ซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้นของชาสมุนไพรปัญจขันธ์ (*Gynostermmapentaphyllum* (Thunb.) Makino)

Moisture sorption isotherm of Panjakan (*Gynostermmapentaphyllum* (Thunb.) Makino) herbal tea

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น[1*]

Sudathip Inchuen[1*]

บทคัดย่อ: ปัญจขันธ์ (*Gynostemmapentaphyllum* (Thunb.) Makino) เป็นพืชสมุนไพรของจีน โดยมีชื่อจีนว่า "เจียวกู่หลาน" และมีชื่อญี่ปุ่นว่า "อมาชาซูรู" มีการนำสมุนไพรชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ทั้งในรูปของยาและเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอย่างกว้างขวางรวมทั้งชาชงสมุนไพรด้วยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองซอร์พชันของความชื้นที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นและค่า a_w ระหว่างชาปัญจขันธ์กับอากาศโดยรอบในระหว่างการเก็บชาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (~30 ºC) และที่ค่า a_w ระหว่าง 0.113-0.976 นำข้อมูลของความชื้นและ a_w ที่วัดได้มาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 10 แบบจำลอง ได้แก่แบบจำลองของ Oswin, Caurie, Lewicki-2, Smith, BET, Haslay, Henderson, GAB, Lewicki-3 และ Peleg ประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอย ตรวจสอบหาแบบจำลองที่มีความเหมาะสม (goodness of fit) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การประเมิน (coefficient of determination, R^2) ค่า Reduced chi-square (χ^2) และ Root mean square error (RMSE)โดยทำการศึกษาชาในส่วนที่เป็นก้านและใบของปัญจขันธ์แยกกัน จากผลการศึกษาพบว่าซอร์พชันของความชื้นของชาปัญจขันธ์ทั้งในส่วนที่เป็นก้านและใบมีลักษณะเป็นรูปตัวเจ (J shaped isotherm) และแบบจำลองของ GAB เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุดที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชาปัญจขันธ์ในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนค่า X_m (Monolayer moisture content) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับของความชื้นต่ำสุดที่เหมาะสมจะเก็บชาปัญจขันธ์ไว้อย่างปลอดภัย จากหาค่าดังกล่าวโดยใช้แบบจำลองของ GAB พบว่าค่า X_m สำหรับชาปัญจขันธ์ทั้งในส่วนที่เป็นก้านและใบคือ 0.041 g water/g dry matter

คำสำคัญ: ปัญจขันธ์ ซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้น

ABSTRACT: Panjakan (*Gynostemmapentaphyllum* (Thunb.) Makino) is a Chinese medical herb which is called "Jiaogulan" in Chinese and "Amachazura" in Japanese. It has been traditionally used as a drug and functional products that including herbal tea. The aim of this research was to find the best moisture sorption model which could define well, the exchange of moisture between the tea and the surrounding air during storage at room temperature (≈30 ºC) and water activity in the range of 0.113-0.976. The sorption data were fitted to ten sorption models namely, Oswin, Caurie, Lewicki-2, Smith, BET, Haslay, Henderson, GAB, Lewicki-3 and Peleg modelsand a non-linear regression analysis method was used to evaluate the constants of the sorption equations. The fit was evaluated using the coefficient of determination (R^2), the reduced chi-square (χ^2) and the root mean square error (RMSE). Panjakan stems and leaves were examined separately in this research. The results showed that the isotherms of the tea for both stems and leaves exhibited J shaped isotherm. The GAB model was found to be the best suitable for fitting the sorption data. The monolayer moisture content (X_m), taken as the safe minimum moisture level in the Panjakan tea for both stems and leaves, was determined using the GAB equation and was found to be 0.041gram water per gram dry matter.
Keywords: Panjakan, moisture sorption isotherm

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Khamriang Sub-District, Kantarawichai District, MahaSarakham 44150, Thailand

* Corresponding author: sudathip4@hotmail.com

บทนำ

ปัญจขันธ์ (*Gynostemmapentaphyllum* (Thunb.) Makino) เป็นพืชสมุนไพรชนิดเถา พบได้ในจีน ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีชื่อจีนว่า เจียวกู่หลาน เซียนเฉ่า (สมุนไพรอมตะ) มีชื่อญี่ปุ่นว่า อมาชาซูรู (ชาหวานจากเถา) และมีชื่อภาษาอังกฤษว่า miracle grass (หญ้ามหัศจรรย์) southern ginseng (โสมภาคใต้), 5-leaf ginseng (โสมห้าใบ) เป็นต้น (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2548)

