อิทธิพลของไมโครเวฟที่มีต่อคุณลักษณะการพองตัวของข้าวเปลือก คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง

MICROWAVE HEATING EFFECTS ON PUFFING CHARACTERISTICS OF PADDY RICE PHTSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PUFFED RICE FLOUR

มิตภาณี พิพัฒนา
MITPANEE PIPATTHANA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557
KMITL-2014-AI-M-053-199

อิทธิพลของไมโครเวฟที่มีต่อคุณลักษณะการพองตัวของข้าวเปลือก คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง

MICROWAVE HEATING EFFECTS ON PUFFING CHARACTERISTICS OF PADDY RICE PHTSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PUFFED RICE FLOUR

มิตภาณี พิพัฒนา

MITPANEE PIPATTHANA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ 2557

KMITL-2014-AT-M-053-199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROWAVE HEATING EFFECTS ON PUFFING CHARACTERISTICS OF PADDY RICE PHTSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PUFFED RICE FLOUR

MITPANEE PIPATTHANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

KMITL-2014-AT-M-053-199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของไมโครเวฟที่มีต่อคุณลักษณะการพองตัวของข้าวเปลือกคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง

MICROWAVE HEATING EFFECTS ON PUFFING CHARACTERISTICS OF PADDY RICE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PUFFED RICE FLOUR

ชื่อนักศึกษา นางสาวมิตภาณี พิพัฒนา

รหัสประจำตัว 54680316

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา	
ดร.กิตติชัย บรรจง	
ดร.ระจิตร สุวพานิช	
ดร.ชิตสุดา ชัยศักดานุกูล	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 12 พฤษภาคม 2557 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 22 เดือน พฤ. พ.ศ. 57

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของไมโครเวฟที่มีต่อคุณลักษณะการพองตัวของข้าวเปลือก คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง
นักศึกษา	มิตภาณี พิพัฒนา
รหัสประจำตัว	54680316
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

ในการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ กข 6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนนำมาทำการพองตัว(10%, 14% และ18%) กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ (600, 700 และ 800 วัตต์) และเวลาที่ใช้ในการพองตัวของข้าวเปลือก (1, 1.5 และ 2 นาที) โดยใช้ไมโครเวฟความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ท พบว่า การพองตัวของข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และหอมมะลิ 105 ที่เหมาะสมควรใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10%-14% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 1.5-2 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตของข้าวพอง 51.10-52.41% สำหรับข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และ 26.01-26.53% สำหรับข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ในขณะที่ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังขหยด ควรใช้ความชื้นที่ 10% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนาน 2 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตของข้าวพอง 44.59-45.04% โดยความชื้นของข้าวเปลือก กำลังไฟฟ้า ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ รวมทั้งปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไฟฟ้ากับระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ($p<0.05$) ข้าวพองที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมีคุณภาพการพองตัวที่ตรวจสอบอยู่ในเทอมของ ปริมาตรการพองตัว อัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่น จากผลการทดลองปัจจัยในการพองตัวของข้าวเปลือกที่ส่งอิทธิพลในข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ($p<0.05$) ได้แก่ ความชื้นของข้าวเปลือก กำลังไฟฟ้า ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ในขณะที่ความหนาแน่นของข้าวพองที่ได้ จะได้รับอิทธิผลจากความชื้นของข้าวเปลือกเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำแป้งข้าวพองที่ได้จากการบดข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA พบว่าค่าความหนืดสูงสุดค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของแป้งข้าวพองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว และนอกจากนี้แป้งข้าวพองที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว จากผลของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน พบว่า แป้งข้าวพองที่ได้มีฤทธ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS	MICROWAVE HEATING EFFECTS ON PUFFING CHARACTERISTICS OF PADDY RICE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PUFFED RICE FLOUR
STUDENT	Miss. Mitpanee Pipatthana
STUDENT ID	54680316
DEGREE	Master of Science
PROGRAM	Food Science
YEARS	2014
THESIS ADVISOR	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

The study of microwave heating effect on paddy rice (RD 6, Thai Hom Mali 105 and Sang Yod Phattalung varieties) puffing with microwave (2,450 MHz) with 3 facters namely, moisture content (10%, 14% and 18%), microwave power (600, 700 and 800 watt) and heating time (1, 1.5 and 2 min.) was done. The results showed that the suitable puffing condition of RD6 and Thai Hom Mali 105 paddy rice by microwave were done at moisture content 10-14%, microwave power 700-800 watts and heating for 2 min. From 3 treatments, puffing yield were 51.10-52.41% foe RD6 and 26.01-26.53% for Thai Hom Mali 105 while 44.59-45.04% for Sang Yod Phattalung (puffed at 10% moisture content, 700-800 watts and heated for 2 min.). The effects of moisture content, power, heating time and power*heating time were positive significant to puffing yield ($p<0.05$). Puffing qualities in term of expansion volume, expansion ratio and bulk density were also studies. The results revealed that moisture content, power and heating time affected to expansion volume, expansion ratio while bulk density was affected only by moisture content ($p<0.05$).

Regarding with puffed rice flour, it was obtained from the treatment that gave the highest puffing yield and no defect from burning. Pasting properties of puffed rice flour from RVA showed that the peak viscosity, breakdown, final viscosity and setback significantly decreased ($p<0.05$) comparing with control. In addition, the water absorption and water solubility significantly increased ($p<0.05$) comparing with control. Furthermore, the antioxidant activity of puffed rice flour did not show the different from control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำอันมีค่าและเป็นประโยชน์ ตลอดจนข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และรวมถึงการให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขงานในหลายๆ ด้านที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง ดร.ชิตสุดา ชัยศักดานุกูล และดร.ระจิตร สุวพานิช ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบต้นฉบับตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณกนกวรรณ จิตต์พงษ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง เพื่อนำมาวิเคราะห์ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้ ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยดูแล อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสารเคมี รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างมาก

สุดท้ายต้องขอขอบคุณบิดา มารดาของข้าพเจ้าที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และข้าวหอมมะลิ 105 เพื่อนำมาวิเคราะห์ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย และให้การสนับสนุน รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

มิตภาณี พิพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1
1.2 ขอบเขตของการศึกษา.....3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 ข้างพอง.....4
2.2 ไมโครเวฟ.....6
2.3 การเตรียมและกระบวนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก.....9
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว.....17
2.5 การเตรียมและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง.....21

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ
3.1 วัตถุดิบ.....23
3.2 อุปกรณ์.....23
3.3 สารเคมี.....24
3.4 สถานที่ดำเนินการทดลอง.....24
3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....25
3.6 การตรวจสอบปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง.....28
3.7 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง.....29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.8 การตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน.....30

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง.....32

4.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง.....46

4.3 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง.....56

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....58

บรรณานุกรม.....60

ภาคผนวก ก.....65

ภาคผนวก ข.....74

ภาคผนวก ค.....78

ประวัติผู้เขียน.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ข้าวพองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน.....5

4.1 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของข้าวพอง.....34

4.2 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาตรการพองตัวของข้าวพอง.....37

4.3 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราส่วนการพองตัวของข้าวพอง.....40

4.4 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความหนาแน่นของข้าวพอง.....43

4.5 ค่าความแปรปรวนของปัจจัยในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟกับ
คุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง.....45

4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste.....47

4.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำของแป้งข้าวพอง.....54

4.8 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ข้าวพองที่ทอดในมัน.....11

2.2 Rice cake.....12

2.3 ข้าวพองด้วยเครื่อง gun puffing.....13

2.4 ข้าวพองอัดแท่งด้วยเครื่องเอกซ์ทรูชั่น.....14

2.5 ผลิตภัณฑ์อะราเร่ และเซนเบ่.....15

2.6 ข้าวบาร์เล่ย์ที่ทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ.....16

3.1 แผนผังกระบวนการเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกก่อนนำไปพองด้วยไมโครเวฟ.....25

3.2 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก.....26

3.3 แผนผังกระบวนการผลิตแป้งข้าวพองจากข้าวเปลือก.....27

4.1 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6.....33

4.2 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105.....33

4.3 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง.....33

4.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของข้าวเปลือกพันธุ์กข 6.....48

4.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105.....49

4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปผนวก

รูปผนวกที่ **หน้า**

1 ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดข้าวเปลือก.....66

2 ขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำเกลือ 2%.....66

3 ขั้นตอนการกรอง.....66

4 ขั้นตอนการอบแห้ง.....67

5 ขั้นตอนการบรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) แล้วปิดผนึก.....67

6 ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก.....68

7 ขั้นตอนการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ.....68

8 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง.....69

9 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง.....70

10 ขั้นตอนการบดหยาบ.....71

11 ขั้นตอนการบดละเอียด.....71

12 แป้งข้าวพอง.....72

13 ขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดด้วยเครื่อง RVA.....75

14 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด.....76

15 กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระDPPH.....80

16 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ในการวิเคราะห์ FRAP.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยมาเป็นเวลานานและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการผลิตและการส่งออกข้าวต้องประสบปัญหาหลายประการ โดยเฉพาะปัญหาความไม่มีเสถียรภาพของระดับราคา และการแข่งขันจากประเทศที่มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อเกษตรกรผู้ปลูกข้าว โดยอุตสาหกรรมการแปรรูปข้าวนับเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยเหลือเกษตรกร โดยช่วยเพิ่มความต้องการข้าว เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตข้าว ซึ่งจะช่วยเพิ่มโอกาสในการส่งออก และนำมาซึ่งรายได้ที่เป็นเงินตราต่างประเทศ โดยผลิตภัณฑ์ข้าวที่ส่งออก ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวอื่นๆ และผลิตภัณฑ์เส้น เช่น เส้นหมี่และก๋วยเตี๋ยว แม้ว่าปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์จะมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการส่งออกข้าว แต่เมื่อคำนวณเป็นราคาต่อตันพบว่า ผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวมีราคาสูงกว่าข้าวอย่างเด่นชัด แม้ในกลุ่มข้าวคุณภาพดีก็ยังคงมีราคาต่ำกว่าราคาผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าว (มาตรฐานสินค้าข้าว, 2540)

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ด้านการใช้ประโยชน์จากข้าว โดยการแปรรูปส่วนต่าง ๆ ของข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปหลากหลาย เช่น ข้าวพอง ข้าวสวยสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง น้ำนมข้าวยาคู และขนมเค้ก เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวให้กว้างขวางยิ่งขึ้นย่อมเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวให้สูงขึ้นตามไปด้วย และหากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้รับการส่งเสริมเพื่อการส่งออกย่อมจะช่วยในการนำเข้าเงินตราต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาการเกษตรของประเทศไทยจึงมีทิศทางในการสนับสนุนการพัฒนาเกษตรอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น และข้าวยังมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอีกมากมาย อาทิเช่น เส้ยใย วิตามิน เกลือแร่ และไฟโตเคมีคอลที่มีส่วนช่วยลดโรคต่างๆได้ โดยเฉพาะข้าวสังข์หยด ซึ่งเป็นข้าวที่มีสีแดงเข้มที่มีสารอาหารในเมล็ดเป็นเม็ดสีของเปลือกหุ้มเมล็ด มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ คือ มีกากใยอาหารสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ จึงมีประโยชน์ในการชะลอความแก่ นอกจากนี้มีโปรตีน ธาตุเหล็ก และฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีประโยชน์ในการบำรุงโลหิต บำรุงร่างกายให้แข็งแรงและป้องกันโรคความจำเสื่อม และยังมีสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ พวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) โอริซานนอล (oryzanol) และมี Gamma Amino Butyric Acid (GABA) ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเป็นมะเร็ง (สุเทพ ฤทธิ์แสวง และคณะ, 2547) นอกจากนี้หน่วยงาน USA Rice Foundation ได้ทำการสำรวจความคิดเห็นของบริษัทต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารถึงการใช้ประโยชน์จากข้าว จากผลการสำรวจพบว่า ข้าวมีความเหมาะสมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำมาทำผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 96 และบริษัทที่ตอบแบบสำรวจความคิดเห็นจำนวนร้อยละ 95 เห็นพ้องต้องกันว่า ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากข้าวที่มีอยู่เดิมสามารถนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ให้พลังงานหรือให้พลังงานแก่ร่างกายน้อยและเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสริมสร้างสุขภาพมากขึ้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

