

ผลของการอบแห้งด้วยวิธีบีบความร้อนร่วมกับแบบลมร้อนและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพแมคคาดาเมีย

*Macadamia integrifolia*



นางสาวกมลรัตน์ เหลืองสด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF COMBINED HEAT PUMP AND HOT AIR DRYING AND PACKAGING ON QUALITY OF  
MACADAMIA NUT *Macadamia integrifolia*

Miss Kanonrat Luengsode

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

500677



กมลรัตน์ เหลืองสด: ผลของการอบแห้งด้วยวิธีบีบความร้อนร่วมกับแบบลมร้อนและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพแมคคาดาเมีย *Macadamia integrifolia*. (EFFECTS OF COMBINED HEAT PUMP AND HOT AIR DRYING AND PACKAGING ON QUALITY OF MACADAMIA NUT *Macadamia integrifolia*)

อ. ที่ปรึกษา: อ. ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม: รศ.ดร.ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา, 138 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการรักษาคุณภาพของแมคคาดาเมียที่เหมาะสมภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลา (Nut in Shell) โดยวิธีบีบความร้อนร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และศึกษาผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของแมคคาดาเมีย โดยแบ่งงานวิจัยออกเป็นสามส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาดาเมีย เพื่อให้ทราบเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีความชื้นอยู่ในระดับ 1-2% dry basis (d.b.) ส่วนที่สองเป็นการศึกษาคุณภาพของแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้งโดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งส่วนที่สามเป็นการศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์ (ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ) ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาแมคคาดาเมียหลังอบแห้งเป็นระยะเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิ 29-33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 60-70% จากผลการศึกษาในส่วนที่หนึ่ง พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแมคคาดาเมียในขั้นตอนแรกด้วยวิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เพื่อลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 16-17% d.b. ให้เหลือความชื้น 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ใช้เวลา 11.5-13.8 ชั่วโมง และ 6.5-8 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นเริ่มต้น สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแมคคาดาเมียในขั้นตอนที่สองด้วยวิธีอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C เพื่อลดความชื้นจาก 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ให้เหลือความชื้น 1.5-2.7% d.b. ใช้เวลา 38.5 17 10.7 และ 37.5 15.9 8.5 ชั่วโมงตามลำดับ รวมเวลาในการอบแห้งสองขั้นตอนเท่ากับ 52.3 28.5 22.7 และ 45.5 22.8 15 ชั่วโมงตามลำดับ ในส่วนของการศึกษาขั้นตอนที่สอง พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนและค่าความชื้นเริ่มต้นในการอบแห้งขั้นตอนที่สอง มีผลต่อค่าสี  $b^*$  ภายใน ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายใน และค่าเปอร์ออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และที่ค่าความชื้นเริ่มต้น 8.7% d.b. ในการอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อน ค่าเปอร์ออกไซด์จะสูงที่ค่าความชื้นเริ่มต้น 11.11% d.b. อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการอบแห้งและค่าความชื้นเริ่มต้นสำหรับการอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อน ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ต่อค่าสี  $L^*$  ภายนอกและภายใน ค่าสี  $b^*$  ภายนอก ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอก และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อในแมคคาดาเมีย จากผลคุณภาพข้างต้นอาจสรุปได้ว่าการอบแห้งแมคคาดาเมียขั้นตอนแรกด้วยวิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C โดยลดความชื้นให้เหลือ 11.11% d.b. และอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลา ในส่วนสุดท้ายของการศึกษาพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อค่า  $a_w$  ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าเปอร์ออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้น ค่าสี  $L^*$  ค่าสี  $b^*$  และค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกและภายในเนื้อในแมคคาดาเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ปีการศึกษา.....2550.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*ณัฏฐา*.....*ณัฏฐา*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา*

# # 4872204423: MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: MACADAMIA / HEAT PUMP / PACKAGING/ DRYING

KANONRAT LUENGSODE: EFFECTS OF COMBINED HEAT PUMP AND HOT AIR DRYING  
AND PACKAGING ON QUALITY OF MACADAMIA NUT *Macadamia integrifolia*

THESIS ADVISOR: CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, THESIS COADVISOR: SAKAMON  
DEVAHASTIN, 138 pp.

