45.22^{a}	-11.64^{ab}	25.50^{a}	0.22^{b}	-1.82^{bc}	5.93^{c}	7.11^{ab}
	50	45.27^{a}	-8.89^{b}	26.57^{a}	0.17^{b}	-4.57^{b}	4.87^{c}	7.97^{b}
	60	44.84^{a}	-2.42^{c}	26.13^{a}	0.60^{b}	-11.04^{a}	5.30^{c}	13.28^{c}
HPD	40	46.06^{ab}	-11.38^{ab}	27.53^{ab}	-0.62^{ab}	-2.08^{bc}	3.91^{bc}	6.00^{ab}
	50	48.06^{b}	-12.82^{a}	29.79^{c}	-2.62^{a}	-0.64^{c}	1.64^{a}	4.52^{a}
	60	44.19^{a}	-2.89^{c}	29.06^{bc}	1.24^{b}	-10.57^{a}	2.37^{ab}	12.48^{c}
Fresh leaves		45.43	13.46	31.43				

การศึกษาหาปริมาณสารซิโทรเนลลาลซึ่งเป็นสารสำคัญที่พบมากที่สุดในใบมะกรูด ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ใบมะกรูดที่ทำแห้งจากเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณสารสำคัญที่มากที่สุดและใกล้เคียงกับใบมะกรูดสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Table 3 Citronellal retention in dried kaffir lime leaves (g/100g Sample)

Drier	Temp. (°C)	Citronellal (g/100g Sample)
TD	40	99.67^{c}
	50	91.26^{bc}
	60	62.70^{a}
HPD	40	120.47^{d}
	50	120.66^{d}
	60	84.89^{b}
Fresh leaves		119.82^{d}

วิจารณ์ผล

จากดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบมะกรูด พบว่า ค่าปริมาณความชื้นสมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ณ จุด Water activity เดียวกัน หรือค่า Water activity จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ณ จุดที่มีค่าปริมาณความชื้นสมดุลเดียวกัน เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำอยู่ในสภาวะได้รับการกระตุ้นมากขึ้น แรงดึงดูดของน้ำจึงลดลง ทำให้ระดับการดูดซับของน้ำในอาหารลดลง และจำนวน Active site ของการเกาะเกี่ยวของน้ำ (Water binding) ลดลง เป็นผลให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและหรือทางเคมีได้ โดยความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยอาจจะต้องทำให้สูงพอ เพื่อให้น้ำอิสระระเหยออกไปได้ ทำให้อาหารมีปริมาณความชื้นต่ำลง (Samapundo *et al*., 2006)

ค่าคงที่การทำแห้งที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ มีค่าคงที่มากกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาด เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบมีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องทำแห้งแบบถาด ทำให้การทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบใช้เวลาสั้นกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาด โดยค่าคงที่การทำแห้งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามสมการ Arrhenius ทำให้ที่อุณหภูมิสูง จะให้ค่าคงที่การทำแห้งสูง (Chen and Johnson, 1969)

การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้คุณภาพใบมะกรูดมีค่า ΔE^* สูง เนื่องจากใบมะกรูดเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* มากขึ้น ซึ่งการทำแห้งมีผลทำให้สีของสารคลอโรฟิลล์และสารแคโรทีนอยด์มีการเปลี่ยนแปลงจากความร้อนและการเกิดออกซิเดชันเกิดการสลายตัว ในระหว่างการทำแห้ง เนื่องจากคลอโรฟิลล์จะมีอัตราที่ค่อนข้างคงตัวเมื่อการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (นิธิยา, 2544)

การทำแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ทำให้ปริมาณสารซิโทรเนลลาลมีปริมาณหลงเหลือน้อยกว่าการทำแห้งใบมะกรูดจากเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบที่ให้กลิ่นรสเนื่องจากระบบโครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย (Crapiste, 2000)

สรุป

แบบจำลอง Modified Halsey อธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบมะกรูดได้ดีที่สุด ทั้งที่อยู่ในรูปฟังก์ชั่น X_e = f(RH,T) และ RH_e = f(X,T) การทำแห้งจากเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ใบมะกรูดมีค่าคุณภาพที่ใกล้เคียงกับใบสดมากที่สุดเนื่องจากใบมะกรูดที่ได้จากการทำแห้งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมน้อยที่สุด และมีปริมาณสารซิโทรเนลลาลมากที่สุด

คำขอบคุณ

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว: หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่นและศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์. กรุงเทพฯ. น. 1022.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2527. เครื่องเทศที่ใช้เป็นสมุนไพร เล่ม 2. โรงพิมพ์อมรการพิมพ์. กรุงเทพฯ. น. 51-57.

Chen CS and Johnson WH. 1969. Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials (I. Theoretical considerations of drying phenomena). **Transcation of ASAE**. 12(1): 109-113 p.

Crapiste GH. 2000. Simulation of drying rates and quality changes during the dehydration of foodstuffs. In: Lozano JE, Anon C, Parada-Arias E and Barbosa-Canovas GV, editors. 2000. **Trends in food engineering**. Technomic Publishing. Pennsylvania. 135-148 p.

Junjai S and Tung P. 2005. Performance of solar dryer using hot air from roof-integrated solar collectors for drying herbs and spices. Renewable energy.30(14): 2085-2095 p.

Samapundo S, Devlieghere F, Meulenare BD, Atukwase A, Lamboni Y and Debevere JM. 2006. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. Journal of Food engineering. 79: 168-175 p.

Sun DW and Woods JL. 1994. Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers. **Transcation of the ASAE**. 37(6): 1919-1926 p.