ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
250799

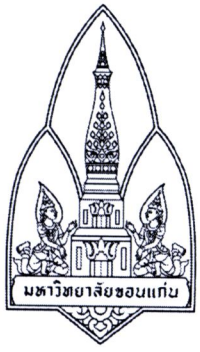
ดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม และการพัฒนากระบวนการทำแห้งใบบัวบก

DESORPTION ISOTHERMS AND DEVELOPMENT OF *CENTELLA ASIATICA* (L.) URBAN LEAF DRYING

นายวิทวัส ไตรรัตนากุล

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
250799
b00256415



ดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม และการพัฒนากระบวนการทำแห้งใบบัวบก

DESORPTION ISOTHERMS AND DEVELOPMENT OF *CENTELLA ASIATICA* (L.) URBAN LEAF DRYING

นายวิทวัส ไตรรัตนาภิกุล

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

ดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม และการพัฒนากระบวนการทำแห้งใบบัวบก

นายวิทวัส ไตรรัตนาภิกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

DESORPTION ISOTHERMS AND DEVELOPMENT OF *CENTELLA ASIATICA* (L.) URBAN LEAF DRYING

MR WITTAWAT TRIRATTANAPIKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

IN FOOD TECHNOLOGY

GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

2011

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

ชื่อวิทยานิพนธ์: ดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม และการพัฒนากระบวนการทำแห้งใบบัวบก

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายวิทวัส ไตรรัตนาภิกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. บวรศักดิ์ ลีนานนท์	ประธานกรรมการ
รศ.ดร. สิงหนาท พวงจันทน์แดง	กรรมการ
ผศ.ดร. ธนกร โรจนกร	กรรมการ
ดร.พีรยา โชติถนอม	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิงหนาท พวงจันทน์แดง)

....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาตย์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกษม นันทชัย)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย คณบดีคณะเทคโนโลยี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

วิทวัส ไตรรัตนาภิกุล. 2554. **ดีซอร์พชันไอโซเทิร์มและการพัฒนากระบวนการทำแห้งใบบัวบก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รองศาสตราจารย์ ดร.สิงหนาท พวงจันทน์แดง

บทคัดย่อ

250799

การศึกษาความแก่อ่อนของใบบัวบก (*Centellaasiatica* (L.) Urban) โดยแบ่งใบบัวบกออกเป็น 3 กลุ่มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เปรียบเทียบปริมาณความชื้นปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสมบัติการต้านออกซิเดชันค่าสีและปริมาณเส้นใยพบว่าใบบัวบกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของใบขนาด 4.6 -5.5 เซนติเมตรและ 5.6 - 6.5 เซนติเมตรมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดการศึกษาประสิทธิภาพการลวกใบบัวบกโดยการวัดกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสพบว่าการลวกใบบัวบกที่เหมาะที่สุด คือ การลวกใบบัวบกด้วยเครื่องไมโครเวฟนาน30 วินาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้โดยมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด นำใบบัวบกที่มีความแก่อ่อนเหมาะที่สุดไปศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มที่อุณหภูมิ20 35 และ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้โปรแกรมสหสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงในการหาแบบจำลองที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองModified Oswin, Modified Henderson, Modified Chung-Pfostและ Modified Halsey พบว่าแบบจำลอง Modified Henderson สามารถทำนายดีซอร์พชันไอโซเทิร์มได้ดีที่สุดทั้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกที่ผ่านการลวกในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e, T)$ และแบบจำลอง Modifed Chung-Pfost สามารถทำนายดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มได้ดีที่สุดทั้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกที่ผ่านการลวกในรูปฟังก์ชัน $RH_e=f(X_e,T)$ การศึกษาการทำแห้งใบบัวบกโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ40 50 และ60 องศาเซลเซียสโดยใช้แบบจำลอง Newton, Henderson and Pabis, Modified Page และZero พบว่าแบบจำลอง Modified Page สามารถอธิบายกราฟการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกได้ดีที่สุดทั้งการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนซึ่งค่าคงที่การทำแห้ง (K, min^{-1}) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งตามแบบจำลอง Arrhenius และค่าคงที่ N (Drying exponent) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการทำแห้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อนำข้อมูลของการทำแห้งมาหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นในแต่ละอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งพบว่าการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดมีค่าอยู่ในช่วง3.6865 x 10^{-11}ถึง1.7332 x 10^{-10} m^2/s และเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง3.8951 x 10^{-11}ถึง1.8351 x 10^{-10} m^2/s อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นทำให้อัตราส่วนการทำแห้งเพิ่มขึ้นและการลวกใบบัวบกและการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนทำให้อัตราส่วนการทำแห้งเพิ่มขึ้นเช่นกัน การลวกใบบัวบกก่อนการทำแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างสีรวม (ΔE^*) ของใบบัวบกหลังการทำแห้งและพบว่าการลวกเครื่องทำแห้งและอุณหภูมิในการทำแห้งไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างสีรวมของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน การลวกเครื่องทำแห้งและอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกการทำแห้งใบบัวบกที่ผ่านการลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่