ข้าวพอง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้ง มีลักษณะพองเบา ยังคงเป็นเมล็ดสีขาวและกรอบ เตรียมได้จากข้าวเปลือกทั้งเมล็ดหรือเตรียมได้จากแป้งข้าว นับเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ได้จากการแปรรูปข้าว โดยทั่วไปข้าวพองจัดเป็นอาหารเช้าจากธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าแบบผสมร่วมกับธัญพืชชนิดอื่น รวมทั้งเป็นส่วนประกอบในขนมขบเคี้ยว เช่น ผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งที่ใช้ข้าวพองเป็นส่วนประกอบ (ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์, 2545) เป็นต้น สำหรับการผลิตข้าวพองในประเทศไทยได้ทำกันมานานแล้ว ผู้ผลิตข้าวพองส่วนใหญ่เป็นชาวชนบทและทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว กรรมวิธีการผลิตอาศัยการเรียนรู้สืบทอดกันมาแต่บรรพบุรุษและใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้พองโดยการคั่วในกะทะกับทรายร้อนวิธีนี้เป็นวิธีที่มีกำลังการผลิตต่ำและอาจจะแยกทรายออกไม่หมดทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และการนำไปทอดในน้ำมันนั้นมักจะทำให้มีปัญหาด้านกลิ่น และปริมาณไขมันสูง จึงยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (มาลี ชิ้มศรีสกุล, 2534) ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการใหม่ๆเข้ามา โดยได้นำไมโครเวฟเข้ามาช่วยในการแปรรูปอาหารมากขึ้น ซึ่งไมโครเวฟมีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพมากกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม เช่น ประหยัดเวลา ให้ความร้อนรวดเร็วในระยะเวลาสั้น ให้ความร้อนสูง พลังงานมีประสิทธิภาพ สามารถเลือกความร้อนได้ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ยังคงคุณค่าทางโภชนาการเหลืออยู่ไม่สูญเสียไป (Sumnu, 2001)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาถึงกรรมวิธีและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเคมีกายภาพของแป้งข้าวพองมาแล้วก็ตาม (Maisont and Narkrugsa, 2009) แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นการพองตัวของข้าวเปลือกที่ไม่มีสี ซึ่งมีการศึกษาจากข้าวที่มีสียังมีน้อยมาก โดยเฉพาะการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ และส่วนใหญ่มักจะเป็นเอกสารจากต่างประเทศ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวพองจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่ไม่ชอบรับประทานข้าว โดยเฉพาะเด็กและในสังคมที่มีความระมัดระวังในเรื่องสุขภาพและความเร่งด่วนแข่งขันกับเวลา ผลิตภัณฑ์ข้าวพองนี้จึงสามารถใช้เป็นอาหารเช้าแทนอาหารมื้อเช้าหรือขนมปังได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการผลิตข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือก อีกทั้งยังศึกษาปัจจัยต่างๆในการผลิตข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือก และศึกษาถึงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพองอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการผลิตข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกข 6, ข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวสังข์หยดพัทลุง และศึกษาปัจจัยในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก โดยมี 3 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณความชื้น, กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และเวลาที่ใช้ในการพองตัว จากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพองที่ได้จากสภาวะที่มีค่าผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรก และไม่พบส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพอง จากนั้นศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index : WAI) ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index : WSI) และการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA และศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP)

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการผลิตข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือก

1.3.2 เพื่อศึกษาปัจจัยในการผลิตข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือก

1.3.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเพิ่มมูลค่าข้าว และเป็นการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟบ้านในการผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าว ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค

1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรหรือผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ และนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้

1.4.3 สามารถนำข้าวพองที่ได้มาทำการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่อไปได้ และยังสามารถพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวพอง (Puffed Rice)

ข้าวพอง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวมาหุงให้สุก ผึ่งแดดหรืออบให้แห้ง นำมาทอดหรือคั่วให้พอง คลุกกับส่วนผสมของน้ำ น้ำตาล และแบะแซที่เคี่ยวจนเหนียวพอเหมาะ อาจเติมสีผสมอาหาร หรือส่วนประกอบอื่น เช่น งาดำ อัดเป็นแผ่น ตัดเป็นชิ้น มีลักษณะทั่วไป คือ ต้องพอง แห้ง แต่ละชิ้นไม่ติดกันแน่น สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยมือโดยไม่เสียรูปทรง ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน อาจแตกหักได้บ้างเล็กน้อย ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวพอง และต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวพอง ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม มีลักษณะเนื้อสัมผัสต้องเหนียวพอเหมาะ ไม่ร่วนหรือแข็งกระด้าง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548)

ข้าวพองจัดเป็นอาหารจากธัญพืชที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และ ฟิลิปปินส์ ในประเทศอินเดียนั้นข้าวพองจัดเป็นอาหารดั้งเดิมที่ได้รับความนิยม เนื่องจากราคาไม่แพง ทำได้ง่ายโดยการนำข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งแล้วมาคั่วกับทรายร้อน ข้าวพองที่ได้ยังคงเป็นเม็ด มีความกรอบ แห้ง และมีสีขาว (Chandrasekhar and Chattopadhyay, 1991) ส่วนในประเทศไทยนั้น ข้าวพอง หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ข้าวตอก คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้ง มีลักษณะพองเบา ยังคงเป็นเมล็ดสีขาวและกรอบ เตรียมได้จากข้าวเปลือกทั้งเมล็ดหรือเตรียมได้จากแป้งข้าว ข้าวพองจึงเป็นส่วนของเมล็ดข้าวที่เอาเฉพาะเปลือกนอกหรือแกลบออกเท่านั้น ส่วนที่เป็นข้าวพองก็คือ ข้าวกล้อง นั่นเอง ดังนั้นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งประกอบด้วยใยอาหาร (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโทซาน) ยังคงติดอยู่ในเมล็ด จะมีส่วนของใยอาหารสูงกว่าธัญพืชอื่นๆ 2-5 เท่า และยังมีโปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ อยู่กับข้าวพองนั้นด้วย ในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะเป็นแป้งที่สุกด้วยความร้อน ดังนั้นแป้งจะถูกย่อยและดูดซึมได้ง่ายในร่างกาย (อุลัย ศิริศรี, 2544)

นอกจากนี้ข้าวพองนับเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ได้จากการแปรรูปข้าว โดยทั่วไปข้าวพองจัดเป็นอาหารเช้าจากธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าแบบผสมร่วมกับธัญพืชชนิดอื่น รวมทั้งเป็นส่วนประกอบในขนมขบเคี้ยว เช่น ผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งที่ใช้ข้าวพองเป็นส่วนประกอบ (ปกรณ์ พรรณ เผือก, 2545) เป็นต้น สำหรับการผลิตข้าวพองในประเทศไทยได้ทำกันมานานแล้ว ผู้ผลิตข้าวพองส่วนใหญ่เป็นชาวชนบทและทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว กรรมวิธีการผลิตอาศัยการเรียนรู้สืบทอดกันมาแต่บรรพบุรุษและใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้พองโดยการคั่วใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กะทะกับทรายร้อนวิธีนี้เป็นวิธีที่มีกำลังการผลิตต่ำ และอาจจะแยกทรายออกไม่หมดทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และการนำไปทอดในน้ำมันนั้นมักจะทำให้มีปัญหาด้านกลิ่น และปริมาณไขมันสูง จึงยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (มาลี ซิ้มศรีสกุล, 2534)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

การผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีมาทุกยุคทุกสมัย โดยผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีการจัดจำหน่ายตั้งแต่ในระดับครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีคุณภาพตามมาตรฐานความต้องการของผู้บริโภคส่วนใหญ่ และเพื่อยกระดับคุณภาพข้าวพอง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2548) จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ข้าวพอง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ข้าวพองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

คุณลักษณะที่ต้องการ	เกณฑ์ที่กำหนด
1. ลักษณะทั่วไป	ต้องพอง แห้ง แต่ละชิ้นไม่ติดกันแน่น สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยมือโดยไม่เสียรูปทรง ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน อาจแตกหักได้บ้างเล็กน้อย
2. สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวพอง
3. กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวพอง ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม
4. ลักษณะเนื้อสัมผัส	ต้องเหนียวพอเหมาะ ไม่ร่วนหรือแข็งกระด้าง
5. สิ่งแปลกปลอม	ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์
6. ความชื้น	ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
7. วัตถุเจือปนอาหาร	หากมีการใช้สี ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด
8. จุลินทรีย์	
8.1จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	ต้องไม่เกิน 1.10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
8.2 รา	ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไมโครเวฟ

การนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้ในการทำให้พองตัวจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งการทำให้พองตัวด้วยวิธีนี้ช่วยลดเวลาในการทำให้พองตัวได้ โดยการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟได้ถูกนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น ข้าวสาลี (Walde *et. al.*, 2002), ข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (Anderson and Guraya, 2006) ทั้งนี้ Khraisheh *et. al.* (2004) พบว่าการนำไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อปริมาณวิตามินซีเล็กน้อย และการหดตัวและการคืนตัวของอาหารประเภทแป้งหลังจากอบแห้งดีกว่าการใช้การอบแห้งแบบใช้เตาอบแบบธรรมดา ซึ่ง Rosen (1972) พบว่ารังสีเอกซ์และรังสีแกมม่าที่ได้ จากคลื่นไมโครเวฟในระหว่างการอบแห้งมีปริมาณที่ต่ำมากจึงไม่ส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร รวมถึงพันธะเคมี ซึ่งสอดคล้องกับ Gerster (1989) พบว่าคลื่นไมโครเวฟไม่ได้ส่งผลต่อวิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินซี วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาใช้ในอาหาร

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2539) ได้ให้คำจำกัดความว่า ไมโครเวฟ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง โดยความยาวและความถี่ของช่วงคลื่นไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 45 เซนติเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นระหว่าง 300 MHz ถึง 300 GHz โดยหน่วยงาน International Telecommunication Union (ITU) ได้กำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ของไมโครเวฟ 915 และ 2450 MHz สำหรับงานให้พลังงานความร้อนในระบบอุตสาหกรรมและการใช้งานในบ้านเรือน สาเหตุที่ช่วงคลื่นดังกล่าวนิยมใช้กันมากเนื่องจากการใช้เครื่องกำเนิดไมโครเวฟที่ความถี่เหล่านี้เป็นลำดับพลังงานที่ใช้ได้ดี และค่าใช้จ่ายเหมาะสม และความยาวคลื่นความถี่เหล่านี้สอดคล้องกับมิติของอาหาร จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงกว่าช่วงความถี่ที่สูงหรือต่ำกว่านี้

หลักการให้พลังงานความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะเกิดขึ้น แมกนีตรอนจะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นคลื่นไมโครเวฟ จากนั้นคลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้าสู่อาหารทุกทิศทางโดยรอบผนังเตาไมโครเวฟด้านในแล้วแผ่กระจายไปสู่อาหาร เมื่อคลื่นไปกระทบอาหาร ทำให้โมเลกุลหรืออนุภาคที่มีประจุ โดยเฉพาะสสารพวกโพลาร์โมเลกุล (polar molecule) เช่น น้ำ โปรตีน อิออนของเกลือ หรือสารที่มีประจุอื่นๆ เป็นต้น เนื่องจากไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมา เมื่อโมเลกุลของสสารเหล่านี้จัดเรียงตัวในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของไมโครเวฟโดยพยายามเรียงตัวตามแนวสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปมาของโมเลกุล ในการผลักกันระหว่างขั้วที่เหมือนกันทำให้เกิดการการสั่นและเสียดสีระหว่างโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหารและเป็นผลทำให้เกิดความร้อนขึ้น ไมโครเวฟจะทะลุทะลวงผ่านลงไปในอาหาร ซึ่งขณะที่ทะลุผ่านนั้น พลังงานจากไมโครเวฟจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวอาหารก่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

2.2.1.1 คลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านทะลุทะลวงผ่านวัตถุบางอย่างได้ (Transmittance) โดยคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุบางชนิดได้ โดยไม่มีการดูดกลับไป คุณสมบัติข้อนี้ทำให้คลื่นไมโครเวฟทะลุทะลวงผ่านภาชนะใส่อาหารและความร้อนที่เกิดขึ้นกับภาชนะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากอาหารสู่ภาชนะ

2.2.1.2 สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflection) โดยคลื่นไมโครเวฟมักสะท้อนกลับเมื่อพุ่งไปกระทบวัตถุประเภทโลหะซึ่งเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ดี คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อได้เปรียบของไมโครเวฟ ซึ่งไมโครเวฟจะสะท้อนจากด้านล่างและด้านข้างของไมโครเวฟทำให้สามารถซึมผ่านเข้าไปในอาหารจากทุกด้าน ทั้งด้านบนและด้านล่าง ซ้ายและขวา

2.2.1.3 สามารถถูกกลืนเข้าไปในอาหารได้ (Adsorption) คุณสมบัติข้อนี้ทำให้อาหารสุกได้ อาหารมีน้ำในอัตราค่อนข้างสูงเป็นส่วนที่ไมโครเวฟถูกกลืนเข้าไปได้ง่ายที่สุด

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อาหารในขณะให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2.2.2.1 ความถี่ของคลื่น ความถี่สำหรับไมโครเวฟมี 2 ความถี่ด้วยกัน คือ 915 และ 2450 MHz ซึ่งมีความยาวคลื่นในอากาศ 33 และ 12.2 เซนติเมตร ตามลำดับ คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำจะมีการทะลุผ่านชิ้นอาหารได้ดีกว่าและมีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนมากกว่าเมื่อใช้กับอาหารที่มีขนาดชิ้นเล็กๆ การเลือกความยาวคลื่นของไมโครเวฟที่จะใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการให้พลังงาน ซึ่งการเลือกความถี่ที่เหมาะสมควรพิจารณาจากความหนาของอาหารที่จะทำการแปรรูป ลักษณะและรูปร่างของอาหาร องค์ประกอบของอาหาร และขนาดของโรงงาน ซึ่งจะมีผลต่อกำลังของเครื่องมือที่ต้องการ (Schiffman, 1986)

2.2.2.2 กำลังของไมโครเวฟและอัตราเร็วในการให้ความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมใช้กำลังการผลิตอยู่ในช่วง 5-100 kW ซึ่งถ้าใช้กำลังมากก็จะให้ความร้อนได้รวดเร็วและใช้เวลาน้อยลง กำลังที่ใช้จึงเป็นตัวปรับอัตราเร็วในการให้ความร้อนกับอาหาร

