

ผลของวิธีการทำแห้งและภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและ
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง *Oryza sativa* L.

นางสาวณัฐณี ตั้งศรีอนุกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 9 7 2 2 9 1 0 2 3

EFFECTS OF DRYING METHODS AND STORAGE CONDITIONS ON CONTENT OF
PHENOLIC SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACT FROM
HULLED RED JASMINE RICE *Oryza sativa* L.

Miss Nuttinee Tangsrianugul

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

512075

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของวิธีการทำแห้งและภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณของสารกลุ่ม
ฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิ
แดง *Oryza sativa* L.

โดย

นางสาวณัฐณี ตั้งศรีอนุกุล

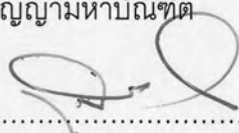
สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรณา ตุลาขวัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อนวัช สุวรรณกุล)

..... กรรมการ

(ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

ณัฐินี ตั้งศรีอนุกุล : ผลของวิธีการทำแห้งและภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณของสาร
กลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง *Oryza*
sativa L. (EFFECTS OF DRYING METHODS AND STORAGE CONDITIONS ON
CONTENT OF PHENOLIC SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF
EXTRACT FROM HULLED RED JASMINE RICE *Oryza sativa* L.) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. ขนิษฐา ธนาอนุวงศ์, 115 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณของสารกลุ่ม
ฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง โดยแบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วน
แรกเป็นการศึกษาการทำแห้งข้าวเปลือก 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และการทำแห้งด้วย
เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไบท (115°C, 215 วินาที, อบแห้งข้าวเปลือกครั้งละ 1800 กรัม) นำข้าวเปลือกที่ผ่านการทำ
แห้งมากระเทาะเปลือกให้เป็นข้าวกล้อง วิเคราะห์ความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และค่าสีในระบบ Hunter (L, a, b)
ของเมล็ดข้าวกล้อง สกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากแป้งข้าวกล้องด้วยเมทานอล ที่ 35°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณ
สารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
(DPPH) radical-scavenging และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่
ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์มีความชื้นและค่า a_w ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านการทำ
แห้งทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มมีปริมาณของสาร
กลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ผ่านการทำ
แห้งด้วยแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไบท
มีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการวิเคราะห์
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของตัวอย่างจากทั้ง 2 วิธี ให้ผลที่สอดคล้องกัน งานวิจัยในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาภาวะการเก็บ
รักษา โดยบรรจุตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/AL/LLDPE หรือ Nylon/LLDPE ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาไว้
ที่อุณหภูมิห้อง (28-35°C) หรือที่ 15°C เป็นเวลา 12 เดือน จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีใดก็
ตามเมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon/LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีความชื้นและค่า a_w เปลี่ยนแปลงมาก
ที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา แต่ไม่สามารถสรุปแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสี ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด
และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะต่างๆ ได้อย่างชัดเจน โดยในระหว่างการเก็บรักษา
ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP อาจ
เพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่เกิน 24% 20% และ 26% ของค่าเริ่มต้น (เดือนที่ 0) ตามลำดับ และงานวิจัยในส่วนที่ 3 เป็น
การศึกษามูลของการหุงข้าว โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี และเก็บรักษาที่ภาวะต่างๆ มาหุงในอัตราส่วน
ข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 แล้วนำข้าวกล้องหุงสุกมาวัดค่าสี จากนั้นทำแห้งข้าวกล้องหุงสุกด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
แล้วจึงสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากตัวอย่างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์หรือยอยตัวอย่างด้วยเอนไซม์ และวิเคราะห์ปริมาณ
ของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดที่ได้ จากผลการทดลองพบว่า ข้าวกล้องหุงสุกมีค่า L
สูงกว่าข้าวดิบ ในขณะที่ข้าวกล้องหุงสุกมีค่า a และค่า b ต่ำกว่าข้าวดิบ สำหรับทุกตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ การหุงข้าว
จะทำให้ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีค่า
ลดลงใกล้เคียงกันคือ 79-82% 85-88% และ 81-85% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดและ
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของตัวอย่างที่ย่อยด้วยเอนไซม์ทั้งที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 16
เท่า และ 6 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตัวอย่างที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

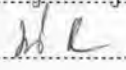
ภาควิชา..... เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิพนธ์..... ณัฐินี ตั้งศรีอนุกุล.....
สาขาวิชา..... เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... น.ร.....
ปีการศึกษา..... 2551.....

4972291023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : hulled red jasmine rice / phenolic substances / antioxidant activity

NUTTINEE TANGSRIANUGUL : EFFECTS OF DRYING METHODS AND STORAGE CONDITIONS ON CONTENT OF PHENOLIC SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACT FROM HULLED RED JASMINE RICE *Oryza sativa* L. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : KANITHA TANANUWONG, Ph.D., 115 pp.