ปัญจขันธ์ มีสารสำคัญชื่อ gypenosides เป็นสารประเภทไตรเทอร์ปีนซาโปนิน (triterpenesaponins) ซึ่งgypenosides ที่พบในปัญจขันธ์มีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับ ginsenosides ที่พบในโสม (*Panax ginseng*) ดังนั้น สารซาโปนินที่พบในปัญจขันธ์จึงมีฤทธิ์คล้ายโสมที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่น่าสนใจหลายอย่าง ซึ่งมีประโยชน์ทั้งในการป้องกันและรักษาโรคต่างๆ ตามรายงานการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของปัญจขันธ์หลายเรื่องทั้งในสัตว์ทดลองและในหลอดทดลองของสถาบันวิจัยสมุนไพร (2548) พบว่าสารสกัดของปัญจขันธ์มี ฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งบางชนิด รักษาแผลในกระเพาะอาหาร ลดระดับไขมันในเลือด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจากผลการศึกษาความเป็นพิษของปัญจขันธ์พบว่าสารสกัดด้วยน้ำของปัญจขันธ์และการรับประทานสารสกัดในรูปแคบซูลมีความปลอดภัย นอกจากปัญจขันธ์จะมีคุณสมบัติเทียบเท่าโสมและมีความปลอดภัยสูงสามารถรับประทานได้ในปริมาณที่มากกว่าโสมแล้วปัญจขันธ์ยังมีราคาถูกและปลูกง่ายกว่าโสม จึงทำให้มีการนำสมุนไพรชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ทั้งในรูปของยาและเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอย่างกว้างขวางรูปแบบของผลิตภัณฑ์ปัญจขันธ์ที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ได้แก่ ชาชงสมุนไพร (herbal tea) ไวน์ (wine) แคปซูล ยาลูกกลอนชา (tea-pills) ยาเม็ด (tablet) ยาน้ำสำหรับรับประทาน (oral liquid) ตำหรับยาผสมกีปิโนไซน์ (gypenoside/herb combination) ส่วนในประเทศไทยมีการปลูกพืชชนิดนี้ในพื้นที่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีการผลิตผลิตภัณฑ์จากปัญจขันธ์ออกจำหน่ายในรูปแบบชาชงสมุนไพร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เจียวกู้หลานแห้ง (มผช.545/2547) ชาเจียวกู้หลานหรือชาปัญจขันธ์ควรมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 7% แต่ปริมาณความชื้นของชาปัญจขันธ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา

โดยทั่วไปแล้วกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลของอาหารและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือ a_w (water activity) ของอาหารนั้น เรียกว่า ซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้น (moisture sorption isotherm) เป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นอย่างมากต่อกระบวนการแปรรูป ใช้ในการกำหนดค่าความชื้นและ a_w ที่เหมาะสมในการแปรรูปและการเก็บรักษาคุณภาพของอาหาร การเสื่อมเสียการบรรจุอาหาร และวิธีการเก็บอาหาร อาหารแต่ละชนิดจะมีซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้นเป็นคุณลักษณะเฉพาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพของอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบต่างๆในอาหาร และสมบัติของน้ำในอาหารนั้นๆจากการค้นคว้ายังไม่พบข้อมูลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้นของชาปัญจขันธ์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต การประเมินการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเสื่อมเสียคุณภาพ รวมทั้งการกำหนดสมบัติของวัสดุบรรจุ และการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จากปัญจขันธ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลของอาหารและค่า a_w ของปัญจขันธ์แสดงออกมาในรูปกราฟซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้น และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปัญจขันธ์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีความปลอดภัย รวมทั้งยังช่วยผลักดันให้สมุนไพรและผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น

วิธีการศึกษา

วัตถุดิบ: ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างสมุนไพรปัญจขันธ์จากบริษัทภูเขียงทาเฮิร์บแลนด์ จำกัด (179หมู่ 3ถ.ชัยภูมิ-นครสวรรค์ ต.โคกสะอาด อ.หนองบัวระเหว จ.ชัยภูมิ)

การหาซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้นของชาชงปัญจขันธ์

นำตัวอย่างชาชงสมุนไพรปัญจขันธ์ มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นเริ่มต้น (AOAC, 1990) แล้วนำตัวอย่างชาชงสมุนไพรปัญจขันธ์ที่เหลือมาชั่งน้ำหนักให้อยู่ในช่วง 1± 0.1000 g ใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่างบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยและตัวอย่าง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แล้วนำไปใส่ในโถบรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว ได้แก่ LiCl, $MgCl_2$, K_2CO_3, NaBr, NaCl, KCl และ K_2SO_4 ซึ่งสารละลายเกลืออิ่มตัวแต่ละชนิดจะควบคุมสภาวะในโถให้มีค่า a_w ที่อุณหภูมิ 30 ºC ดังนี้ 0.113, 0.324, 0.432, 0.560, 0.751, 0.836 และ 0.970 ตามลำดับ (Bell and Labuza, 2000) บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละโถทุกๆ 7 วัน จนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างคงที่ติดต่อกัน 2 ครั้ง แสดงว่าความชื้นของตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นทำการวิเคราะห์หรือคำนวณหาความชื้นสุดท้ายหรือความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, EMC) ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำข้อมูลความชื้นและ a_w ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงใน Table 1 และประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ (value of Coefficient) ของแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธี Least Squares Analysis

ตรวจสอบหาแบบจำลองที่มีความเหมาะสม (Goodness of fit) เพื่อใช้อธิบายข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสุดท้ายหรือความชื้นสมดุลของชาชงสมุนไพรปัญจขันธ์และค่า a_w ของข้อมูลที่ได้จากทดลอง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การประเมิน (Coefficient of determination, R^2) ค่า Reduced chi-square (χ^2) และ Root mean square error (RMSE) สามารถคำนวณได้จาก Eq.1 และ Eq.2 โดยแบบจำลองที่มีความเหมาะสมควรจะมีค่า R^2 สูงที่สุด และค่า ^{2} และค่า RMSE ต่ำที่สุด

$$\chi 2 = \frac{\sum(Y_i^{'} - Y_i)}{N - Z} \quad \text{(Eq.1)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Y_i^{'} - Y_i)^2} \quad \text{(Eq.2)}$$

เมื่อ Y'_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองของการทดลองที่ i, Y'_i คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของการทดลองที่ i,

N คือ จำนวนการทดลอง และ *Z* คือ จำนวนตัวแปรในแบบจำลอง

ผลการศึกษา

ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชาสมุนไพรปัญจขันธ์ในส่วนที่เป็นก้านและใบเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ºC) แสดงใน Figure 1 และ Figure 2 ตามลำดับ จากภาพแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w ของปัญจขันธ์ทั้งในส่วนที่เป็นก้านและใบมีลักษณะเป็นรูปตัวเจ (J shaped isotherm) แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือช่วงแรกค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.976-0.836 เมื่อค่า a_w ลดลงเพียงเล็กน้อยในขณะที่ปริมาณความชื้นกลับมีการลดลงในปริมาณที่มาก ช่วงที่สองค่า a_w อยู่ระหว่าง <0.836-0.560 เมื่อค่า a_w ลดลงปริมาณความชื้นก็มีการลดลงเช่นกันแต่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความชื้น

จะน้อยกว่าช่วงแรก และช่วงที่สามค่า a_w อยู่ระหว่าง <0.560-0.113 เมื่อค่า a_w มีการลดลงการลดลงของความชื้นมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (**Figure 1, Figure 2**)

ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อหาแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชาสมุนไพรปัญจขันธ์ในส่วนที่เป็นก้านและใบแสดงใน **Table 2** จากผลการทดสอบทางสถิติของแบบจำลองทั้งหมด 10 แบบจำลอง พบว่าแบบจำลองของ GAB มีค่า R^2 สูงที่สุด ในขณะที่ χ^2 และ RMSE มีค่าต่ำที่สุด รองลงมา ได้แก่แบบจำลองของ Lewicki-3 และ Lewicki-2 ตามลำดับทั้งในส่วนที่เป็นก้านและใบของปัญจขันธ์ ส่วนแบบจำลองของ Smith มีค่า R^2 ต่ำที่สุด ในขณะที่ χ^2 และ RMSE มีค่าสูงที่สุด ดังนั้นแบบจำลองของ GAB เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุดที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชาปัญจขันธ์ทั้งในส่วนที่เป็นก้านและใบ