2.2.2.3 ปริมาณอาหาร (Mass) สิ่งที่ควรพิจารณามี 2 ประการด้วยกัน คือ ปริมาณอาหารทั้งหมดที่ถูกให้ความร้อนภายในครั้งเดียวกัน และลักษณะแต่ละชิ้นอาหาร ซึ่งปริมาณอาหารทั้งหมดนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังของไมโครเวฟ เมื่อปริมาณอาหารมีจำนวนน้อย อาจทำเป็นแบบกะ (batch) แต่หากมีปริมาณอาหารจำนวนมากอาจใช้ระบบสายพาน ซึ่งระบบสายพานนี้จะให้ลักษณะการให้ความร้อนที่มีความสม่ำเสมอมาก

2.2.2.4 ความชื้นในอาหาร โดยน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับไมโครเวฟเนื่องจากน้ำมีค่าลอสแฟคเตอร์ (loss factor) สูง อาหารที่มีความชื้นสูงจึงเพิ่มอุณหภูมิได้รวดเร็ว

2.2.2.5 อุณหภูมิของอาหาร จะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงพลังงานและมีผลต่อสถานะขององค์ประกอบที่ดูดกลืนพลังงานได้ดีในอาหาร เช่น น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.6 รูปร่างของอาหาร โดยอาหารที่ขนาดใหญ่มาก หรือมีความหนามาก เมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่สูงเกินไป อาจทำให้ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปถึงกึ่งกลางชิ้นอาหารได้ ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั้งชิ้น ความสม่ำเสมอของรูปร่างก็มีผลต่อการให้ความร้อนเช่นเดียวกัน อาหารที่มีรูปร่างสม่ำเสมอจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าอาหารรูปร่างทรงกลมจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าอาหารที่มีเหลี่ยมมุม

2.2.2.7 การนำไฟฟ้า เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุในอาหาร จึงมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของอาหาร เมื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร เช่น เติมเกลือ หรือสารอื่นที่สามารถแตกตัวให้ประจุ จะทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้น

2.2.2.8 การนำความร้อนของอาหารในระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนในอาหารด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีอาหารชิ้นใหญ่หรือมีความหนามาก ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุเข้าไปถึงกึ่งกลางได้ แต่สำหรับอาหารชิ้นเล็กหรือมีความหนาไม่มาก การนำความร้อนจะมีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิมากนัก

2.2.2.9 ความร้อนจำเพาะของอาหาร ซึ่งจะมีความสำคัญในกรณีที่อาหารชนิดนั้นมีสัมประสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่ำ ความร้อนจำเพาะของอาหารจะมีผลต่ออัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ

การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง เช่น ช่วยลดระยะเวลาในการผลิต และสามารถทำได้รวดเร็วกว่าวิธีอบธรรมดา (Kalafat and Kroger, 1973) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ ช่วยลดปัญหาการไหม้ที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์เนื่องจากไม่มีการสัมผัสกับแผ่นความร้อนโดยตรง นอกจากนี้ไมโครเวฟที่มีขนาดเล็กจึงช่วยประหยัดพื้นที่ในโรงงาน (Martin and Tsen, 1981) เป็นต้น แต่การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟก็มีข้อจำกัดในการนำมาใช้งานเช่นกัน Rosenthal (1992) คือ

1) เนื่องจากการดูดซับคลื่นไมโครเวฟจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทาง electromagnetic ของอาหาร ในอาหารที่มีหลายองค์ประกอบจึงอาจมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอนัก การให้ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอนี้อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องมาจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ รูปร่าง และขนาด เป็นต้น

2) การลงทุนสูง เนื่องจากแมกเนตรอนซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญของไมโครเวฟมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวิธีการปกติ

3) เทคโนโลยีที่ใช้มีความซับซ้อน การดูแลรักษาเป็นเรื่องที่ยุ่งยากพอสมควรสำหรับบุคคลที่ไม่มีทักษะ

4) สำหรับการอบโดยใช้ไมโครเวฟ เวลาที่ให้ความร้อนอาจเร็วเกินไปที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์สุกอย่างเต็มที่ และอุณหภูมิที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์อาจสูงไม่พอที่จะทำให้เกิดสีน้ำตาล (brown) ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ขนมอบหรือเปลือกนอกขนมปัง (crust) จึงไม่สามารถใช้สำหรับการย่าง (grill) ได้ เป็นต้น

5) ต้องการความปลอดภัยที่แตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีปกติ

6) วิธีการควบคุมการขนถ่ายมวล (mass transport) ทำโดยการควบคุมกำลังที่ป้อน (power input) ตามต้องการ เมื่อมีการขนถ่ายมวลเร็วมาก การพองตัว (puffing) อย่างรวดเร็วอาจทำลายเนื้อสัมผัสของอาหารได้

2.3 การเตรียมและกระบวนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก

การเตรียมและกระบวนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกสามารถใช้ข้าวหรือแป้งข้าวเป็นวัตถุดิบการพองตัวของข้าวเป็นผลมาจากความร้อนและความดัน โดยความร้อนมีผลทำให้เกิดการสุก และไอน้ำในข้าวเกิดการขยายตัวในช่องว่างหรือรูของเมล็ดข้าวทำให้เกิดการพองตัว ซึ่งในช่วงการพองตัวน้ำจะระเหยออกไปทำให้เกิดการขยายตัวของปริมาตรจนทำให้เกิดการพองและมีความกรอบ เมื่อข้าวเกิดการพองตัวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดข้าวจากโครงสร้างที่มีการจัดเรียงตัวของสตาร์ช ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมอย่างอัดแน่นและเป็นเนื้อเดียวกันภายในเอนโดสเปิร์ม (Murugesan and Bhattachary, 1991) ไปเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนประกอบด้วยโพรงอากาศและส่วนที่เป็นช่องว่างที่มีรูปร่างทรงกลมหรือวงรีที่มีขนาดและการจัดเรียงตัวไม่แน่นอน

Villareal and Juliano (1987) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของข้าวที่ทำให้เกิดการพองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมันและการใช้เครื่อง gun puffing โดยการถ่ายภาพลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่า ข้าวเกิดการพองตัวด้วยเทคนิคทั้ง 2 นั่นมีลักษณะโรงสร้างเป็นรูพรุนที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวในตำแหน่งที่ไม่แน่นอนเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chandrasekhar and Chattopadhyay (1990) ที่ได้ศึกษาโครงสร้างภายในของข้าวพองที่ผลิตจากข้าวนึ่งและยังศึกษาถึงลักษณะการพองตัวของข้าวที่เวลาต่างกัน พบว่า ข้าวจะมีการพองตัวจากเซลล์ที่อยู่ด้านนอกของเอนโดสเปิร์มก่อนและเซลล์ที่อยู่ถัดไปด้านในจึงขยายตัวโดยตรงกลางเม็ดจะมีโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณอื่น

โดยทั่วไปกระบวนการทำให้ข้าวพองตัวมีหลายวิธีการที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.3.1 การทอดในน้ำมัน (Oil puffing)

การพองตัวโดยการทอดในน้ำมันเป็นวิธีที่มีความนิยมสูงที่ทำให้อาหารเกิดการพองตัว โดยการทอดเป็นการนำชิ้นอาหารใส่ลงในน้ำมันที่ร้อน ซึ่งเมื่ออาหารสัมผัสกับน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูงทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นน้ำบริเวณผิวหน้าอาหารจะเริ่มเดือดอย่างทันทีทันใด ทำให้น้ำมันบริเวณรอบๆ อาหารถูกทำให้เย็นลง เนื่องจากไอน้ำที่ระเหยออกมาจากอาหาร แต่อุณหภูมิของน้ำมันที่ลดลงนี้จะได้รับทดแทนจากการพาความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแหล่งความร้อนที่ให้มายังน้ำมัน ทำให้น้ำบริเวณผิวหน้าของอาหารเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำออกมาได้อีก ส่งผลให้ผิวหน้าของอาหารเกิดการแห้ง เนื่องจากการระเหยของน้ำจะค่อยๆ เคลื่อนที่เข้าไปด้านในของอาหารทำให้ผิวนอกมีลักษณะเป็นเปลือกแห้งหุ้มชิ้นอาหารไว้ ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนเท่าๆ กับน้ำมัน และการระเหยของน้ำจะทำให้บริเวณผิวอาหารเกิดเป็นรูพรุนและขรุขระ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีหลายชนิด ข้าวพองในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดี คือ ข้าวตอก ข้าวตังทอดขนมนางเล็ด และข้าวเกรียบต่างๆ โดยเมื่อส่วนผสมต่างๆ ผสมเข้ากันดี มีการจับตัวเป็นก้อนและอัดเป็นรูปร่างได้ นำไปนึ่งให้สุก ลดความชื้นให้เหลือ 8% ก่อนนำไปทอดให้พองตัวหรือเก็บไว้ทอดเมื่อต้องการรับประทาน

ส่วนการพองตัวโดยการทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นการทำให้อาหารพองโดยการทอดในน้ำมันที่มีปริมาณมาก โดยการจุ่มอาหารลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของชิ้นอาหารสูงขึ้นในขณะทอดทำให้ความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นอาหารเคลื่อนที่ออกมาจากชิ้นอาหารในรูปของไอน้ำ ส่งผลให้เกิดช่องว่างในอาหาร และน้ำมันที่อยู่รอบชิ้นอาหารจะแทรกซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่าง (Mellema, 2003) ซึ่งการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นกระบวนการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสาร การถ่ายโอนความร้อนในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันที่ร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร (Krokida *et. al.*, 2000) โดยเมื่อนำอาหารจุ่มลงในน้ำมันร้อนที่มีปริมาณมากจนท่วมชิ้นอาหาร ซึ่งอุณหภูมิในการทอดสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ ทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำจะระเหยออกกลายเป็นไอ โดยอาหารที่ทอดในอุณหภูมิสูงจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านนอกแห้งและกรอบ แต่ภายในมีลักษณะนุ่ม ทั้งนี้กลิ่นรสของอาหารทอดมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของอาหาร (Mellema, 2003)

Villareal and Juliano (1987) ได้ศึกษาการผลิตข้าวพองโดยการนำข้าวสารที่มีสายพันธุ์และปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน โดยมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 2.8-28.6 ที่ผ่านการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันสูงมาทำให้พองตัวด้วยการทอดในน้ำมันมะพร้าวอุณหภูมิ 210-220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-8 นาที พบว่า ข้าวมีอัตราการพองตัว 1.8-3.0 ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีการพองตัวมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เนื่องจากข้าวที่มีอะไมโลสสูงทำให้สตาร์ชมีส่วนโครงสร้างแบบผลึก (crystalline)ให้ความแข็งแรงมากจึงส่งผลให้มีการขยายตัวต่ำ ส่วนข้าวที่ผ่านการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันสูง (อุณหภูมิ 127 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) มีปริมาตรการขยายตัวสูงกว่าข้าวที่ผ่านการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันต่ำ (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดัน 0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เนื่องจากการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันสูงจะทำให้ starch granule ภายในเมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนเซชันมากขึ้นส่งผลให้ภายในเม็ดข้าวมีส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบผลึก ซึ่งขัดขวางการพองตัวน้อยลงจึงทำให้ข้าวเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพองตัวดีขึ้น และเมื่อวัดค่าความแข็งของข้าวพองพบว่า ข้าวพองมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1.1-1.6 กิโลกรัม

รูปที่ 2.1 ข้าวพองที่ทอดในน้ำมัน
ที่มา : กรมการข้าว, 2549

2.3.2 การคั่วกับทรายร้อน

การคั่วกับทรายร้อนเป็นกรรมวิธีการทำข้าวพองแบบดั้งเดิมในชนบทของอินเดีย ทำได้โดยการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำข้ามคืนเพื่อปรับความชื้นให้ได้ปริมาณ 13% คั่วกับทรายสะอาดที่มีอุณหภูมิ 240-250 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1:2 เป็นเวลา 22 วินาที ร่อนทรายออกแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ให้ความชื้นลดลง จากนั้นสีเอาเปลือกออกจะได้ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งแบบแห้ง และทำให้ข้าวนึ่งพองตัวโดยการคั่วในกะทะที่ไม่มีทรายอุณภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นพักไว้ 30 นาที คั่วซ้ำอีกครั้งด้วยทรายร้อนอุณภูมิ 240-250 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1:10 เป็นเวลา 11-13 วินาที ร่อนทรายออกจะได้ข้าวพองที่มีความชื้น 1-2% วิธีนี้เป็นวิธีที่มีกำลังการผลิตต่ำเพียง 2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอาจจะแยกทรายออกไม่หมด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2.3.3 การใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

Chandrasekhar and Chattopadhyay (1991) ได้ทดลองนำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำมาทำการนึ่งและอบแห้งจนมีความชื้นเหลือ 12-13% จากนั้นสีเอาเปลือกออก นำมานึ่งอีกครั้งโดยการใช้ความดัน 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร 20 นาที อบแห้ง ขัดสีเอาเปลือกออก นำมาทำให้เกิดการพองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวจะเกิดการพองตัวสมบูรณ์เมื่อใช้เวลา 11 วินาที ต่อมาได้พัฒนาเครื่องทำข้าวพองแบบตู้อบลมร้อนธรรมดาให้ภายในมีสายพานร้อนที่สั่นสะเทือนตลอดเวลา ข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วป้อนเข้าเครื่องบนสายพานที่มีลมร้อนเป่า ข้าวที่ผ่านการพองตัวแล้วจะลอยตัวเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำและถูกดูดออกไปจากตู้ เป็นวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ง่ายและข้าวพองที่ได้สะอาดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรายร้อน และ Antonio and Juliano (1973) ศึกษาการผลิตข้าวพองโดยการใช้ข้าวเปลือกนึ่งทำให้พองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16-20 วินาที พบว่าจะทำให้ข้าวมีอัตราการพองตัว 1.05-1.61 โดยข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยจะพองตัวได้ดีที่สุด และข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีอะไมโลสสูงสุดคืออร้อยละ 28 พองตัวได้น้อยที่สุด