The objective of this study was to investigate the effects of paddy drying methods and storage conditions on total phenolic content (TPC) and antioxidant activities (AA) of the methanolic extract from hulled red jasmine rice. This study was divided into 3 parts. Firstly, the effects of paddy drying methods were investigated. Three different paddy drying methods; shade drying, sun drying and fluidized bed (FB) drying (115°C, 215 second, 1800 g per batch) were evaluated. The dried paddy was dehusked, and the moisture content, water activity (a_w) and color in the Hunter (L, a, b) system of freshly hulled rice were determined. The hulled rice was grounded into flour and then extracted with methanol at 35°C for 8 hours. TPC of the methanolic extracts was determined by the Folin-Ciocalteu method. AA of the methanolic extracts were determined by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical-scavenging and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods. The results indicated that sun-dried samples had the significantly lowest moisture content and a_w ($p \leq 0.05$) but drying methods insignificantly affected color of the samples ($p > 0.05$). Shade-dried samples had the significantly highest TPC while their AA did not significantly differed from those of sun-dried samples ($p > 0.05$). FB-dried samples had the significantly lowest TPC and AA. Corresponding results from both DPPH and FRAP methods were obtained. Secondly, the effects of storage conditions were employed. Portions of the dried samples were vacuum-packed in OPP/AL/LLDPE or Nylon/LLDPE pouches and stored at ambient temperature (28-35°C) and 15°C for 12 months. For all drying methods, greater extent of changes in moisture content and a_w was observed in the samples packed in Nylon/LLDPE pouches and stored at ambient temperature. However, for all drying methods and storage conditions, color, TPC and AA of the samples still fluctuated during storage. During storage, TPC and AA of the samples as determined by DPPH and FRAP could increase or decrease up to 24%, 20% and 26% of the values found in freshly hulled rice, respectively. Finally, the effects of cooking were investigated. The hulled rice was cooked with ratio of rice to water as 1:2 w/w. The color of the cooked rice kernels was measured. The samples were then freeze-dried. Flour samples from dried cooked rice were extracted with organic solvent or digested with enzymes. TPC and AA of the extracts were determined. The results showed that, after cooking, L value of the samples increased but a and b values of the samples decreased. Cooking caused 79-82%, 85-88% and 81-85% decrease of TPC and AA, as determined by DPPH and FRAP assays, of the methanolic extracts, respectively. However, TPC and AA (both DPPH and FRAP methods) of the enzymatic digested samples were 16 and 6 folds higher than those of the solvent extracts, respectively.

Department : Food Technology Student's Signature : Nuttinee Tangsrianugul
Field of Study : Food Technology Principal Advisor's Signature : 
Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลือในทุกด้าน อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ยังได้ให้ความรู้และแนวคิดทางด้านวิชาการ ตลอดจนแนวทางในการดำเนินชีวิต อันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยต่อไปในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณฯ ตัญญู ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช และ ดร.อนวัช สุวรรณกุล ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กรุณาตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะพนักงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด์เบด และฝ่ายบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ตลอดจนงานวิจัย และขอบคุณเพื่อนปริญญาโทที่ปริญญาเอก และน้องๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน รวมทั้งเพื่อนสมัยเรียนปริญญาตรี ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจกันตลอดมา

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาวและญาติทุกคน ที่คอยเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งเสมอมา รวมทั้งให้การสนับสนุนและส่งเสริมผู้วิจัยจนประสบผลสำเร็จในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 ข้าว.....	2
2.2 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือก.....	3
2.3 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน.....	6
2.4 สารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากรั้วพืช.....	11
2.5 ผลของกระบวนการแปรรูปและภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก ทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากรั้วพืช.....	18
3 การดำเนินงานวิจัย.....	23
3.1 ขอบเขตงานวิจัย.....	23
3.2 วัตถุประสงค์.....	24
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	25
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	34
4.1 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องหอมมะลิแดง.....	34
4.2 ผลของวิธีการทำแห้งต่อสมบัติของข้าวกล้องหอมมะลิแดง.....	35
4.3 ผลของภาวะการเก็บรักษาต่อสมบัติของข้าวกล้องหอมมะลิแดง.....	42
4.4 ผลของการหุงข้าวต่อสมบัติของข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุก.....	59
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์.....	78

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด.....	91
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	93
ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด.....	24
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องหอมมะลิแดง.....	34
4.2	ความชื้นและค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีและไม่ได้ผ่านการเก็บรักษา.....	36
4.3	ค่าสีในระบบ Hunter (L, a, b) ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี และไม่ได้ผ่านการเก็บรักษา.....	36
4.4	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและกำลังการรีดิวซ์ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี และไม่ได้ผ่านการเก็บรักษา.....	40
4.5	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) และกำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง.....	58
4.6	ค่าสีในระบบ Hunter (L, a, b) ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงดิบและข้าวหุงสุกที่ผ่านการทำแห้งและเก็บรักษาที่ภาวะต่างๆ.....	60
4.7	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดเมทานอลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงดิบและข้าวหุงสุกที่ผ่านการทำแห้งและเก็บรักษาที่ภาวะต่างๆ.....	62
4.8	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและกำลังการรีดิวซ์ของสารสกัดเมทานอลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงดิบและข้าวหุงสุกที่ผ่านการทำแห้งและเก็บรักษาที่ภาวะต่างๆ.....	63
4.9	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและกำลังการรีดิวซ์ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกที่สกัดด้วยวิธีต่างกัน.....	66
ก.1	วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox.....	87
ค.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นและค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีและไม่ได้ผ่านการเก็บรักษา.....	93
ค.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ Hunter (L, a, b) ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีและไม่ได้ผ่านการเก็บรักษา.....	93