โดยทั่วไปๆ เป็นที่รู้กันดีว่าพารามิเตอร์ X_m (Monolayer moisture content)ของแบบจำลองของ GAB สามารถบ่งบอกถึงปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่อาหารยังคงสามารถรักษาคุณภาพไว้ได้ โดยที่สภาวะดังกล่าวอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดทั้งการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี กายภาพ และการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (Kaleemullah and Kailappan, 2007) ทำให้สามารถเก็บอาหารไว้ได้นานขึ้น จากผลการทดลองพบว่าชาสมุนไพรปัญจขันธ์ทั้งในส่วนที่เป็นก้านและใบมีค่า X_m เท่ากับ 0.041 g water/g dry matter จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตและการเก็บรักษาชาสมุนไพรปัญจขันธ์ให้มีคุณภาพดี

Table 1 Moisture sorption models (Inchuenet al., 2009)

Model name	Model equation
Two parameters	
Oswin	$W_e=A(a_w/1-a_w)^B$
Caurie	$W_e=\exp(A+Ka_w)$
Smith	$W_e=A+(B\ln(1-a_w))$
Lewicki-2	$W_e=A((1/a_w)-1)^{B-1}$
BET	$W_e=X_mCa_w/[(1-a_w)(1-a_w+Ca_w)]$
Haslay	$a_w=\exp(-A/W_e^B)$
Henderson	$(1-a_w)=\exp(-AW_e^B)$
Three parameters	
GAB	$W_e=X_mCKa_w/[(1-Ka_w)(1- Ka_w +CKa_w)]$
Lewicki-3	$W_e=A[(1/(1-a_w)^B)-(1/(1+a_w^C))]$
Four parameters	
Peleg	$W_e=A(a_w)^C+ B(a_w)^D$

Where: a_w is the water activity,W_e is the equilibrium moisture content (g water/g dry matter), X_m is the monolayer moisture content (g water/g dry matter), *A*, *B*, *C*, *D* and *K* are the moisture sorption constants (dimensionless).

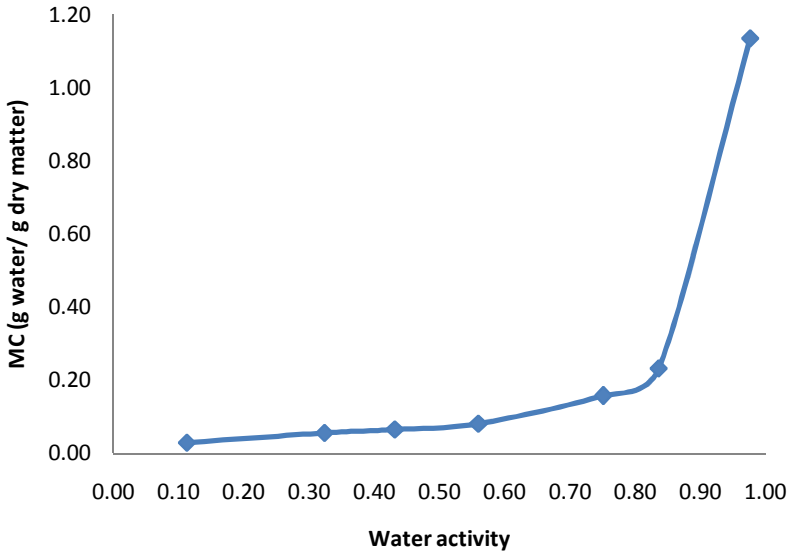

Figure 1 Moisture adsorption isotherm of stem'sPanjakan herbal tea .

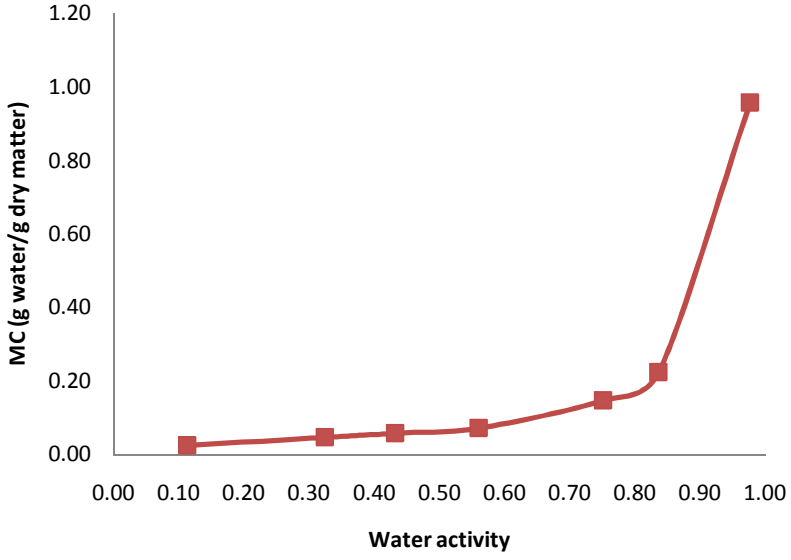

Figure 2 Moisture adsorption isotherm of leave's Panjakanherbal tea .