2.3.4 การอัดแป้งไว้ระหว่างแผ่นโลหะร้อน

เป็นวิธีนำแป้งที่ผสมแล้วมาวางบนโลหะร้อน แล้วกดด้วยแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง การกดแผ่นโลหะทำให้เกิดแรงอัดลงบนแป้ง และแรงอัดจะมีมากขึ้นเมื่อน้ำในแผ่นแป้งกลายเป็นไอแทรกอยู่ในเนื้อแป้งนั้น เมื่อยกแผ่นโลหะบนออก ความดันไอน้ำจะลดลงทันที เนื่องจากได้ดันแป้งที่หลอมละลายให้พองตัวออกไป เมื่อไอน้ำระเหยไปหมดและอุณหภูมิของแป้งลดลงจะทำให้แป้งแข็งตัวและรักษารูปทรงไว้ได้ สำหรับการผลิตวิธีนี้ควรใช้แรงกด 100-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิระหว่าง 150-370 องศาเซลเซียส และกดนาน 1-30 วินาที ส่วนความชื้นที่เหมาะสม คือ ช่วง 8-16% หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับเอกซ์ทรูชั่น แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงดันและการเคลื่อนกลับของแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่นประกบกัน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ ได้แก่ rice cake ที่ผลิตด้วยเครื่อง rice cake machine โดยใช้สัดส่วนระหว่างข้าวกล้องเม็ดปานกลางกับข้าวสีดำ ในการผลิตสภาวะที่แตกต่างกัน แล้วได้ข้าวพองที่มีอัตราการขยายตัวสูง 15.2-17.9 และมีความแข็งอยู่ในช่วง 1.2-1.9 กิโลกรัม (Kim *et. al*., 2001)

รูปที่ 2.2 Rice cake
ที่มา : กรมการข้าว, 2549

การใช้โลหะร้อนภายใต้สูญญากาศ เริ่มจากการทำให้ข้าวอยู่ในสภาพเหนียวแข็งก่อน แล้วใส่ในตู้สูญญากาศเพื่อให้พองตัว โดยในขั้นแรกเตรียมสารละลายเข้มข้นจากน้ำตาล และขั้นที่สองเตรียมส่วนผสมของส่วนที่เป็นของแห้ง แล้วนำมาผสมกันทั้งหมด นวดเป็นก้อนเหนียวแข็ง นำไปรีดเป็นแผ่นและทำให้เย็น ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในตู้สูญญากาศ โดยวางไว้บนโลหะที่คงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ที่ 62 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเดินเครื่องสูญญากาศ และคงระดับไว้ที่ 29 นิ้ว แป้งจะพองตัวเป็นก้อนกลมและแห้งสนิท

2.3.5 การทำให้พองโดยใช้เครื่อง Gun Puffing

Luh (1991) กล่าวว่า Gun Puffing เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Gun) ภายในเป็นท่อสามารถหมุนได้ ภายในผนังท่อชั้นสุดท้ายจะเคลือบด้วยเหล็กกล้าเพื่อรองรับความดันที่สูงและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นเครื่องมือที่สามารถปลดปล่อยความดันได้อย่างรวดเร็ว วิธีนี้ทำได้โดยนำข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วเข้าเครื่อง ข้าวจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วในท่อที่ปิดสนิทภายในท่อมีความร้อนประมาณ 200-210 องศาเซลเซียส เวลา 3-5 นาที วาล์วนิรภัยจะเปิดออก ความดันภายในจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว และเมล็ดข้าวจะสัมผัสกับความดันที่ต่ำกว่าภายนอก เป็นผลให้เมล็ดข้าวพอง ข้าวจะมีอัตราการพองตัวสูงถึง 8.8-16.3 และ Lai and Cheng (2004) พบว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จากข้าวสายพันธุ์ TCN 70 (อะไมโลส 1%), TN 67 (อะไมโลส 20.3%) และ TCN 1 (อะไมโลส 32%) ทำให้พองตัวโดยวิธี gun puffing ให้ค่าอัตราส่วนการพองตัวกว่าแป้งข้าวเริ่มต้นที่ไม่ได้ทำให้พองตัว ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.00-9.00 และในงานของ Mariotti *et. al.*, (2006) ค่าความหนาแน่นของข้าวสาลี, ข้าวสาลีเอ็มเมอร์(emmer), ข้าวไรย์, ข้าวบาร์เล่ย์,ข้าวบัควีท (buckwheat) ที่พองตัวอยู่ในช่วง 72.2-164.0 กรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่อัตราส่วนการพองตัวหลังการทำให้พองตัวด้วย gun puffing ของข้าวมีค่าอยู่ในช่วง 5.3-11.0

รูปที่ 2.3 ข้าวพองด้วยเครื่อง gun puffing

ที่มา : Mariotti *et.al.*, 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การทำให้พองโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชั่น (Puffing by Extrusion)

การทำให้พองโดยวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์คล้ายกับอาหารขบเคี้ยว (snacks food) นำแป้งข้าวมาปรับความชื้นด้วยน้ำ หรือไอน้ำจนมีความชื้น 60-70% แป้งจะมีความเหนียว เมื่อป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะทำให้เกิดแรงเฉือนสูงมากภายในเกลียวสกรู และร่องที่ผนังด้านในของบาเรลทำให้เกิดความดันและความร้อนสูง แป้งจะถูกบดอัดและได้รับความร้อนสูงทำให้แป้งเปลี่ยนสภาพเป็นเจลหรือเกิดการสุก และเปลี่ยนสภาพจากผงแป้งเป็นของเหลวข้นหนืด และเมื่อผ่านออกมาทางรูเปิดหน้าแปลน (die) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ภายในระเหยกลายเป็นไอทันที ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีลักษณะสุกพองและกรอบ แต่ความชื้นสูงประมาณ 8-10% (Luh, 1991) เอกซ์ทรูชั่นจึงต้องนำไปผ่านขั้นตอนการลดความชื้น โดยการทอดในน้ำมันหรืออบ หลังจากนั้นนิยมนำผลิตภัณฑ์ไปเคลือบ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะเบา มีความหนาแน่นต่ำ มีความชื้นต่ำ (อภิญญา เจริญกุล, 2538) โดยมีทั้งชนิด single screw และ twin screws ซึ่งสามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ และยังเอื้ออำนวยต่อการเติมสารอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

วัชรี สุขวิวัฒน์ และสุนันทา วงศ์ปิยชน (2551) ศึกษาการทำข้าวพองจากข้าวกล้อง โดยใช้เครื่องอัดแรงดันสูง(Extruder) พบว่าเมื่อมีการเติมสาร $CaCo_3$, น้ำตาล และเกล็ดข้าวโพด ในอัตราร้อยละ 1, 5 และ 24 กรัมต่อแป้งข้าวกล้อง 100 กรัม และมีการลดขนาดวัตถุดิบ ให้มีความละเอียด 80-100 เมช จะสามารถทำข้าวพองได้จากข้าวทุกประเภท ทั้งกลุ่มอะไมโลสต่ำ (น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) ปานกลาง (20-25 เปอร์เซ็นต์) และสูง (มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์) ทำการเคลือบตัวข้าวพองก่อนทำการอัดเป็นแท่ง เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้ตัวข้าวพองมีการยุบตัวในขณะอัดแท่ง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ไม่กรอบ และเหนียว ในการเคลือบตัวข้าวพอง จากนั้นพัฒนาเป็นข้าวพองอัดแท่ง โดยการเติมธัญพืชต่างๆ นำวัตถุดิบเหล่านี้อบที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำวัตถุดิบที่อบแล้วมาผสมกับสารให้กลิ่นรส และช่วยในการยึดเกาะ แล้วทำการอัดแท่ง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ก่อนการบรรจุ ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่ง

รูปที่ 2.4 ข้าวพองอัดแท่งด้วยเครื่องเอกซ์ทรูชั่น
ที่มา : กรมการข้าว, 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 การพองด้วยการย่างบนความร้อน (Baking)

เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับแป้งสุกผงที่ทำจากพืชหัวหรือพืชอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ญี่ปุ่นได้นำเอาวิธีนี้ไปทำผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อะราเร่ (Arare) ที่ทำมาจากข้าวเหนียว และเซนเบ่ (Senbei) ที่ทำมาจากข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ โดยส่วนผสมมีความชื้นไม่เกิน 25% นำมาตัดเป็นแท่งหรือรูปกลมด้วยเครื่องแรงอัดสูง นำไปอบที่อุณหภูมิ 150-260 องศาเซลเซียส นาน 3-15 นาที

รูปที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์อะราเร่ และเซนเบ่
ที่มา : กรมการข้าว, 2549

2.3.8 การใช้ไมโครเวฟ

การพองตัวโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ น้ำที่ใส่ลงไปนั้นจะต้องกระจายตัวสม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นควรควบคุมในเกณฑ์ 12-26 % โดยน้ำหนัก เมื่อนำเข้าไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในส่วนผสมจะระเหยออกไปทันที และทำให้แป้งพองตัว

ในงานของ ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์ (2545) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกด้วยไมโครเวฟ โดยการศึกษาที่ระดับความชื้น (10, 15 และ 20%) ความเข้มข้นของเกลือ (0 และ 2%) ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง (30 และ 50 กรัม) และเวลาที่ใช้ในการพองตัว (2 และ 3 นาที) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ สภาวะที่ความชื้นของข้าวเปลือก 15% ความเข้มข้นของเกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัม และใช้เวลาในการพองตัว 3 นาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้คุณภาพในการพองตัวของข้าวพองในด้านปริมาณผลผลิตสูงถึง 57.51% และอัตราส่วนการพองตัวที่ได้สูงถึง 2.94 พร้อมทั้งสามารถผลิตได้ต่อครั้งในปริมาณสูงถึง 50 กรัม แม้ว่าจะมีค่า bulk density ในระดับปานกลาง 0.11 กรัมต่อมิลลิลิตร และสภาวะดังกล่าวไม่พบส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง ต่อมาในงานของวิจิตรา เหลียวตระกูล (2546) ศึกษาการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟโดยปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟ ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว ซึ่งมีผลต่อความพอง เมื่อใช้แป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14 เป็นร้อยละ 20.5 จะทำให้ความพองตัวลดลงจาก 0.85 เป็น 0.65 และปริมาณที่เหมาะสมของแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอลต์สกัดและเลซิทิน คือร้อยละ 14, 3.5 และ 0.3 ตามลำดับ และยังพบว่าปริมาณอะไมโลสมีผลต่อความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบ โดยอะไมโลสที่ร้อยละ 20.98 จะให้แผ่นข้าวอบกรอบที่มีความกรอบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

Maisont and Narkrugsa (2009) ได้ศึกษาข้าวเปลือกทั้งหมด 10 สายพันธุ์ ทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่ปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อศึกษาผลของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการเกี่ยวกับคุณภาพของข้าวพอง (ผลผลิตที่ได้ ปริมาตรการขยายตัว อัตราการขยายตัว และความหนาแน่น) โดยใช้ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz และพลังงานที่ 800 วัตต์ พบว่า ปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 5.58-21.24 % ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับคุณสมบัติทั้งหมดของข้าวพอง : ผลผลิตที่ได้ ($r = -0.95^{**}$) ปริมาตรการขยายตัว ($r = -0.82^{**}$) อัตราการขยายตัว ($r = -0.79^{**}$) และความหนาแน่น ($r = -0.78^{**}$) โดยเวลาเริ่มต้นของการพองตัวมีสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตที่ได้ ($r = -0.67^{*}$) สำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณอะไมโลสมีผลต่อคุณภาพของข้าวพองที่ได้ จะให้ค่าปริมาณผลผลิต ปริมาตรการขยายตัว อัตราการขยายตัว และค่าความหนาแน่น 0.91, 0.67, 0.62 และ 0.61 ตามลำดับ และข้าวเปลือกที่มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการพองตัวโดยความร้อนจากไมโครเวฟ คือ มีอะไมโลสต่ำ และเวลาพองที่เริ่มต้นได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่องซึ่งจะพบในข้าวพันธุ์ RD 6, RD 10 และ NSPT ต่อมา Aylin (2014) พบว่าข้าวบาร์เล่ย์ก่อนทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟให้ความหนาแน่นเท่ากับ 1.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าข้าวบาร์เล่ย์ที่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ ซึ่งมีอยู่ในช่วง 0.24-0.44 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

รูปที่ 2.6 ข้าวบาร์เล่ย์ที่ทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ

ที่มา : Aylin, 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

2.4.1 ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำให้พองตัว

Murugesan and Bhattacharya (1991) กล่าวว่า ความชื้นของข้าวก่อนนำมาทำให้เกิดการพองตัวมีความสำคัญต่อคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก ถ้าข้าวมีความชื้นต่ำเกินไปจะพองตัวได้น้อย เนื่องจากความดันไอไม่เพียงพอ และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไปก็จะทำให้คุณภาพการพองตัวของเมล็ดต่ำเช่นกัน เนื่องจากที่ความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้นจนทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกแคบลงทำให้บริเวณผิวของเมล็ดข้าวสัมผัสกับความร้อนมาก น้ำบริเวณผิวเมล็ดจะระเหยไปโดยเร็วทำให้เกิดขอบแข็งขึ้นจนทำให้การพองตัวเป็นไปได้ยาก ปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้จึงมีแนวโน้มต่ำลง และนอกจากนี้ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัวอาจไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลาติไนซ์ ทำให้ข้าวมีความสามารถในการพองตัวลดลงเมื่อมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น (Srinivas and Desikachar, 1973) ดังนั้นจึงต้องหาความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้ข้าวมีคุณภาพการพองตัวสูง โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมของข้าวอยู่ในช่วง 13.5-14.5% เช่นเดียวกับรายงานของ Hsieh *et. al.*, (1989) ที่ได้ทดลองใช้ข้าวที่มีความชื้น 14, 16, 18 และ 20% ทำให้พองตัวโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าข้าวพองตัวได้ดีเมื่อมีความชื้น 14% แต่ในงานวิจัยของ ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์ (2545) กล่าวว่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวด้วยไมโครเวฟเท่ากับ 15% นอกจากนี้ Huff *et al.*, (1991) ยังพบว่า ความชื้นนอกจากมีผลต่อปริมาตรแล้วยังมีผลต่อสีของข้าวพอง เมื่อทดลองใช้ข้าวที่มีความชื้น 14, 16 และ 18% พบว่าข้าวที่มีการพองตัวน้อยจะมีสีขาวและสว่างกว่า เนื่องจากการพองตัวของข้าวเกิดจากข้าวมีความเป็นรูพรุนสูง มีช่องว่างเล็กๆ จำนวนมากในข้าวแต่ละเมล็ด ดังนั้นข้าวที่มีการพองตัวสูงค่าความสว่างที่วัดได้จึงน้อยเนื่องจากความสามารถในการทะลุผ่านของแสง

นอกจากนี้ Chinnaswamy and Hanna (1988) ได้ศึกษาผลของความชื้นต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่า อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวโพด จะเพิ่มขึ้นจาก 7.5 เป็น 14.2 เมื่อความชื้นของแป้งลดลงจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 14 ของน้ำหนักแห้ง และเมื่อลดความชื้นลงไปอัตราการพองตัวของแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความชื้นต่ำทำให้วัตถุดิบภายในเครื่องเกิดแรงเสียดทานสูง วัตถุดิบไม่สามารถไหลผ่านสกรูไปได้โดยง่าย ทำให้แรงเฉือนเพิ่มขึ้น และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่องนานขึ้นซึ่งมีผลทำให้การเกิดเจลาติไนซ์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้เกิดแรงเฉือนและเวลาที่อยู่ในเครื่องมากเกินไปอุณหภูมิของแป้งสูงขึ้น ในสภาวะเช่นนี้แป้งจะถูกทำลาย และเกิดเป็นโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งทำให้การพองตัวของแป้งลดลงโดยจะเห็นได้จากแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 6 เมื่อผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะของแป้งโมเลกุลเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 อุณหภูมิ

การพองตัวของเมล็ดข้าวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัวเหมาะสมที่จะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวระเหยกลายเป็นไอเกิดความดันขยายตัวดันโครงสร้างของเมล็ดข้าวให้พองตัวใหญ่ขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการพองตัวของข้าวจะใช้อุณหภูมิประมาณ 200-270 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้กระบวนการพองตัวเพิ่มขึ้นด้วย (Huff *et. al.*, 1991) และจากงานของ Murugesan and Bhattacharya (1986) พบว่า อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปอาจทำให้ข้าวไม่พองหรือพองตัวน้อยลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวก็ต่ำเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพอง ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพองตัวของข้าวจะเป็นอุณหภูมิที่ข้าวมีการพองตัวสูงเมื่อใช้วิธีการผลิตเดียวกันและข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ในขณะที่ Chinnaswamy and Bhattacharya (1983) ทำข้าวพองจากข้าวเปลือกนึ่งแล้วคั่วกับทรายร้อนที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที พบว่าข้าวมีอัตราการพองตัวสูงขึ้นตามลำดับ คือ 4.9, 5.3 และ 6.2

2.4.3 ระยะเวลาของการพองตัว

เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการดูดซับน้ำนานขึ้น มีผลต่อการพองตัวของข้าวเช่นเดียวกับอุณหภูมิ (Huff *et. al.*, 1991) เมล็ดข้าวที่ดูดน้ำและพองตัวเต็มที่ เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกความร้อนจะทำให้เมล็ดแป้งแตกออกเป็นผลให้อัตราการพองตัวลดลง (Chandrasekhar and Chattopahyay, 1991) และจากในรายงานของ Chinnaswamy and Bhattacharya (1983) ยังพบว่าสภาวะที่เหมาะในการพองตัวนั้นจะให้ความร้อนที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-11 นาที ข้าวนึ่งที่ให้ความร้อนที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จะให้การพองตัวที่ดีที่สุด การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งหลังการนึ่งจะลดการพองตัว อีกทั้งการขัดสีจะทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าว การเติมเกลือในการแช่ข้าวนึ่งที่สีแล้วก่อนการพองตัวจะช่วยเพิ่มการพองตัว

2.4.4 การเติมเกลือ

Chinnaswamy and Bhattacharya (1983) พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถเพิ่มการขยายตัวของข้าวได้ ช่วยให้อัตราการพองตัวของข้าวเพิ่มขึ้น และในงานของ Murugesan and Bhattacharya (1986) ได้ศึกษาว่าเกลือจะมีผลต่อการพองตัวของข้าวหรือไม่ โดยแช่ข้าวเปลือกในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ นาน 3 วัน จากนั้นนำข้าวไปปรับความชื้น และทำให้พอง โดยพบว่าเกลือจะช่วยเพิ่มคุณภาพการพองตัวของข้าว และในขณะเดียวกันก็จะมีผลทำให้ความชื้นที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวเปลี่ยนจาก 14% เมื่อไม่มีเกลือ เป็น 17% เมื่อเติมเกลือความเข้มข้น 2% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม และนอกจากเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลืออื่นๆ เช่น $CaCl_2$ ก็สามารถเพิ่มอัตราส่วนการพองตัวของข้าวได้เช่นเดียวกัน ส่วนมาลี ซิ้มศรีสกุล (2534) พบว่าปริมาตรการพองตัวจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้น เกลือและอุณหภูมิ ความชื้นและอุณหภูมิ สภาวะที่ให้ปริมาตรการพองตัวของข้าวพองสูงถึง 8.96 มิลลิลิตรต่อกรัม คือ การปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเป็น 13% และอุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัว คือ 250 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง hot air puffing

กษมา ขัธโถค และวรางคณา จุลลวาทีเลิศ (2545) กล่าวว่า การนำเอาเมล็ดข้าวเปลือกมาแช่ในสารละลาย NaCl 2% จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแตกตัวของข้าวตอกให้พองได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้าแช่นานเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการแตกตัวของข้าวตอกลดต่ำลง สารละลาย NaCl 2% จะช่วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ด และ endosperm มีความอ่อนนุ่มขึ้น เมล็ดข้าวเปลือกที่ได้รับความร้อนที่เหมาะสม น้ำจะกลายเป็นไอและความดันไอจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ด และเอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) ขยายตัวและระเบิดออก นอกจากนี้ Maisont and Narkrugsa (2009) ยังพบว่าข้าวเปลือกที่แช่ในสารละลายเกลือ 2% จะให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวเปลือกที่แช่ในน้ำ โดยปริมาณความชื้นสูงและกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่กำลังสูงๆ จะสามารถให้ผลผลิตและปริมาตรการพองตัวของข้าวพองสูงตามไปด้วย โดยสภาวะที่ให้ผลผลิตที่ได้และปริมาตรการพองตัวสูงเท่ากับ 53.82-63.53% และ 7.72-11.23 มิลลิลิตรต่อกรัม คือ ข้าวเปลือกที่แช่สารละลายเกลือ 2% และพองตัวที่กำลังไมโครเวฟ 700 หรือ 800 วัตต์ และในงานของ Hoke, Housova and Houskam (2007) ได้ศึกษาขั้นตอนการเตรียมข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัวและสภาวะในการพองตัวด้วย 3 วิธี คือ การอบแห้ง, การใช้ไมโครเวฟ และ gun-puffing พบว่า ความชื้นที่เหมาะสมต่อการพองตัวคือ 10.5-14% การเพิ่มขึ้นของอัตราการขยายตัว โดยเกลือจะช่วยเพิ่มคุณภาพการพองตัวของข้าว หรือแอลกอฮอล์จากการเตรียมข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัว โดยแช่ข้าวในสารละลายเกลือ แล้วอบแห้งจนได้ความชื้นที่เหมาะสำหรับการพองตัว

2.4.5 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในเมล็ดข้าว ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณ 90% แบ่งเป็น อะไมโลส และอะไมโลเพกทิน ในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป Chinnaswany and Bhattacharya (1983) ตรวจสอบการพองตัวของข้าว 35 ชนิดประกอบด้วยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 5-32 พบว่าข้าวที่มีอะไมโลสสูงร้อยละ 27 จะมีอัตราการพองตัวเกิดขึ้นสูงสุด สอดคล้องกับ Chardraekhar and Chattopadhyah (1991) ใช้ข้าวเจ้า 12 พันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 13.95-31.55 ทำให้พองโดยการใช้ตู้อบลมร้อน พบว่าพันธุ์ข้าวที่พองตัวดีที่สุดมีปริมาณอะไมโลสอยู่ร้อยละ 28.5

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2545) ศึกษาปัจจัยของพันธุ์ข้าวที่มีต่อการพองตัวของข้าว โดยใช้ข้าวสาร 5 สายพันธุ์ โดยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีระดับอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ18.27) พันธุ์ดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยอมมีอะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 26.61) และพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง เล็บนกปัตตานี และ KGTLK 79133/31/2 มีอะไมโลสสูง (ร้อยละ 30.89, 31.24 และ 32.12) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวโดยวิธีการทอดของข้าวสารที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ปริมาณความชื้นร้อยละ 12 และอุณหภูมิที่ใช้ทอด 200 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงสุดประมาณ 5.35 เท่า การที่อัตราการพองตัวสูงจะมีผลต่อค่าความกรอบเพิ่มขึ้น มีความขาวเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนลดลง และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวสารเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ Maisont and Narkrugsa (2009) ยังพบว่าคุณภาพของการพองตัวของข้าวพองที่ผ่านการเพาะงอกลดลง เมื่อเวลาการเพาะงอกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เวลาการเพาะงอก 48 และ 60 ชั่วโมง ผลผลิตข้าวพองทั้งหมด ผลผลิตข้าวพองบานเต็มที่ ปริมาตรการพองตัว ค่าความแข็ง และค่า L* มีค่าลดลง โดยข้าวที่ผ่านการเพาะงอกแล้วทำให้พองตัวให้ผลผลิตทั้งหมดลดลงจาก 60% เป็น 40% เมื่อใช้เวลาในการเพาะงอกเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน ปริมาตรการพองตัวลดลงจาก 8 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็น 4.5 มิลลิลิตรต่อกรัม เมื่อใช้เวลาในการเพาะงอกเพิ่มขึ้น และกนกกาญจน์ ปานจันทร์ (2554) ที่พบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 มีอัตราส่วนการพองตัวมากที่สุด และยังพบว่ากระบวนการทำข้าวให้เริ่มงอกร่วมกับกระบวนการผลิตข้าวนึ่งมีผลทำให้การพองตัวของข้าวนึ่งกล้องจากข้าวเปลือกเริ่มงอกมีอัตราส่วนการพองตัวเพิ่มขึ้น และยังพบว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีปริมาณอะไมโลเพกตินต่ำจึงพองตัวได้น้อย เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีความสามารถในการพองตัวมากกว่าอะไมโลส (Juliano *et. al.*, 1971) ในเวลาต่อมา ประภัสสร เจริญกิจ (2555) ที่พบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเหนียวมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอด 18.37 มิลลิลิตรต่อกรัม ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอด 10.37 มิลลิลิตรต่อกรัม และยังพบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเหนียวมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอดได้ดีกว่าข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุง ทั้งนี้ในข้าวเหนียวประกอบด้วยอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ โดยเมล็ดข้าวที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงจะพองตัวได้ดีกว่าข้าวที่มีอะไมโลสสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเตรียมและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง

คุณสมบัติการพองตัวและการละลายของแป้งจะเปลี่ยนไปเมื่อมีการดัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ จะทำให้เกิดการแตกออกของพันธะภายในร่างแห ทำให้เม็ดแป้งกระจายออกเป็นชิ้นเล็กๆ การละลายและการพองตัวสูงขึ้น ขนาดของเม็ดแป้งและปริมาณอะไมโลสก็มีส่วนสำคัญต่อความหนืด คือ ขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่ ย่อมมีกำลังการพองตัวสูงและให้ความหนืดสูงสุดที่สูง นอกจากนี้ปริมาณอะไมโลสมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน ถ้าแป้งชนิดใดมีปริมาณอะไลโลสสูงย่อมแสดงค่าความหนืดสุดท้ายสูงเช่นกัน หรือถ้ามีการใช้ความร้อนสูงหรือมีการใช้แรงกลมากจะทำให้เม็ดแป้งแตกและค่าความหนืดลดลง นอกจากนี้ปริมาณและขนาดอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง ในการกวนหรือการผสมแป้งเปียก แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะตัดเม็ดแป้งที่พองตัวบางส่วนทำให้ความหนืดของแป้งลดลง เช่นเดียวกับในงานของ Hagenimana *et. al.* (2006) ที่พบว่าแป้งข้าวที่ได้จากการอัดพอง (extruded) จะให้ค่าความหนืดสูงสุดต่ำ ซึ่งค่าอยู่ในช่วง 27-59 BU เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ได้จากการอัดพอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 212 BU