ตารางที่	หน้า	
ค.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและกำลังการรีดิวซ์ของสารสกัดจากข้าว กล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีและไม่ได้ผ่านการเก็บรักษา.....	93
ค.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการ ทำแห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	94
ค.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการ ทำแห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	94
ค.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำ แห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	95
ค.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำ แห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	95
ค.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b ของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งและเก็บ รักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	96
ค.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า ΔE ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการ ทำแห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	96
ค.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกของสารสกัดจากข้าว กล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	97
ค.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำ แห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	97
ค.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของ สารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	98
ค.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ Hunter (L, a, b) ของข้าวกล้อง ดิบ.....	98
ค.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ Hunter (L, a, b) ของข้าวกล้อง หุงสุก.....	98

ตารางที่	หน้า
ค.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากข้าวกล้องดิบและข้าวหุงสุกและเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าดังกล่าวภายหลังการหุง..... 99
ค.16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัดจากข้าวกล้องดิบและข้าวหุงสุกและเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าดังกล่าวภายหลังการหุง..... 99
ค.17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากข้าวกล้องดิบและข้าวหุงสุกและเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าดังกล่าวภายหลังการหุง..... 99
ค.18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากข้าวหุงสุกโดยสกัดด้วยวิธีต่างกันและจำนวนเท่าของค่าดังกล่าวที่ได้จากการสกัดต่างวิธี..... 100
ค.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัดจากข้าวหุงสุกโดยสกัดด้วยวิธีต่างกันและจำนวนเท่าของค่าดังกล่าวที่ได้จากการสกัดต่างวิธี..... 100
ค.20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากข้าวหุงสุกโดยสกัดด้วยวิธีต่างกันและจำนวนเท่าของค่าดังกล่าวที่ได้จากการสกัดต่างวิธี..... 100
ง.1	ความชื้นของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 101
ง.2	ความชื้นของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 101
ง.3	ความชื้นของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชต์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 102
ง.4	ค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 102
ง.5	ค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 103

ตารางที่	หน้า	
ง.6	ค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	103
ง.7	ค่า L ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	104
ง.8	ค่า L ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	104
ง.9	ค่า L ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	105
ง.10	ค่า a ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	105
ง.11	ค่า a ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	106
ง.12	ค่า a ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	106
ง.13	ค่า b ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	107
ง.14	ค่า b ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	107
ง.15	ค่า b ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	108
ง.16	ค่า ΔE ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	108
ง.17	ค่า ΔE ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	109
ง.18	ค่า ΔE ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	109
ง.19	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	110

ตารางที่	หน้า
ง.20	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำ แห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 110
ง.21	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำ แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 111
ง.22	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัด จากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 111
ง.23	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัด จากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็น เวลา 12 เดือน..... 112
ง.24	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัด จากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์ เบดและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 112
ง.25	กำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิ แดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่มและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 113
ง.26	กำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิ แดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน..... 113
ง.27	กำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิ แดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดและเก็บรักษาเป็น เวลา 12 เดือน..... 114

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด.....	5
2.2	สูตรโครงสร้างของ Trolox.....	8
2.3	ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power.....	9
2.4	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.....	10
2.5	สูตรโครงสร้างของกรดฟีนอลิก.....	12
2.6	สูตรโครงสร้างแกนของฟลาโวนอยด์.....	12
2.7	สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิน.....	13
3.1	ขั้นตอนการสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดง.....	29
3.2	ขั้นตอนการย่อยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกด้วยเอนไซม์.....	32
4.1	สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานินในรูปสมดุค.....	38
4.2	ความชื้นของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไดเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	44
4.3	ค่า a_w ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไดเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	45
4.4	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2550 – กุมภาพันธ์ 2551.....	46
4.5	อุณหภูมิห้องของอากาศในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2550 – กุมภาพันธ์ 2551.....	46
4.6	ค่า L ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไดเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	49
4.7	ค่า a ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไดเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	50
4.8	ค่า b ของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไดเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	51
4.9	ความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของข้าวกล้องหอมมะลิแดง ที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไดเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	52

รูปที่	หน้า
4.10 ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการ ทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไอเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	55
4.11 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH) ของสารสกัดจาก ข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และ ฟลูอิดไอเซชัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	56
4.12 กำลังการรีดิวซ์ (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของสารสกัดจากของข้าวกล้องหอมมะลิ แดงที่ผ่านการทำแห้งในที่ร่ม การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และฟลูอิดไอเซชัน และเก็บ รักษาเป็นเวลา 12 เดือน.....	57
ก.1 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์แอมิโลส.....	84
ก.2 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด.....	85
ก.3 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH.....	88
ก.4 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP.....	90
ข.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน.....	92