

ความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล

Equilibrium Moisture Content and Thermodynamic Properties of Phlai (*Zingiber cassumunar Roxb.*)

เทวารัตน์ ทิพย์วิมล¹ และ สมยศ เชิญอักษร²

Tawarat Tipyavimol¹ and Somyot Chirnaksorn²

Abstract

The objective of this research was to study the equilibrium moisture content and thermodynamic properties of Phlai (*Zingiber cassumunar Roxb.*). The equilibrium moisture content was obtained by static method at 35, 40 and 50 °C over a range of relative humidity from 0.06 to 0.85. The experimental data was also used to determine the thermodynamic properties of Phlai in terms of latent heat of vaporization and net integral enthalpy. For equilibrium moisture content, it was found that the value was increased with increasing in relative humidity at constant temperature. The modified GAB model was found to be the most suitable for prediction of the equilibrium moisture content. The latent heat of vaporization decreased with the increase in moisture content and approached the latent heat of pure water. The net integral enthalpy of moisture sorption decreased with the increase in moisture content.

Keywords: Phlai, equilibrium moisture content, latent heat of vaporization, enthalpy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาค่าความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล ความชื้นสมดุลของไพลหาค่าโดยวิธีสถิตที่อุณหภูมิ 35 40 และ 50 °C ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 0.06 ถึง 0.85 จากผลการทดลองที่ได้นำไปหาค่าคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และค่าเอนทาลปี รวมสุทธิ ซึ่งผลจากการลองพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันค่าความชื้นสมดุลของไพลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น และแบบจำลอง modified GAB ให้ค่าในการทำนายผลการทดลองความชื้นสมดุลได้ดีที่สุด เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอพบว่าค่าดังกล่าวลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำอิสระ สำหรับค่าเอนทาลปีรวมสุทธิพบว่าแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความชื้นของไพลเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ไพล ความชื้นสมดุล ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เอนทาลปี

บทนำ

ไพล (*Zingiber cassumunar Roxb.*) เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งซึ่งเป็นไม้ล้มลุกอยู่ในวงศ์เดียวกับขิง (วันดี, 2537) เนื้อในหัวเหง้าไพลจะมีสีเหลือง มีกลิ่นเฉพาะตัว มีสรรพคุณเป็นยาบรรเทาอาการปวด มีฤทธิ์แก้บิด ขับลม แก้อาการหอบหืด แก้ปวดเมื่อยโดยสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการอักเสบ ลดการบวมคือ (E)-1-(3,4-dimethoxyphenyl) butadiene หรือเรียกว่าสาร D (สุนทร, 2536) เนื่องจากในปัจจุบันไพลเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีการวิจัยสรรพคุณทางยา และการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญสำหรับไพลคือ การอบแห้งและการเก็บรักษา ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้มีความจำเป็นต้องทราบถึงความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสมดุลของไพลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทำการอบแห้งหรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยที่การหาค่าความชื้นสมดุลของวัสดุสามารถหาได้หลายวิธี แต่การหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีสถิต เป็นที่นิยมมากกว่าวิธีอื่นทั้งนี้เนื่องจากให้ค่า sorption isotherms ที่สมบูรณ์ (Aviara et al., 2004) สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการทำการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นสมดุลของไพล แล้วทำการหาสมการความชื้นสมดุลที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และทำการหาค่าคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ข้อมูลจากค่าไอโซเทอมความชื้นที่ได้

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต. สุรนารี อ. เมือง จ.นครราชสีมา 30000

¹ School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

² ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

² Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author. Tel: 044-224583; Fax: 044-224610; E-mail: tawarat@sut.ac.th

อุปกรณ์และวิธีการ

โพล โพลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นโพลสดจากเกษตรกรในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม นำโพลสดมาล้างทำความสะอาด และหาค่าความชื้นเริ่มต้นโดยการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

การหาความชื้นสัมพัทธ์ นำโพลสดมาหั่นเป็นชิ้นบางๆ ขนาด กว้าง×ยาว×หนา คือ 5 × 5 × 2 mm³ แล้วนำไปวางบนตะแกรงภายในขวดแก้วปิดสนิทซึ่งบรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว 6 ชนิด ซึ่งจะหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงใน Table 1 นำขวดแก้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 35 40 และ 50 °C ตามลำดับ และระหว่างการทดลองนำตัวอย่างชิ้นโพลออกมาชั่งทุกๆ 48 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักของชิ้นโพลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงนำชิ้นโพลไปหาค่าความชื้นด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

Table 1. Selected salt solutions and their corresponding air relative humidity (Vulllioud *et al.*, 2004; Lasani *et al.* 2004)

Temperature (°C)	Relative humidity (decimal)					
	KOH	MgCl ₂	K ₂ CO ₃	Mg(NO ₃) ₂	NaCl	KCl
30	0.0738	0.3238	0.4317	0.558	0.7540	0.8362
35	0.0682	0.3199	0.4274	0.5240	0.7495	0.8297
40	0.0626	0.3159	0.4230	0.4900	0.7450	0.8232
50	0.0572	0.3054	0.4091	0.4300	0.7490	0.8120