Mariotti *et. al.*, (2006) ได้ศึกษาผลของการพองตัวที่มีต่อโครงสร้าง (ultrastructure) และลักษณะทางกายภาพของข้าวและแป้งข้าว โดยใช้ข้าวเริ่มต้นกับข้าวที่พองตัวคือ ข้าวสาลี, ข้าวสาลีเอ็มเมอร์ (emmer wheat), ข้าวไรย์, ข้าวบาร์เล่ย์, ข้าว และข้าวบัควีท (buckwheat) แล้วทำให้พองตัวด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน 1.3-1.5 MPa นาน 75-85 วินาที จากนั้นนำข้าวเริ่มต้นกับข้าวที่พองตัวแล้วนำไปบดละเอียด (น้อยกว่า 500 ไมครอน) จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นของแป้งข้าวเริ่มต้นอยู่ในช่วง 622.8-903.2 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแป้งข้าวจะให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุด ในขณะที่แป้งข้าวที่พองตัวมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 149.4-439.6 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งข้าวเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2.0-2.5% ในขณะที่แป้งข้าวที่พองตัวค่าความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 4.4-6.5% และค่าความสามารถในการละลายน้ำของแป้งข้าวเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.8-9.5% ในขณะที่แป้งข้าวที่พองตัวค่าความสามารถในการละลายน้ำอยู่ในช่วง 7.5-30.2% ซึ่งแป้งข้าวเริ่มต้นและแป้งข้าวที่พองตัวจะให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด เช่นเดียวกับ Aylin (2014) พบว่าค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวบาร์เล่ย์อยู่ในช่วง 2.5-8.1% หลังจากที่ทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟแล้วค่าความสามารถในการดูดซับน้ำกลับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้างและรูพรุนของผนังเซลล์ของแป้งแต่ละชนิด โดยแป้งดิบหรือแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟมีโครงสร้างโมเลกุลของผนังเซลล์จับตัวกันแน่น และผนังเซลล์มีรูพรุนน้อย จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ โดยผลจากความร้อนมีผลทำให้เกิดการสุก และไอน้ำในข้าวทำให้เกิดการขยายตัวในช่องว่างหรือรูของเมล็ดข้าว (Hsieh *et. al.*, 1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maisont and Narkrugsa (2009) ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่เพาะงอกแล้ว พบว่า ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่เพาะงอกแล้วมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ได้เพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเพาะงอกของข้าวเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่เพาะงอกมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 8-11% ส่วนความสามารถในการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 14-17%

Sharma *et. al.* (2011) เปรียบเทียบอิทธิผลของการคั่วด้วยทรายร้อนกับการใช้ไมโครเวฟที่มีต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของข้าวบาร์เล่ย์ โดยทำการเตรียมแป้งข้าวบาร์เล่ย์พองด้วยวิธีการคั่วด้วยทรายร้อน โดยนำข้าวเปลือกบาร์เล่ย์คั่วกับทรายร้อนที่ 280 องศาเซลเซียส นาน 20 วินาที ส่วนการเตรียมแป้งข้าวบาร์เล่ย์พองด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ นาน 120 วินาที จากนั้นนำข้าวบาร์เล่ย์พองที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาบดละเอียด แล้วนำมาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน จากการศึกษาพบว่าการใช้ไมโครเวฟนั้นจะให้ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 19.3-34.2% ซึ่งจะลดลงน้อยกว่าการการคั่วด้วยทรายร้อนที่ให้ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 47.8-59.1% ส่วนค่าการพองตัว (Puffing Index) ของข้าวบาร์เล่ย์ที่คั่วด้วยทรายร้อนอยู่ในช่วง 1.9-2.4 ซึ่งจะให้ค่าสูงกว่าการใช้ไมโครเวฟที่อยู่ในช่วง 1.2-1.5 นอกจากนี้ยังพบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของการคั่วด้วยทรายร้อนกับการใช้ไมโครเวฟอยู่ในช่วง 27.4-39.8% และ 23.2-34.1% ตามลำดับ Rose *et. al.* (2008) พบว่า การให้ความร้อนโดยใช้ ไมโครเวฟที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 30-120 วินาทีจะไม่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 91.9-94.8% และในงานของ ศศิวิมล จิตรากร และคณะ (2553) จากการศึกษาความคงตัวของรำข้าว พบว่า รำละเอียดจะมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ารำหยาบทั้งที่ผ่านความร้อนโดยไมโครเวฟและการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรำละเอียดและรำหยาบอยู่ในช่วง 64.48-67.30% และ 8.19-16.38% ตามลำดับ โดยในรำหยาบจะมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ผ่านความร้อนโดยไมโครเวฟสูงกว่าวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 วัตถุดิบ

โดยข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบทั้งหมดได้เก็บเกี่ยวในช่วงกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม 2554 และเก็บตัวอย่างไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 - 15 องศาเซลเซียส

3.1.1 ข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 (RD6) มีปริมาณอะไมโลส 2.80% และมีความชื้นเริ่มต้น 10.23% จากเกษตรกรในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

3.1.2 ข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 (Thai Hom Mali 105, THM105) มีปริมาณอะไมโลส 11.69% และมีความชื้นเริ่มต้น 12.58% จากเกษตรกรในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

3.1.3 ข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยด (Sang Yod Pattalung, SYP) มีปริมาณอะไมโลส 8.03% และมีความชื้นเริ่มต้น 9.40% จากเกษตรกรในตำบลมะกอกเหนือ อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องปิดผนึกด้วยสุญญากาศ (NZ400N, Thailand)

3.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบ (Mettler, PB3002-L, Switzerland)

3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler, ML204, Switzerland)

3.2.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Binder FED 53, USA)

3.2.5 ตู้ไมโครเวฟ ความถี่ 2,450 MH_Z (SAMSUNG, Model M1712N, Thailand)

3.2.6 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray Dryer) (B.W.S-3, Thailand)

3.2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (Infrared thermometer) (Chino, Japan)

3.2.8 เครื่องสีข้าว (ทองทวี, รุ่น NW 1000 Terbo, ประเทศไทย)

3.2.9 เครื่องบดแบบละเอียด (pin mill) (Retsch, ZM100, Germany)

3.2.10 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง Spectrophotometer (Shimadzu, UV-1601, Japan)

3.2.11 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Beckman Coulter, USA.)

3.2.12 เครื่องบดแบบหยาบ (hammer mill) (Philip-Cucina, Indonesia)

3.2.13 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (Memmert, WNB 7-45, Germany)

3.2.14 เครื่อง Vortex mixer (Scientific Industries, G560E, USA)

3.2.15 เครื่องวัดความชื้น Halogen Moisture Analyzer (Mettler HR 73, Switzerland)

3.2.16 เครื่องวิเคราะห์ค่าความหนืด Rapid Visco Analyser (RVA Super 3, Australia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

3.3.1 Amylose from potato (Sigma, USA)

3.3.2 Ethanol 95% (Italmar, Thailand)

3.3.3 Sodium hydroxide (Ajax Finechem, Australia)

3.3.4 Acetic acid (Merck, Germany)

3.3.5 TPTZ (2,4,6-tripyridyl-S-trizine, Sigma, USA)

3.3.6 Hydrochloric acid (Merck, Germany)

3.3.7 DPPH (2,2-Diphyl-l-picryl-hydrazyl, Merck, Germany)

3.3.8 Methanol (Merck, Germany)

3.3.9 Glacial acetic acid (Sigma, USA)

3.3.10 Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxyl acid,Sigma, USA)

3.4 สถานที่ดำเนินการทดลอง

3.4.1 ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร อาคารเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

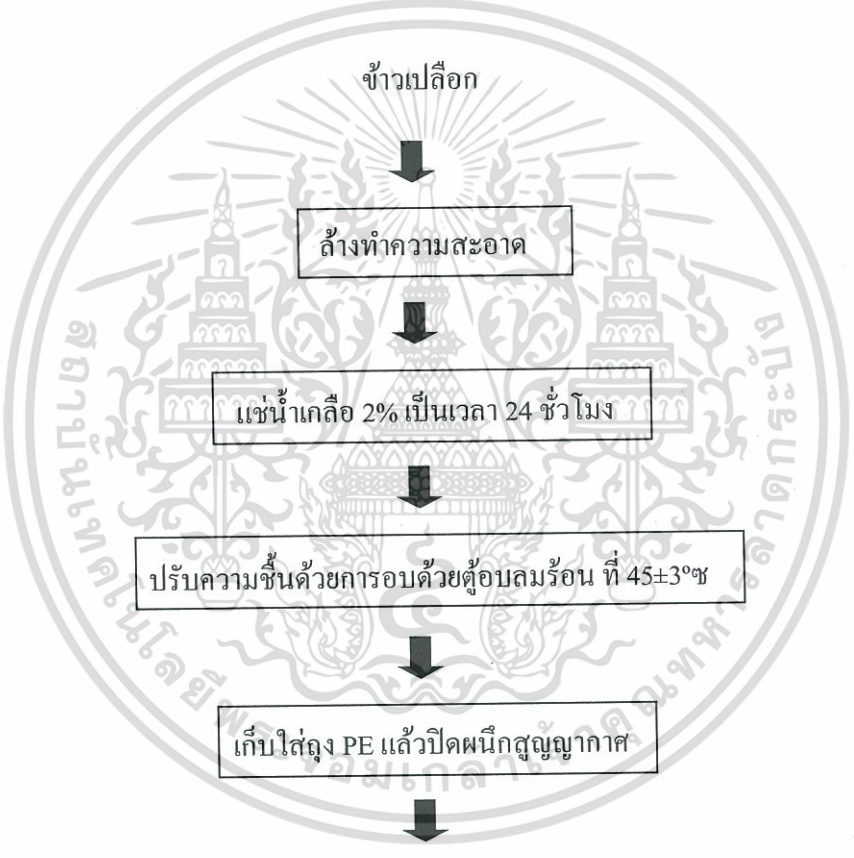
3.4.2 ตึก Processing คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

นำข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์ คือ คือ กข 6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงมาล้างทำความสะอาดและเอาสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้นนำมาแช่ในน้ำเกลือ 2% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาปรับความชื้นด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45±3 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นที่ 18% ,14% และ 10% ตามลำดับ โดยการตรวจวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบฮาโลเจน (Halogen Moisture Analyzer) จากนั้นนำไปบรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) แล้วปิดผนึกให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสูญญากาศ ซึ่งกระบวนการเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกได้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกก่อนนำไปพองด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ขั้นตอนการพองตัวด้วยไมโครเวฟ ดังนี้

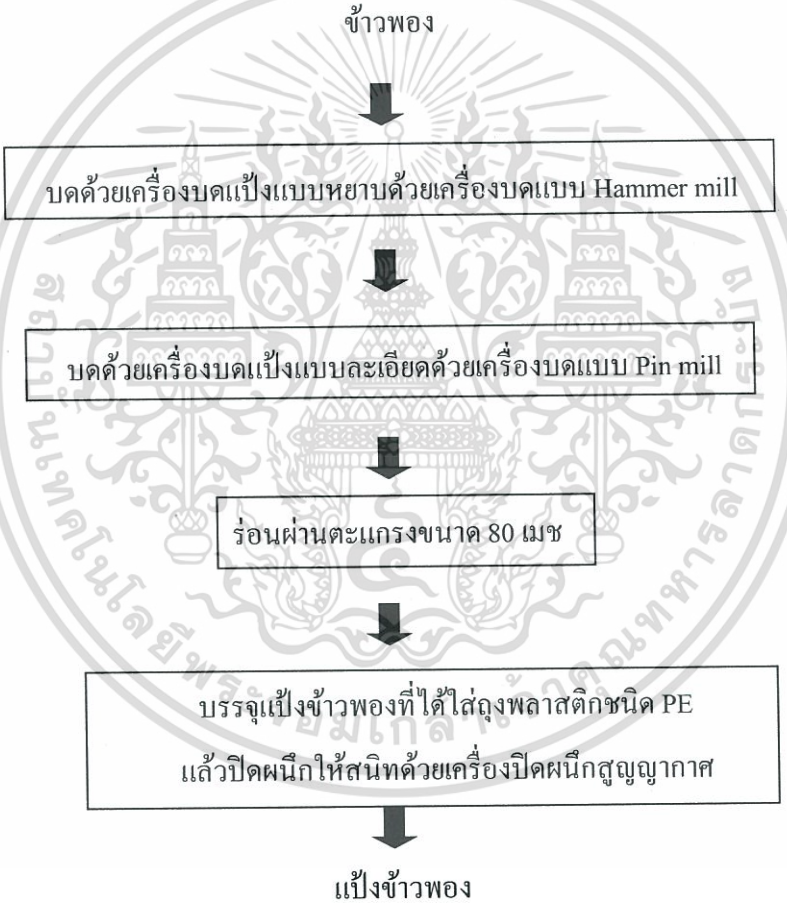
นำข้าวเปลือกที่ผ่านการปรับความชื้นจาก 3.5.1 มาชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก 30 กรัมใส่ในถุงกระดาษคราฟท์ ขนาด 16x30 ซม. แล้วนำไปวางตรงกลางของตู้ไมโครเวฟ (Samsung, Model M1712N, Thailand) จากนั้นให้กำลังไฟฟ้าที่ 600 ,700 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1 ,1.5 และ 2 นาที ตามลำดับ รอนำไปตรวจสอบคุณลักษณะการพองตัวต่อไป ซึ่งกระบวนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกได้แสดงดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวพอง

นำข้าวพองที่เลือกจากสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองจากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว ส่วนเปลือก (แกลบ) และไม่พบส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพองมาบดด้วยเครื่องบดแป้งแบบหยาบ (Hammer mill) จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดแป้งแบบละเอียด (Pin mill) และนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุแป้งข้าวพองที่ได้ใส่ถุง PE แล้วปิดผนึกให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสูญญากาศ เพื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป ซึ่งกระบวนการเตรียมแป้งข้าวพองจากข้าวเปลือกแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังกระบวนการผลิตแป้งข้าวพองจากข้าวเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ศึกษาปัจจัยในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial in Completely Randomized Design) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำให้พองตัว มี 3 ระดับ คือ 10%, 14% และ 18%

ปัจจัยที่ 2 กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ มี 3 ระดับ คือ 600 , 700 และ 800 วัตต์

ปัจจัยที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการพองตัว มี 3 ระดับ คือ 1 , 1.5 และ 2 นาที

3.6 การตรวจสอบปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง

โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว ส่วนเปลือก (แกลบ) และส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพองออก แล้วนำมาตรวจสอบค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.6.1 ปริมาณผลผลิต (yield, %) จะเป็นการคำนวณจากน้ำหนักของข้าวพอง(กรัม)แล้วหารด้วยน้ำหนักของข้าวเปลือกทั้งหมด(กรัม)ในแต่ละสภาวะ

$$\text{ปริมาณผลผลิต (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวพอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก (กรัม)}} \times 100$$

3.6.2 ปริมาตรการพองตัว (Expansion volume) เป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของข้าวพอง(มิลลิลิตร) ที่ได้แต่ละสภาวะกับน้ำหนักของข้าวพอง (กรัม)โดยปริมาตรของข้าวพองนั้นใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ภาคผนวก)

$$\text{ปริมาตรการพองตัว} = \frac{\text{ปริมาตรข้าวพอง (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักข้าวพอง (กรัม)}}$$

3.6.3 อัตราส่วนการพองตัว (Expansion ratio) เป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของข้าวพอง (มิลลิลิตร) แล้วหารด้วยปริมาตรของข้าวเปลือก (มิลลิลิตร) โดยปริมาตรของข้าวพองและปริมาตรของข้าวเปลือกใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ภาคผนวก)

$$\text{อัตราส่วนการพองตัว} = \frac{\text{ปริมาตรข้าวพอง (มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรข้าวเปลือก (มิลลิลิตร)}}$$

3.6.4 ความหนาแน่น (Bulk density) จะเป็นการคำนวณจากน้ำหนักของข้าวพองหาร (กรัม) ด้วยปริมาตรของข้าวพอง (มิลลิลิตร) ที่สภาวะนั้นๆ โดยปริมาตรของข้าวพองนั้นใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ภาคผนวก)

$$\text{ความหนาแน่น (Bulk density)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวพอง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรข้าวพอง (มิลลิลิตร)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.7 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง

โดยจะเลือกสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว ส่วนเปลือก (แกลบ) และไม่พบส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพองแล้วนำมาบดให้เป็นแป้ง จากนั้นนำมาตรวจสอบดังต่อไปนี้ โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการพองตัวด้วยไมโครเวฟ

3.7.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) : rice method (AACC International Method 61-02.01, RACI Official Method 06-05) เป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งอีกแบบหนึ่ง คุณสมบัติของเครื่องนี้คือ สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคู่ไปกับความสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกในการส่งผ่านความร้อนที่ดีและยังใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าด้วย

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัมใส่ในกระบอกสำหรับวิเคราะห์ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 25 มิลลิลิตร (ความชื้น 12%)บรรจุอยู่ใช้ใบพัดกวนให้ตัวอย่างกระจายตัว ก่อนนำกระบอกใส่เข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืด RVA โดยตั้งโปรแกรมเครื่องให้คงอุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และค่อยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส /1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 2.40 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส /1 นาที จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 2 นาที รวมเวลาวิเคราะห์ทั้งหมด 13 นาที บันทึกค่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback) โดยรายงานค่าเป็นหน่วย RVU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index: WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index: WSI) ตามวิธีการของ Narkrugsa, 1996

ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 2.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ในหลอดหมุนเหวี่ยงและปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปเขย่าใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำของผสมมาชั่งน้ำหนัก แล้วทำการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นของแข็งที่เหลืออยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง หลังจากเทของเหลวแยกออกไป แล้วนำไปคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลว 10 มิลลิลิตร ซึ่งได้จากการเทแยกออกมาใส่ลงใน aluminum can ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (หรือจนแห้ง) แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการละลายน้ำ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ความสามารถในการดูดซับน้ำ = น้ำหนักตะกอนแป้งหลังหมุนเหวี่ยง/น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น

ความสามารถในการละลายน้ำ = (น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง/น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น) x100

3.8 การตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง

โดยจะเลือกสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว ส่วนเปลือก (แกลบ) และไม่พบส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพองแล้วนำมาบดให้เป็นแป้ง จากนั้นนำมาตรวจสอบดังต่อไปนี้ โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการพองตัวด้วยไมโครเวฟ

3.8.1 ตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH scavenging activity

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Brand-William *et. al.* (1995) DPPH เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย สารสกัด หรือสารออกฤทธิ์สามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ (DPPH) วิธี DPPH มีหลักการคือ อิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ (unpaired electron) ในโมเลกุลของอนุมูล DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 517 นาโนเมตร ทำให้มองเห็นเป็นสีม่วง และเมื่ออนุมูล DPPH ถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่มีคุณสมบัติเป็น hydrogen donor อนุมูล DPPH จะเปลี่ยนเป็น DPPH-H ซึ่งการสูญเสียอิเล็กตรอนดังกล่าวจะทำให้อนุมูล DPPH สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้น้อยลง สารดังกล่าวจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดีจะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 ตรวจสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก Ferric Reducing Ability Power

ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) จะใช้วิธีที่รายงานโดย Benzie and Strain(1999) มีหลักการ คือ ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวพอง โดยทำทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง

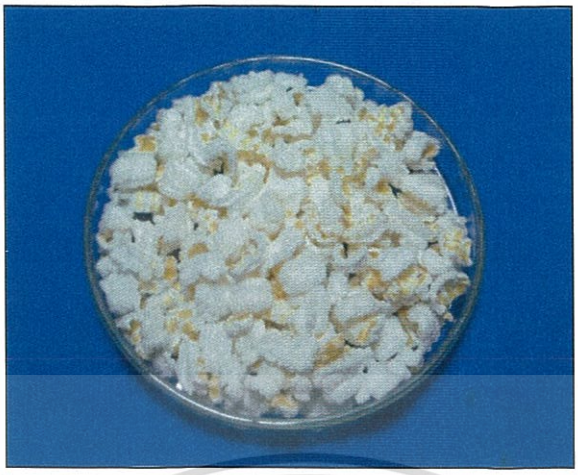
ในการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ กข 6 , หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนนำมาทำการพองตัวที่ 10%, 14% และ18% กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ 600, 700 และ 800 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการพองตัวของข้าวเปลือกที่ 1, 1.5 และ 2 นาทีที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต และคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพองในด้านปริมาตรการพองตัว อัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่น

4.1.1 ปริมาณผลผลิต

ปริมาณผลผลิตของข้าวพองโดยการคำนวณจากน้ำหนักของข้าวพองที่ทำการแยกเปลือกส่วนที่ไหม้ และส่วนที่ไม่เกิดการพองตัวออก แล้วหารด้วยน้ำหนักของข้าวเปลือกทั้งหมดในแต่ละสภาวะ พบว่าปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ กข 6 , หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงอยู่ในช่วง 0.87-58.03% , 1.15-28.67% และ 0.39-45.04% ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.1 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 จะให้ค่าปริมาณผลผลิตค่อนข้างสูง ซึ่งให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้มากกว่า 50% ในสภาวะที่ระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงถึง 51.10% และ 58.03% ตามลำดับ แต่สภาวะที่เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาทีจะพบการไหม้ถึง 19.29% ส่วนที่ระดับความชื้น 14% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 52.41% และที่ระดับความชื้น 18% กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 53.28% สำหรับที่ระดับความชื้น 18% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 51.20% และ51.42% ตามลำดับ แต่สภาวะนี้พบการไหม้ถึง 1.47% นอกจากนี้ยังพบว่าค่าปริมาณผลผลิตที่ได้จะให้ค่าที่ต่ำกว่าในงานวิจัยของ มาลี ซิ้มศรีสกุล (2534) ที่พบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6, ข้าวเหนียวสันป่าตอง และข้าวกข 10 ให้ปริมาณผลผลิตของข้าวพองสูงถึง 71.93%, 65.97% และ71.95% ตามลำดับ ซึ่งทำให้พองตัวด้วยลมร้อน (hot air puffing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6

รูปที่ 4.2 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105

รูปที่ 4.3 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของข้าวพอง

ความชื้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ปริมาณผลผลิต (%)[1] กข 6	การไหม้[2] (%)	หอมมะลิ 105	การไหม้[2] (%)	สังข์หยด	การไหม้[2] (%)
10	600	1	0.87^{l}±0.06	ND[3]	4.14^{klm}±0.37	ND	0.98^{k} ±0.09	ND
		1.5	15.74^{j}±0.74	ND	12.93^{ghi} ±0.28	ND	7.01^{ghij}±1.42	ND
		2	42.20^{dc}±1.76	ND	21.07^{cdef}±1.13	ND	39.24^{b} ±0.83	ND
	700	1	5.62^{kl}±0.16	ND	10.69^{hi} ±0.67	ND	2.51^{ijk} ±0.45	ND
		1.5	40.40^{e} ±0.56	ND	21.26^{cdef} ±0.16	ND	29.79^{cd} ±0.61	ND
		2	41.79^{de}±0.20	ND	28.67^{ab} ±1.99	ND	44.59^{a} ±1.81	ND
	800	1	29.45^{gh} ±0.24	ND	19.00^{def} ±0.77	ND	3.54^{hijk}±0.62	ND
		1.5	51.10^{bc} ±0.27	ND	26.53^{abc} ±0.77	ND	29.10^{cd} ±0.79	ND
		2	58.03^{a} ±0.90	19.29^{a}	27.47^{ab} ±1. 46	27.51^{a}	45.04^{a} ±1.97	ND
14	600	1	2.03^{l}±0.32	ND	1.86^{m} ±0.54	ND	0.85^{k} ±0.03	ND
		1.5	9.77^{k}±0.05	ND	9.95^{ij} ±0.94	ND	3.93^{hijk} ±1.49	ND
		2	34.77^{fg}±0.63	ND	17.47^{cfg} ±0.03	ND	17.30^{f} ±0.92	ND
	700	1	1.61^{l}±0.56	ND	5.48^{jklm}±1.40	ND	0.39^{k} ±0.07	ND
		1.5	30.15^{gh}±0.26	ND	12.48^{ghi} ±1.05	ND	22.83^{e} ±3.25	ND
		2	37.87^{ef}±0.87	ND	26.01^{abc} ±1.07	ND	31.31^{cd} ±0.04	ND
	800	1	26.90^{hi}±0.65	ND	7.56^{ijkl} ±1.25	ND	7.35^{ghi}±0.79	ND
		1.5	46.23^{cd}±0.37	ND	21.99^{bcde} ±1.26	ND	34.44^{bc} ±0.16	ND
		2	52.41^{b} ±0.85	ND	23.27^{abcd} ±1.31	ND	37.02^{b} ±1.12	ND
18	600	1	1.03^{l}±0.00	ND	3.15^{lm} ±0.57	ND	1.41^{jk} ±0.37	ND
		1.5	8.65^{k}±0.30	ND	8.99^{ijk}±0.51	ND	8.44^{gh} ±0.33	ND
		2	32.85^{fg}±1.69	ND	17.95^{defg}±0.78	ND	11.59^{g} ±0.92	ND
	700	1	1.59^{l}±0.54	ND	2.06^{lm} ±1.06	ND	1.11^{k} ±0.40	ND
		1.5	21.99^{i} ±0.97	ND	6.17^{jklm}±1.74	ND	8.63^{gh}±0.20	ND
		2	53.28^{ab}±1.92	ND	17.88^{defg}±0.18	ND	18.85^{ef} ±0.07	ND
	800	1	7.71^{k}±0.60	ND	1.15^{m} ±0.32	ND	1.94^{ijk} ±0.29	ND
		1.5	51.20^{bc}±1.64	ND	15.81^{fgh}±0.40	ND	18.01^{ef} ±0.88	ND
		2	51.42^{bc}±1.47	1.47^{b}	26.33^{abc}±1.41	2.14^{b}	28.85^{d} ±0.48	ND

หมายเหตุ : 1 ปริมาณผลผลิต คำนวณจากร้อยละต่อน้ำหนักของข้าวเปลือกทั้งหมดในแต่ละสภาวะ

2 การไหม้ คิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนักข้าวพองในสภาวะนั้นๆ

3 ND หมายถึง not detected คือ ไม่พบส่วนที่เกิดการไหม้เลย

4 $^{a,b,c..}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 จะให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีค่าปริมาณผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม 20% แต่ไม่ถึง 30% โดยจะพบที่สภาวะระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 21.07% และที่กำลังไฟฟ้า 700วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 21.26% และ 28.67% ตามลำดับ และที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 26.53% และ 27.47% ตามลำดับ แต่สภาวะที่ใช้เวลาในการพองตัว 2 นาที พบการไหม้ถึง 27.51% สำหรับที่ระดับความชื้น 14% กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 26.01% และที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาทีจะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 21.99% และ 23.27% ตามลำดับ ส่วนระดับความชื้น 14% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 26.33% แต่ที่สภาวะนี้พบการไหม้ถึง 2.14%