The objective of this research was to determine a suitable post-harvest treatment of macadamia nut-in-shell (*Macadamia integrifolia*) using heat pump drying in combination with hot air drying at different temperatures; the effect of packaging materials on the macadamia nut quality during storage was also determined. The experiment was divided into 3 parts. In the first part the drying time to reduce the moisture content of macadamia nut (nut-in-shell) to 1-2% d.b. using heat pump drying in combination with hot air drying was determined. Second, the quality of macadamia nut (kernel) after drying at different conditions was studied in terms of the physical properties, namely, color, and chemical properties, namely, moisture content, peroxide value and reducing sugar. Third, dried kernels were stored in different types of packaging (OPP/AL/PE/LLDPE and Nylon in carton) and the nut qualities were observed during 1-month storage at 29-33 °C and 60-70% RH. The results showed that the first-stage heat pump drying at 40 °C could decrease the moisture content from 16-17% d.b to 8.7% d.b. and 11.11% d.b. in 11.5-13.8 hr and 6.5-8 hr, respectively. The different drying times depended on the initial moisture content of the nut before drying. The second-stage hot air drying at 50, 60 and 70 °C reduced the moisture content from 8.7% d.b. and 11.11% d.b. to 1.5-2.7% d.b. in 38.5, 17, 10.7 and 37.5, 15.9, 8.5 hr, respectively. The total drying times of both stages were thus 52.3, 28.5, 22.7 and 45.5, 22.8, 15 hr, respectively. It was also found that the temperature and initial moisture content of nut prior to the second-stage drying had significant effects on the internal color  $b^*$ , internal  $\Delta E$  and peroxide value ( $p \leq 0.05$ ); higher drying temperatures led to higher amounts of peroxide value. The nut moisture content prior to second-stage drying of 8.7% d.b. led to higher value of peroxide than did the nut moisture content of 11.11% d.b. However, the interaction between the drying temperature and initial moisture content had no significant effects on the internal color  $L^*$ , external color  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  and reducing sugar ( $p > 0.05$ ). Based on the quality results, it can be concluded that the suitable drying process for macadamia nut-in-shell was the use of heat pump drying at 40 °C to decrease the moisture content to 11.11% d.b.; this should be followed by second-stage hot air drying at 50 °C until the moisture content of 1-2% d.b. is reached. During storage of dried macadamia kernel, interaction between packaging and storage time had significant effects on  $a_w$ , reducing sugar and peroxide value ( $p \leq 0.05$ ) but had no significant effects on moisture content or external and internal color,  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  ( $p > 0.05$ ).

Department: ....Food Technology.....

Field of Study: ....Food Technology.....

Academic Year: .....2007.....

Student's Signature: *Kanonrat Luengsode*

Advisor's Signature: *Chaleeda Borompichaichartkul*

Coadvisor's Signature: *Sakamon Devahastin*

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ ต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำอันเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย ความดูแลเอาใจใส่ตลอดจนความช่วยเหลือในการทำวิจัย และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และอาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์ ที่กรุณาสละเวลาในการตรวจสอบ กลั่นกรอง และแก้ไขให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณประพัทธ์ พิมป์ประไพธ กรรมการผู้จัดการบริษัท V.P.C. GROUP จำกัด ที่อนุเคราะห์แมคคาตาเมียในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ นาถกรณกุล คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในการสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และเครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนร่วมกับลมร้อน รวมทั้งความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ทุกท่าน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ และภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านในการอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาเอก คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจอันดีในการทำวิจัย

เงินทุนในการทำวิจัย ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่คอยดูแล ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์จนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1. บทนำ.....	1
บทที่ 2. วารสารปริทัศน์.....	4
บทที่ 3. การดำเนินงานวิจัย.....	37
บทที่ 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
บทที่ 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	94
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง.....	110
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	133
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	138