250799

อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียสมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่คงอยู่มากที่สุดคือ 4.6323±0.04 และ 4.4966±0.08 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับการทำแห้งใบบัวบกลวกด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดคือมีร้อยละการยับยั้ง 87.5217±0.55

Wittawat Trirattanapikul. 2011. **Desorption Isotherms and Development of *CentellaAsiatica* (L.) Urban Leaf Drying.** Master of Science Thesis in Food Technology, Graduate School, Khon Kaen, University.

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Singhanat Phoungchandang

ABSTRACT

250799

Maturity of Asiatic pennywort (*Centellaasiatica* (L) Urban) leaves was investigated. The Asiatic pennywort leaves were divided into 3 groups according to their diameters. Moisture content, total phenolic content, antioxidant activity, color and crude fiber content were determined. It was found that the leaves with 4.6 to 5.5 and 5.6 to 6.5 cm diameters provided the highest total phenolic content and antioxidant activity. The adequate blanching of Asiatic pennywort leaves using peroxidase inactivity test was performed. It was found that blanched Asiatic pennywort leaves in microwavefor 30 seconds could inactivate peroxidase and contained the highest total phenolic content and antioxidant activity. A non-linear regression program was applied to the experiment data at 20, 35 and 50 °C to fit with any of the four moisture sorption isotherm models, namely Modified Henderson, Modified Oswin, Modified Chung-Pfost and Modified Halsey models. The Modified Henderson model gave the best fit for both fresh and blanched Asiatic pennywort leaves in function $X_e=f(RH_e, T)$ and the Modified Chung-Pfost gave the best fit for both fresh and blanched Asiatic pennywort leaves in function $RH_e=f(X_e, T)$. Asiatic pennywort leaves were pretreated prior to drying at temperature 40 50 and 60 °C by using tray and heat pump-dehumidified dryers. The Newton, Henderson and Pabis, Modified Page and Zero models were fitted to experimental drying data. The Modified Page model was found to be fit to the drying data. Dependence of the drying constant (K) on air temperature was described by the Arrhenius model. The drying exponent (N) was the exponential function of temperature and relative humidity of drying air. The effective moisture diffusivities from tray dryer were in the range of 3.6865×10^{-11} to 1.7332×10^{-10} m^2/s and those from heat pump-humidified dryer were in the range of 3.8951×10^{-11} to 1.8351×10^{-10} m^2/s. Asiatic pennywort leaves dried at high temperature provided higher drying ratio than Asiatic pennywort leaves dried at low temperature. Types of pretreatment and dryer had significant effect on drying ratio of Asiatic pennywort leaves. Pre-drying treatment of asiatic pennywort leaves by blanching had significant effect on ΔE^* of dried Asiatic pennywort leaves but pre-drying treatment of Asiatic pennywort leaves by blanching, dryer and drying air temperature had not significant effect on ΔE^* of rehydrated Asiatic pennywort leaves. Pre-drying treatment of Asiatic pennywort leaves by blanching, dryer and drying air temperature had significant effect on rehydration ratio. Blanched Asiatic pennywort leaves in microwave for 30 seconds dried at 40 and 50 °C by heat pump dehumidified dryer had highest total phenolic content. Blanched Asiatic pennywort leaves in microwave for 30 seconds dried at 40 °C by heat pump dehumidified dryer had highest antioxidant activity.