Table 2. Equilibrium moisture content models (Aviara *et al.*, 2004)

Name of model	EMC models*
Modified Henderson	$Me = [(-\ln(1-rh)/(A(T+B)))]^{1/C}$
Modified Chung-Pfost	$Me = (-1/C) \ln[-(T+B) \ln(rh)/A]$
Modified Halsey	$Me = [-\ln(rh)/\exp(A+BT)]^{-1/C}$
Modified Oswin	$Me = (A+BT)[rh/(1-rh)]^{1/C}$
Modified GAB	$Me = AB(C/T)(rh) / [(1-B(rh))(1-B(rh) + ((C/T)B(rh)))]$

* Me = equilibrium moisture content (%db); rh = equilibrium relative humidity (decimal); T = temperature (°K); A, B and C = constants specific to individual equations.

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สมการความชื้นสัมพัทธ์

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาหาค่าพารามิเตอร์ของสมการที่แสดงใน Table 2 โดยใช้ nonlinear regression ของโปรแกรม SPSS 11.5 for Window โดยการเลือกให้รูปแบบสมการใดนั้นจะประเมินโดยดูจากค่า R² และค่า standard error of estimate (SEE) (Menkov, 2000 ; Lahsasni *et al.*, 2004; Kaleemullah and Kailappan, 2004) ซึ่งหาได้จาก

$$SEE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (M_{e(exp)} - M_{e(pre)})^2 / df} \quad (1)$$

เมื่อ $M_{e(exp)}$ คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลอง; $M_{e(pre)}$ คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากแบบจำลอง;
N คือจำนวนข้อมูล และ df คือ degree of freedom of regression model

2. ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของความชื้นในโพลหาค่าได้โดยใช้การประยุกต์สมการ Clapeyron (Bala, 1997) คือ

$$\ln(Pv) = \frac{L'}{h_{fg}} \ln(Ps) + C \quad (2)$$

เมื่อ P_v คือ ความดันไอน้ำในวัสดุ (mmbar); P_s คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว (mmbar); L' คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำในวัสดุ (kJ/kg) และ h_{fg} คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำอิสระ (kJ/kg)

3. Net integral enthalpy

สำหรับค่า net integral enthalpy หรือ isosteric heat of sorption นั้น สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ (Lahsasni et al., 2004)

$$Q_{st} = -R(d \ln(rh) / d(1/T)) \tag{3}$$

เมื่อ Q_{st} คือ net integral enthalpy (J/mol) ซึ่งหาได้จากค่า slope จากการพล็อตค่าระหว่าง $\ln(rh)$ กับ $(1/T)$; R คือค่าคงที่สากลของแก๊ส (J/mol °K)

ผลการทดลอง

ความชื้นสมดุล

ผลการทดลองหาความชื้นสมดุลของไหลที่อุณหภูมิ 35, 40 และ 50 °C พบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นลักษณะ sigmoid shape ดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งจะเห็นว่าความชื้นสมดุลของไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นสัมพัทธ์

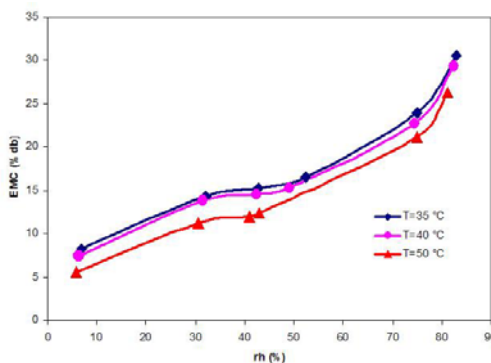


Figure 1. Relation of equilibrium moisture content of Phlai and relative humidity

เมื่อทำการวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสมกับค่าความชื้นสมดุลของไหล พบว่าแบบจำลอง modified Halsey และ modified GAB ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมากที่สุดเนื่องจากมีค่า R^2 และ SEE ต่ำกว่าอีก 3 แบบจำลอง แต่เนื่องจากแบบจำลอง modified Halsey มีรูปแบบสมการเป็นฟังก์ชัน exponential ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์อย่างมากในที่นี้แบบจำลอง modified GAB จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายค่าความชื้นสมดุลของไหลมากที่สุด ดังแสดงใน Table 2

Table 2. Estimated parameters and comparison criteria for EMC models

Parameter		Estimated value				
		Modified Henderson	Modified Chung-Pfost	Modified Halsey	Modified Oswin	Modified GAB
35 °C	A	-0.00046074	520.012	-223877.593	4.9997	-10.2615928
	B	-345.495487	-226.998	726.54	0.0399	-49.74557728
	C	2.073744966	0.1244	2.1875	3.001	313.0783108
	SEE	1.871	1.544	0.771	1.125	0.879
	R^2	0.9467	0.9602	0.9903	0.9802	0.9876
40 °C	A	-0.000081131	1359.870207	612917.8464	5.002087631	-9.935485204
	B	-338.8844583	-91.84832132	-1957.248405	0.03713975	-40.71681023
	C	2.034484323	0.12677402	2.126078708	2.933650605	319.2679779
	SEE	1.778	1.517	0.907	1.123	0.959
	R^2	0.9494	0.9598	0.9859	0.9793	0.9845
50 °C	A	-0.000080027	790.8690247	185606.6612	4.998871734	-8.370723409
	B	-394.109991	-162.1161028	-574.3528836	0.029220769	-30.42534599
	C	1.769074878	0.128709567	1.870256327	2.575543926	332.0481373
	SEE	1.374	1.354	0.678	0.808	0.615
	R^2	0.9691	0.9671	0.9918	0.9889	0.9934

ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(P_v)$ และ $\ln(P_s)$ ที่ความชื้นต่างๆ ของไพลมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งค่า slope ที่ได้จากเส้นตรงนี้เป็นค่าอัตราส่วนของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของความชื้นในไพลต่อค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำอิสระ ซึ่งเมื่อนำค่าอัตราส่วนนี้มาพล็อตหาความสัมพันธ์กับค่าความชื้นของไพลพบว่าเมื่อความชื้นไพลสูงขึ้นค่าอัตราส่วนนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 นั่นคือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของความชื้นไพลมีค่าเข้าใกล้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำอิสระเมื่อไพลมีความชื้นสูงขึ้นดังแสดงใน Figure 2

Net integral enthalpy

สำหรับค่าเอนทาลปีรวมสุทธิของไพลพบว่ามีค่าลดลงเมื่อความชื้นของไพลเพิ่มมากขึ้น (Figure 3) นั่นแสดงว่าพลังงานที่ใช้ในการคายความชื้นของไพลที่ความชื้นสูงๆ มีค่าน้อยกว่าการคายความชื้นเมื่อไพลมีความชื้นต่ำๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่ความชื้นต่ำมีค่าพลังงานของการจับกันของโมเลกุลของน้ำกับตัวเนื้อไพลมีค่าสูงจึงเป็นสาเหตุให้ในการลดความชื้นวัสดุในช่วงที่มีความชื้นต่ำจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าในช่วงที่วัสดุมีความชื้นสูง

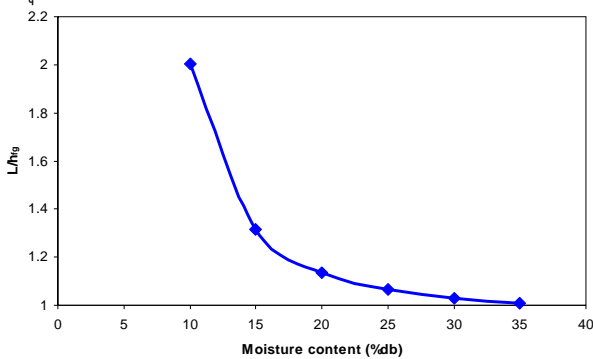


Figure 2 Effect of moisture content on L/h_g for Phlai

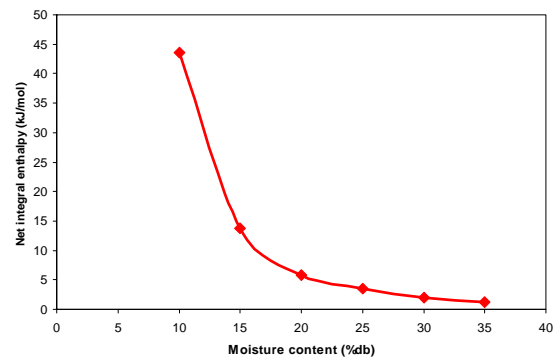


Figure 3 Net integral enthalpy of Phlai

สรุป

ค่าความชื้นสมดุลของไพลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกัน และแบบจำลอง modified GAB ให้ค่าในการทำนายผลการทดลองความชื้นสมดุลได้ดีที่สุด เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอพบว่าค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอมีค่าลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำอิสระ สำหรับค่าเอนทาลปีรวมสุทธิพบว่าแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความชื้นของไพลเพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- วันดี กฤษณพันธ์. 2537. สมุนไพรนาฏ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 257 น.
- สุนทรี่ สิงห์บุตร. 2536. สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด. โอ.เอส.พรีนติ้งเฮ้าส์. กรุงเทพมหานคร. 260 น.
- Aviara, N.A., O.O. Ajabola and S.A. Oni. 2004. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Biosystems Engineering* 87(2): 179-190.
- Bala, B.K. 1997. *Drying and Storage of Cereal Grains*. Science Publishers, Inc., New Hampshire. 302p.
- Kaleemullah, S. and R. Kailappan. 2004. Moisture sorption isotherms of red chillies. *Biosystems Engineering* 88(1): 95-104.
- Lahsasni, S., M. Kouhila and M. Mahrouz. 2004. Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Energy Conversion & Management* 45: 249-261.
- Menkov, N. D. 2000. Moisture sorption isotherms of vetch seeds at four temperatures. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76: 373-380.
- Vulliod, M., C.A. Marquez and A. De Michelis. 2004. Desorption isotherms for sweet and sour cherry. *Journal of Food Engineering* 63: 15-19.