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางโภชนาการของแมคคาดาเมียดิบ.....	9
2.2 ลักษณะแมคคาดาเมียที่ใช้ในทางการค้า.....	16
2.3 ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแมคคาดาเมียโดยวิธีต่างๆ.....	34
2.4 ค่าการซึมผ่านออกซิเจนและความชื้นในบรรจุภัณฑ์แมคคาดาเมียแห้งแบบขายส่งตามอายุการเก็บรักษา.....	36
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2 ภาวะในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาด้วยวิธีบ่มความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	40
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบเริ่มต้น.....	43
4.2 เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับการอบแห้ง 2 ระดับ จากความชื้นเริ่มต้น 17% d.b. โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส.....	49
4.3 ความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียที่ภาวะต่างๆ....	55
4.4 เวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียแบบต่างๆ.....	56
4.5 อุณหภูมิภายในเมล็ดแมคคาดาเมียทั้งกะลาในระหว่างการอบแห้ง.....	65
4.6 คุณภาพแมคคาดาเมียหลังอบแห้งด้วยวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรมกับวิธีที่ได้จากการทดลอง.....	69
ข.1 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลา (Drying curve) ด้วยวิธีบ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	110
ข.2 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีบ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b.....	112
ข.3 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีบ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b.....	115
ข.4 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีบ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b.....	118



ตารางที่	หน้า
ข.5 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาตาเมียด้วยวิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b.....	120
ข.6 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาตาเมียด้วยวิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b.....	122
ข.7 ความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาตาเมียด้วยวิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b.....	124
ข.8 ปริมาณความชื้นแมคคาตาเมียทั้งกะลาหลังการอบแห้งโดยวิธีบีบความร้อน ร่วมกับลมร้อน.....	126
ข.9 ค่า $a_w$ เนื้อในแมคคาตาเมียหลังการอบแห้งโดยวิธีบีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	126
ข.10 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่าการเปลี่ยนแปลงสี ( $\Delta E$ ) ภายนอกและภายในของ เนื้อในแมคคาตาเมีย หลังการอบแห้งโดยวิธีบีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	127
ข.11 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของเนื้อในแมคคาตาเมียหลังอบแห้งในการอบแห้งโดยวิธีบีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	128
ข.12 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาตาเมียหลังอบแห้งในการอบแห้งโดยวิธีบีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	128
ข.13 ปริมาณความชื้นของเนื้อในแมคคาตาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	129
ข.14 ค่า $a_w$ ของเนื้อในแมคคาตาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	129
ข.15 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ภายนอกและภายในของเนื้อในแมคคาตาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	130

ตารางที่	หน้า
ข.16 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกและภายในเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/ PE/LLDPE และบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะ เวลา 1 เดือน.....	131
ข.17 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ บรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	131
ข.18 ค่าเปอร์ออกไซด์ของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ บรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	132
ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^* a^* b^*$ ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมีย และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ( $\Delta E$ ) ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้ง เทียบกับแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น เมื่อแปรภาวะการอบแห้ง.....	133
ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^* a^* b^*$ ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมีย และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ( $\Delta E$ ) ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้งเทียบ กับแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น เมื่อแปรภาวะการอบแห้ง.....	133
ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของเนื้อในแมคคาดาเมีย อบแห้งเมื่อแปรภาวะการอบแห้ง.....	134
ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง เมื่อแปรภาวะการอบแห้ง.....	134
ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง เมื่อแปรชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษา.....	135
ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $a_w$ เนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้งเมื่อแปร ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษา.....	135
ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^* a^* b^*$ ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมีย อบแห้งและค่าการเปลี่ยนแปลงสี ( $\Delta E$ ) ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง เมื่อแปรชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษา.....	136
ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^* a^* b^*$ ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมีย อบแห้งและค่าการเปลี่ยนแปลงสี ( $\Delta E$ ) ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง เมื่อแปรชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษา.....	136

- ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อในแมคคาดาเมีย  
อบแห้งเมื่อแปรชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษา..... 137
- ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาดาเมีย  
อบแห้งเมื่อแปรชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษา..... 137

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะต้นแมคคาดาเมีย.....	6
2.2 ลักษณะผลแมคคาดาเมีย.....	7
2.3 ส่วนประกอบผลแมคคาดาเมีย.....	7
2.4 ปริมาณการผลิตแมคคาดาเมียในปี 2003/04.....	8
2.5 กระบวนการผลิตแมคคาดาเมีย.....	14
2.6 เครื่องกะเทาะกะลาแมคคาดาเมีย.....	17
2.7 การคัดแยกขนาดเมล็ดด้วยมือ.....	17
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Hydrolytic และ Oxidative Rancidity ของไขมันในธัญพืช.....	24
2.9 ความสัมพันธ์ความชื้นและเวลาในการอบแห้ง.....	26
2.10 เครื่องอบแห้งแบบถังเก็บ.....	27
2.11 ส่วนประกอบของวัฏจักรบีบความร้อนแบบอัดไอ.....	31
2.12 แผนภูมิความดันและเอนทัลปีของวัฏจักรบีบความร้อนแบบอัดไอ.....	31
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาด้วย วิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	47
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีบีบ ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b.....	50
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีบีบ ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b.....	51
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีบีบ ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b.....	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วย วิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b.....	53

รูปที่	หน้า
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาตาเมียด้วยวิธีบีบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b.....	54
4.7 ปริมาณความชื้นเนื้อในแมคคาตาเมียภายหลังการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	58
4.8 ค่า $a_w$ เนื้อในแมคคาตาเมียภายหลังการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน...	59
4.9 ค่าสี $L^*$ ภายนอกของเนื้อในแมคคาตาเมีย วัตถุประสงค์เริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน (AD).....	61
4.10 ค่าสี $L^*$ ภายในของเนื้อในแมคคาตาเมีย วัตถุประสงค์เริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน(AD).....	61
4.11 ค่าสี $b^*$ ภายนอกของเนื้อในแมคคาตาเมีย วัตถุประสงค์เริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน(AD).....	62
4.12 ค่าสี $b^*$ ภายในของเนื้อในแมคคาตาเมีย วัตถุประสงค์เริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน (AD).....	62
4.13 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกของเนื้อในแมคคาตาเมียหลังอบแห้งเทียบกับแมคคาตาเมียหลังเพิ่มความชื้น.....	64
4.14 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในของเนื้อในแมคคาตาเมียหลังอบแห้งเทียบกับแมคคาตาเมียหลังเพิ่มความชื้น .....	64
4.15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อในแมคคาตาเมียที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	66
4.16 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาตาเมียที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้บีบความร้อนร่วมกับลมร้อน.....	68
4.17 แมคคาตาเมียหลังการอบแห้งด้วยวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม และการเกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ด.....	70
4.18 แมคคาตาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE.....	71
4.19 แมคคาตาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ ถุง Nylon บรรจุลงในกล่องกระดาษ.....	71
4.20 ปริมาณความชื้นของเนื้อในแมคคาตาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	72

รูปที่	หน้า
4.21 ค่า $a_w$ ของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	73
4.22 ค่าสี L* ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	75
4.23 ค่าสี L* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	75
4.24 ค่าสี b* ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	76
4.25 ค่าสี b* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	76
4.26 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	78
4.27 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	78
4.28 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของแมคคาดาเมียของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	79
4.29 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง LLDPE ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน.....	81
ก.1 อุปกรณ์กะเทาะกะลาแมคคาดาเมีย.....	95
ก.2 ถ้วยอลูมิเนียมหาความชื้นแมคคาดาเมีย.....	96
ก.3 แมคคาดาเมียขณะเพิ่มความชื้น.....	97
ก.4 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง.....	99
ก.5 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้ง.....	99
ก.6 การวางแมคคาดาเมียในถาดอบแห้ง.....	101
ก.7 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์น้ำตาลอินเวอร์ต.....	107