งานวิทยานิพนธ์นี้มอบส่วนดีแด่บุพการีและคณาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาและความเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สิงหนาท พวงจันทน์แดง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยให้ข้อมูล แนวความคิด คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการดำเนินการวิจัย รวมถึงความรัก ความเมตตา และกำลังใจที่มีต่อศิษย์มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และประสบการณ์อันมีค่าแก่ศิษย์

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว: หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ นักวิทยาศาสตร์และบุคลากรประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการศึกษา และวิจัยครั้งนี้ จนประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆทุกคน ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมา ซึ่งมีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอระลึกถึง และขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

วิทวัส ไตรรัตนาภิกุล

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
คำอุทิศ		ง
กิตติกรรมประกาศ		จ
สารบัญตาราง		ซ
สารบัญภาพ		ฑ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	2. วัตถุประสงค์	2
	3. ขอบเขตงานวิจัย	2
	4. ข้อตกลงเบื้องต้น	2
	5. สถานที่ทำการวิจัย	3
	6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	1. บัวบก	4
	2. สารต้านออกซิเดชันและวิธีวิเคราะห์	8
	3. การลวก (Blanching)	10
	4. ทฤษฎีการทำแห้ง	10
	5. วอเตอร์แอคติวิตี (Water activity, a_w)	12
	6. ซอร์พชั่นไอโซเทิร์ม	14
	7. เครื่องทำแห้ง	17
	8. แบบจำลองการทำแห้ง	21
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	24
	1. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี	24
	2. การศึกษาความแก่อ่อนของใบบัวบกที่เหมาะที่สุด	25
	3. การศึกษาระยะเวลายังยั้งกิจกรรมเอนไซม์ Peroxidase ในใบบัวบก	25
	4. การศึกษาซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดและใบบัวบกที่ผ่านการลวก	26
	5. การศึกษาแบบจำลองการทำแห้ง	27
	6. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของใบบัวบกหลังทำแห้ง	27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 31

1. การศึกษาความแก่อ่อนของใบบัวบก 31
2. การศึกษาระยะเวลายังยั้งกิจกรรมเอนไซม์ Peroxidase ในใบบัวบก 31
3. การศึกษาดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม 32
4. การศึกษาแบบจำลองการทำแห้ง 38
5. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของใบบัวบกหลังการทำแห้ง 49

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 57

เอกสารอ้างอิง 59

ภาคผนวก 64

ภาคผนวก ก การคำนวณองค์ประกอบทางเคมีการวิเคราะห์ระยะเวลายับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชัน 65

ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิจัย 73

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 83

ภาคผนวก จ ภาพตัวอย่างใบบัวบกสายพันธุ์สารคามก้านเขียว 107

ประวัติผู้เขียน 109

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	คุณค่าทางอาหารของใบบัวบกสด 100 กรัม	5
ตารางที่ 4.1	ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสมบัติการต้านออกซิเดชัน ค่าสีและปริมาณเส้นใยของใบบัวบก	32
ตารางที่ 4.2	ผลของวิธีและเวลาที่ใช้ในการลวกใบบัวบกต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชัน	32
ตารางที่ 4.3	ผลของวิธีและเวลาที่ใช้ในการลวกใบบัวบกต่อเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส	33
ตารางที่ 4.4	แบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบก	34
ตารางที่ 4.5	ค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดและลวก	35
ตารางที่ 4.6	ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยและค่าปริมาณความชื้นสมดุลที่ได้จากการแทนค่าในแบบจำลอง Modified Henderson	38
ตารางที่ 4.7	ค่าคงที่ของแบบจำลองการทำแห้งใบบัวบกโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	39
ตารางที่ 4.8	ความสัมพันธ์ของค่าคงที่การทำแห้ง (K, min^{-1}) ของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก และใบบัวบกลวกด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบความร้อน	45
ตารางที่ 4.9	แบบจำลอง Arrhenius ของใบบัวบก	46
ตารางที่ 4.10	ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ N (Drying exponent) ในแบบจำลอง Modified Page กับอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการทำแห้ง	46
ตารางที่ 4.11	แบบจำลอง Rapusas and Driscoll ของใบบัวบก	47
ตารางที่ 4.12	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวก ที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่อง สูบความร้อน	48
ตารางที่ 4.13	เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง	48
ตารางที่ 4.14	ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราส่วนการทำแห้งใบบัวบก	50
ตารางที่ 4.15	ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งและเครื่องทำแห้งต่ออัตราส่วนการ ทำแห้งใบบัวบก	50
ตารางที่ 4.16	ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งต่อค่า L* a* b* และΔE* ของใบบัวบกหลังการทำแห้ง	51
ตารางที่ 4.17	ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อค่า L* ของใบบัวบกหลังการทำแห้ง	51
ตารางที่ 4.18	ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งต่อค่า L* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.19	ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งโดยการลวกผ่านการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดและแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนและอุณหภูมิในการทำแห้งต่อค่า ΔE^* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน	52
ตารางที่ 4.20	ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้ง	53
ตารางที่ 4.21	ผลของเครื่องทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้ง	53
ตารางที่ 4.22	ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้ง	53
ตารางที่ 4.23	ปริมาณฟีนอลิกของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้ง (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	55
ตารางที่ 4.24	คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้ง	56
ตารางที่ ก. 1	ระดับความเข้มข้นของกรดแกลลิก	69
ตารางที่ ข. 1	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศที่อุณหภูมิต่างๆในการสร้างดีซอร์พชันไอโซเทิร์มสำหรับใบบัวบกสดและใบบัวบกลวก	74
ตารางที่ ข. 2	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	74
ตารางที่ ข. 3	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	75
ตารางที่ ข. 4	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	75
ตารางที่ ข. 5	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	76
ตารางที่ ข. 6	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	76
ตารางที่ ข. 7	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	77
ตารางที่ ข. 8	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	77
ตารางที่ ข. 9	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	78
ตารางที่ ข. 10	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข. 11	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	79
ตารางที่ ข. 12	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	79
ตารางที่ ข. 13	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	80
ตารางที่ ข. 14	อัตราส่วนการทำแห้ง (Drying ratio)	80
ตารางที่ ข. 15	อัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน (Rehydration ratio)	81
ตารางที่ ข. 16	ค่าสีเฉลี่ยของใบบัวบกหลังทำแห้งและใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน	82
ตารางที่ ค. 1	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความชื้นของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	84
ตารางที่ ค. 2	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	84
ตารางที่ ค. 3	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	84
ตารางที่ ค. 4	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าสีL* ของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	85
ตารางที่ ค. 5	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าสีa* ของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	85
ตารางที่ ค. 6	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าสีb* ของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	85
ตารางที่ ค. 7	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยของใบบัวบกด้วย Duncan's new multiple range test	86
ตารางที่ ค. 8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยวิธีและเวลาต่างๆ	86
ตารางที่ ค. 9	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยวิธีและเวลาต่างๆด้วย Duncan's new multiple range test	87
ตารางที่ ค. 10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยวิธีและเวลาต่างๆ	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค. 11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยวิธีและเวลาต่างๆด้วย Duncan's new multiple range test 88

ตารางที่ ค. 12 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Henderson 88

ตารางที่ ค. 13 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (RH_e=f(X_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Henderson 89

ตารางที่ ค. 14 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอ งModified Oswin 89

ตารางที่ ค. 15 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (RH_e=f(X_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Oswin 90

ตารางที่ ค. 16 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost 90

ตารางที่ ค. 17 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (RH_e=f(X_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost 91

ตารางที่ ค. 18 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Halsey 91

ตารางที่ ค. 19 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสด (RH_e=f(X_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Halsey 92

ตารางที่ ค. 20 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Henderson 92

ตารางที่ ค. 21 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก (RH_e=f(X_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Henderson 93