Table 2 Statistic results and estimated values of adsorption model parameters of Panjakan herbal tea during storage at room temperature.

Models	Parameters	Samples	
		Stems	Leaves
Two parameters			
Oswin	*A*	0.07063	0.06908
	B	0.74927	0.70955
	R^2	0.99942	0.9996
	χ^2	0.00011	0.00005
	RMSE	0.00883	0.00613
Caurie	*A*	-9.66659	-9.02497
	B	10.0294	9.19634
	R^2	0.98393	0.98456
	χ^2	0.00303	0.00205
	RMSE	0.04650	0.03830
Smith	*A*	-0.13329	-0.10701
	B	-0.30485	-0.25842
	R^2	0.90252	0.91830
	$\chi 2$	0.01836	0.01087
	RMSE	0.11452	0.08810
Lewicki-2	*A*	0.07063	0.06908
	B	0.25074	0.29045
	R^2	0.99942	0.99960
	χ^2	0.00011	0.00005
BET	RMSE	0.00883	0.00613
	X_m	0.02764	0.02344
	C	14,999,668	1,158,931
	R^2	0.99210	0.98415
	χ^2	0.00149	0.00211
	RMSE	0.03259	0.03881
Haslay	*A*	0.02831	0.02874
	B	1.24345	1.18301
	R^2	0.99544	0.99601
	χ^2	0.00051	0.00044
	RMSE	0.01905	0.01781
Henderson	*A*	11.31028	10.77769
	B	1.13019	1.06329
	R^2	0.97228	0.97036
	χ^2	0.00309	0.00330
	RMSE	0.04696	0.04855
Three parameters			
GAB	X_m	0.04124	0.04086
	C	13.65329	6.87852
	K	0.98748	0.98115

	R^2	0.99995	0.99983
	χ^2	0.00001	0.00002
	RMSE	0.00253	0.00340
Lewicki-3	*A*	0.06534	0.06929
	B	0.77316	0.71385
	C	0.25997	0.59359
	R^2	0.99993	0.99964
	χ^2	0.00002	0.00006
	RMSE	0.00314	0.00589
Four parameters			
Peleg	*A*	0.70560	0.58354
	B	9.12737	8.35940
	C	0.70560	0.58354
	D	9.12737	8.35940
	R^2	0.98040	0.98016
	χ^2	0.00615	0.00440
	RMSE	0.05135	0.04342

สรุป

กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและค่า a_w ทั้งส่วนที่เป็นก้านและใบของปัญจขันธ์ในระหว่างที่เก็บรักษาชาปัญจขันธ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ºC) มีลักษณะเป็นรูปตัวเจ (J shaped isotherm) โดยแบบจำลองของ GAB เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลและค่า a_w ของชาปัญจขันธ์ทั้งส่วนที่เป็นก้านและใบ และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาชาสมุนไพรปัญจขันธ์ให้มีคุณภาพดี คือ0.041 g water/g dry matter

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555และขอบคุณบริษัทภูเขียวทาเฮิร์บแลนด์ จำกัด ที่อนุเคราะห์ชาปัญจขันธ์สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

มผช.545/2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เจียวกู้หลานแห้ง

สถาบันวิจัยสมุนไพร. 2548.ปัญจขันธ์. สำนักพิมพ์ 1241 มิราคูลัส, นนทบุรี.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Bell, L.N. and T.P. Labuza. 2000. Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use. 2nd Edition. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul.

Kaleemullah, S. and R. Kailappan. 2007. Monolayer moisture, free energy change and fractionation of bound water to red chillies. J. Stored Prod. Res. 43: 104-110.

InchuenS., W. Narkrugsa and P. Pornchaloempong. 2009. Moisture sorption of Thai red curry powder. Maejo Int. J. Sci. Technol. 3: 486-497.