ตารางที่ ค. 22 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Oswin 93

ตารางที่ ค. 23 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก (RH_e=f(X_e, T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Oswin 94

ตารางที่ ค. 24 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก (X_e=f(RH_e, T)) ด้วยแบบจำลอ งModified Chung-Pfost 94

ตารางที่ ค. 25 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก (RH_e=f(X_e,T)) ด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost 95

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค. 26 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก ($X_e=f(RH_e, T)$) ด้วยแบบจำลอง Modified Halsey 95

ตารางที่ ค. 27 การหาค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวก ($RH_e=f(X_e, T)$) ด้วยแบบจำลอง Modified Halsey 96

ตารางที่ ค. 28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนการทำแห้งของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 96

ตารางที่ ค. 29 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราส่วนการทำแห้งของใบบัวบกเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วย Duncan's new multiple range test 97

ตารางที่ ค. 30 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราส่วนการทำแห้งของใบบัวบกเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งและเครื่องทำแห้งด้วย Duncan's new multiple range test 97

ตารางที่ ค. 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 98

ตารางที่ ค. 32 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า L* ของใบบัวบกหลังการทำแห้งเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วย Duncan's new multiple range test 98

ตารางที่ ค. 33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 99

ตารางที่ ค. 34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 99

ตารางที่ ค. 35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า ΔE^* ของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 100

ตารางที่ ค. 36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน 100

ตารางที่ ค. 37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน 101

ตารางที่ ค. 38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน 101

ตารางที่ ค. 39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า ΔE^* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน 102

ตารางที่ ค. 40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนการคืนรูปของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 102

ตารางที่ ค. 41 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราส่วนการคืนรูปของใบบัวบกหลังการทำแห้งเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วย Duncan's new multiple range test 103

ตารางที่ ค. 42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 103

ตารางที่ ค. 43 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบบัวบกหลังการทำแห้งเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของการเตรียมตัวอย่างก่อนทำแห้ง เครื่องทำแห้งและอุณหภูมิในการทำแห้งด้วย Duncan's new multiple range test 104

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค. 44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการต้านออกซิเดชันใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 105

ตารางที่ ค. 45 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบบัวบกหลังการทำแห้งเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของการเตรียมตัวอย่างก่อนทำแห้ง เครื่องทำแห้งและอุณหภูมิในการทำแห้งด้วย Duncan's new multiple range test 106

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	โครงสร้างของสารสำคัญในบัวบก (เอเซียติโคไซด์และมาเดคาสโซไซด์)	6
ภาพที่ 2.2	เส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทำแห้งของอาหาร	12
ภาพที่ 2.3	อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารและการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผัน แปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	14
ภาพที่ 2.4	กราฟ Sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอากาศ กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือกับ a_w	14
ภาพที่ 2.5	เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน	18
ภาพที่ 2.6	ระบบเครื่องเย็น	19
ภาพที่ 4.1	กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชั่น $X_e=f(RH_e,T)$	36
ภาพที่ 4.2	กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในรูปฟังก์ชั่น $RH_e=f(X_e,T)$	36
ภาพที่ 4.3	กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวกเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชั่น $X_e=f(RH_e,T)$	37
ภาพที่ 4.4	กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวกเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในรูปฟังก์ชั่น $RH_e=f(X_e,T)$	37
ภาพที่ 4.5	อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	40
ภาพที่ 4.6	อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	41
ภาพที่ 4.7	อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	41
ภาพที่ 4.8	อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	42
ภาพที่ 4.9	อัตราการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40 50 และ60 องศาเซลเซียส	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.10	อัตราการทำแห้งใบบัวบกลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส	43
ภาพที่ 4.11	อัตราการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ40 50 และ60 องศาเซลเซียส	44
ภาพที่ 4.12	อัตราการทำแห้งใบบัวบกลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ40 50 และ60 องศาเซลเซียส	44
ภาพที่ ก. 1	กราฟมาตรฐานของสารประกอบกรดแกลลิก	70
ภาพที่ จ. 1	บัวบกสายพันธุ์สารคามก้านเขียว	108