สำหรับข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังหยดพัทลุงจะให้ค่าปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้ในระดับปานกลางอยู่ในช่วง 30% โดยจะพบที่สภาวะระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 39.24% และที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 44.59% และกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ระยะเวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาทีจะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 45.04% สำหรับที่ระดับความชื้น 14% กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 31.31% และที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาทีจะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ 34.44% และ 37.02% ตามลำดับ

นอกจากนี้ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 จะให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ เช่นเดียวกับรายงานของ Maisont and Narkrugsa (2009) ที่พบว่าข้าวกข 6 จะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้เท่ากับ 57.38% ซึ่งมากกว่าข้าวหอมมะลิ 105 ที่ให้ปริมาณผลผลิตได้เท่ากับ 40.86% นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะที่ระดับความชื้น 14% เป็นสภาวะที่ข้าวพองพองตัวได้ดี ให้ปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วงที่สูง และไม่พบการไหม้ของข้าวพองเลย เช่นเดียวกับรายงานของ Hsieh *et. al.*, (1989) ที่ได้ทดลองใช้ข้าวที่มีความชื้น 14%, 16%, 18% และ 20% ทำให้พองตัวโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่า ข้าวพองตัวได้ดีเมื่อมีความชื้น 14% แต่ในรายงานของ ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์ (2545) พบว่าความชื้นของข้าวเปลือก 15% ความเข้มข้นของเกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัม และใช้เวลาในการพองตัว 3 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตมีค่าอยู่ในกลุ่มสูงสุด อีกทั้งยังสามารถผลิตต่อครั้งได้ปริมาณมาก และไม่พบส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าความชื้นของข้าวก่อนนำมาทำให้เกิดการพองตัวมีความสำคัญต่อคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก ถ้าข้าวมีความชื้นต่ำเกินไปจะพองตัวได้น้อย เนื่องจากความดันไอไม่เพียงพอ และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไปก็จะทำให้ข้าวไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะพอง ดังนั้นจึงต้องหาความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้ข้าวมีคุณภาพการพองตัวสูง (Murugesan และ Bhattacharya, 1986)

4.1.2 คุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง

4.1.2.1 ปริมาตรการพองตัว

ปริมาตรการพองตัว เป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของข้าวพองที่ได้ในแต่ละสภาวะกับน้ำหนักของข้าวพองที่ทำการแยกเปลือก ส่วนที่ไหม้ และส่วนที่ไม่เกิดการพองตัวออกแล้ว โดยปริมาตรของข้าวพองนั้นใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา(ภาคผนวก) ปริมาตรการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 , หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงจะอยู่ในช่วง 0.14-12.20 มล./กรัม 0.12-3.90 มล./กรัม และ 0.03-8.16 มล./กรัม ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.2 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ให้ค่าปริมาตรการพองตัวสูงในทุกระดับความชื้นที่ 10%, 14% และ 18% ซึ่งค่าปริมาตรการพองตัวที่ได้สูงมากกว่า 7 มล./กรัม โดยจะพบที่ระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 7.75 มล./กรัม ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 8.40 มล./กรัม และ 8.43 มล./กรัม ตามลำดับ และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 10.33 มล./กรัม และ 12.02 มล./กรัม ตามลำดับ สำหรับที่ระดับความชื้น 14% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 8.24 มล./กรัม ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 7.52 มล./กรัม และ 7.87 มล./กรัม ตามลำดับ และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 9.82 มล./กรัม และ 12.20 มล./กรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความชื้น 18% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 7.47 มล./กรัม ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 11.81 มล./กรัม และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 11. 94 มล./กรัม และ 9.01 มล./กรัม ตามลำดับ

ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 มีการพองตัวที่ไม่ค่อยดีนักและมีปริมาตรการพองตัวอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ โดยพบว่าที่ในระดับความชื้นที่ 10% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัวสูงที่สุดเท่ากับ 3.90 มล./กรัม ซึ่งสอดคล้องกับในรายงานของ Maisont and Narkrugsa (2009) พบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ด้วยไมโครเวฟ พบว่ามีปริมาตรการพองตัวต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.66 มล./กรัม ส่วนไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2545) กลับพบว่าข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ 105 จะพองตัวได้ดีที่สุด เมื่อทอดในน้ำมัน ข้าวที่มีความชื้น 13% อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที มีปริมาตรการพองตัวสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.40 มล./กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาตรการพองตัวของข้าวพอง

ความชื้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ปริมาตรการพองตัว (มล./กรัม)[1]		
			กข 6	หอมมะลิ 105	สังข์หยด
10	600	1	$0.20^{n}\pm0.02$	$0.63^{ijk}\pm0.00$	$0.16^{jk}\pm0.02$
		1.5	$3.55^{i}\pm0.78$	$1.77^{fg}\pm0.08$	$1.33^{hi}\pm0.29$
		2	$7.57^{ef}\pm0.02$	$2.84^{cd}\pm0.28$	$7.61^{a}\pm0.32$
	700	1	$1.36^{kl}\pm0.60$	$1.59^{fgh}\pm0.10$	$0.50^{ijk}\pm0.07$
		1.5	$8.40^{de}\pm0.14$	$2.75^{d}\pm0.14$	$5.62^{c}\pm0.10$
		2	$8.43^{de}\pm1.01$	$3.74^{a}\pm0.43$	$7.61^{a}\pm0.44$
	800	1	$6.85^{fg}\pm0.06$	$2.56^{de}\pm0.55$	$0.74^{hijk}\pm0.61$
		1.5	$10.33^{b}\pm0.46$	$3.61^{ab}\pm0.67$	$5.32^{cd}\pm0.52$
		2	$12.02^{a}\pm0.80$	$3.90^{a}\pm0.30$	$8.16^{a}\pm0.11$
14	600	1	$0.53^{lmn}\pm0.02$	$0.14^{k}\pm0.05$	$0.12^{jk}\pm0.05$
		1.5	$2.56^{j}\pm0.27$	$0.65^{ijk}\pm0.08$	$0.60^{ijk}\pm0.25$
		2	$8.24^{de}\pm1.67$	$2.08^{ef}\pm0.46$	$2.87^{f}\pm0.94$
	700	1	$0.37^{mn}\pm0.03$	$0.39^{jk}\pm0.08$	$0.03^{k}\pm0.00$
		1.5	$7.52^{ef}\pm0.19$	$1.34^{gh}\pm0.46$	$4.47^{de}\pm0.71$
		2	$7.87^{e}\pm0.08$	$3.35^{abc}\pm0.59$	$5.33^{cd}\pm1.15$
	800	1	$6.52^{g}\pm0.25$	$1.05^{hi}\pm0.30$	$1.67^{gh}\pm1.19$
		1.5	$9.82^{bc}\pm0.95$	$3.10^{bcd}\pm0.39$	$5.24^{cde}\pm1.02$
		2	$12.20^{a}\pm0.37$	$1.73^{fg}\pm0.36$	$6.56^{b}\pm0.19$
18	600	1	$0.14^{n}\pm0.01$	$0.23^{jk}\pm0.06$	$0.17^{jk}\pm0.04$
		1.5	$1.52^{k}\pm0.35$	$0.74^{ij}\pm0.01$	$1.12^{hij}\pm0.46$
		2	$7.47^{ef}\pm0.07$	$1.59^{fgh}\pm0.53$	$1.45^{ghi}\pm0.40$
	700	1	$0.26^{mn}\pm0.02$	$0.18^{jk}\pm0.05$	$0.14^{jk}\pm0.05$
		1.5	$5.27^{h}\pm0.14$	$0.61^{ijk}\pm0.09$	$1.04^{hijk}\pm0.10$
		2	$11.81^{a}\pm0.82$	$1.77^{fg}\pm0.10$	$2.37^{fg}\pm0.92$
	800	1	$1.22^{klm}\pm0.37$	$0.12^{k}\pm0.07$	$0.27^{jk}\pm0.02$
		1.5	$11.94^{a}\pm0.25$	$2.03^{ef}\pm0.04$	$1.67^{gh}\pm0.34$
		2	$9.01^{cd}\pm0.45$	$1.66^{fg}\pm0.05$	$4.30^{c}\pm0.72$

หมายเหตุ : 1 ปริมาตรการพองตัว คำนวณจากปริมาตรของข้าวพองที่ได้ในแต่ละสภาวะหารด้วยน้ำหนักของข้าวพอง โดยปริมาตรของข้าวพองนั้นใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ภาคผนวก)

2 ข้อมูลในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3 $^{a,b,c.}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ระดับความชื้น 10% จะให้ค่าปริมาตรการพองตัวที่สูงกว่าที่ระดับความชื้น 14% และ 18% โดยที่ระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 7.61 มล./กรัม ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 7.61 มล./กรัม และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้ปริมาตรการพองตัว 8.16 มล./กรัม ซึ่งให้ค่าปริมาตรการพองตัวน้อยกว่าในงานของประภัสสร เจริญกิจ (2555) ที่พบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเหนียวมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอด 18.37 มล./กรัม ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอด 10.37 มล./กรัม และยังพบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเหนียวมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอดได้ดีกว่าข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุง

นอกจากนี้ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ให้ค่าปริมาตรการพองตัวสูงกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ โดยข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีการพองตัวมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เนื่องจากข้าวที่มีอะไมโลสสูง สตาร์ชจะมีส่วนโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) ซึ่งให้ความแข็งแรงมากจึงส่งผลให้มีการขยายตัวต่ำ (Villareal and Juliano, 1987) เช่นเดียวกับรายงานของ มาลี ซิ้มศรีสกุล (2534) พบว่าข้าวกข 10 ให้ปริมาตรการพองตัวสูงที่สุดเท่ากับ 8.82 มล./กรัม รองลงมาคือ ข้าวกข 6 และข้าวเหนียวสันป่าตองที่ให้ปริมาตรการพองตัวเท่ากับ 8.46 มล./กรัม และ8.27 มล./กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวหอมมะลิ 105, ข้าวนางมลเอส-4 และข้าวกข 11 ให้ปริมาตรการพองตัวต่ำที่สุดเท่ากับ 7.97 มล./กรัม, 7.79 มล./กรัม และ 7.65 มล./กรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าปริมาตรการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยจะพบว่าสภาวะที่ให้ค่าปริมาตรการพองตัวที่ดีจะอยู่ในช่วงระดับความชื้น 10-14% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ และเวลาในการพองตัว 1.5-2 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maisont and Narkrugsa (2009) ที่พบว่าที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ให้ผลผลิตที่ได้สูงกว่าที่ 600 วัตต์ และ 700 วัตต์ จะแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น ปริมาตรการพองตัวของข้าวพองที่ได้ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเวลาที่ต้องใช้ในการเกิดความดันไอเพียงพอสำหรับการระเบิด(bursting) ก็จะสั้นไปด้วย เมื่อใช้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้กระบวนการพองตัวเพิ่มขึ้นด้วย ปริมาตรการพองตัวของข้าวพองจึงสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน (มาลี ซิ้มศรีสกุล, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 อัตราส่วนการพองตัว

อัตราส่วนการพองตัวเป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของข้าวพองที่ทำการแยกเปลือก ส่วนที่ไหม้ และส่วนที่ไม่เกิดการพองตัวออกแล้วหารด้วยปริมาตรของข้าวเปลือก โดยปริมาตรของข้าวพองและปริมาตรของข้าวเปลือกใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา(ภาคผนวก) โดยอัตราส่วนการพองตัวอยู่ในช่วง 0.07-5.61, 0.06-1.82 และ 0.01-3.38 ของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6, หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3

ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ให้ค่าอัตราส่วนการพองตัวสูงในทุกระดับความชื้นที่ 10%, 14% และ 18% ซึ่งค่าอัตราส่วนการพองตัวที่ได้นั้นให้ค่าสูงมากกว่า 3 เท่า โดยจะพบที่ระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้อัตราส่วนพองตัว 3.51 เท่า ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้อัตราส่วนการพอง 3.87 และ 3.89 เท่า ตามลำดับ และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1, 1.5 และ 2 นาที จะให้อัตราส่วนการพองตัว 3.20 , 4.73 และ 5.55 เท่า ตามลำดับ สำหรับที่ระดับความชื้น 14% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้อัตราส่วนการพองตัว 3.79 เท่า ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที ให้อัตราส่วนการพอง 3.48 และ 3.60 เท่า ตามลำดับ และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้อัตราส่วนการพองตัว 4.57 และ 5.61 เท่า ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ค่าอัตราการพองตัวสูงที่สุด ส่วนที่ระดับความชื้น 18% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้อัตราส่วนการพองตัว 3.42 เท่า ส่วนที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที จะให้อัตราส่วนการพอง 5.40 เท่า และที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5-2 นาที จะให้อัตราส่วนการพองตัว 5.51 และ 4.14 เท่า ตามลำดับ เช่นเดียวกับรายงานของ ศรายุทธ เกษมสุข และฐิตวดี รวงในเมือง (2548) ที่พบว่าข้าวพันธุ์กข 6 ทั้งในส่วนของข้าวเมล็ดแห้งและข้าวที่นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วนำมาคั่ว จะทำให้มีอัตราส่วนการพองตัวเท่ากับ 2.88 และ 3.10 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และนอกจากนี้ในรายงานของ มาลี ชิ้มศรีสกุล (2534) พบว่าข้าวกข 6, กข 10 และหอมมะลิ 105 ให้อัตราส่วนการพองตัวสูง 5.04, 5.19 และ 4.97 เท่า

ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ให้ค่าอัตราส่วนการพองตัวต่ำ ในระดับทุกๆ สภาวะโดยที่สภาวะระดับความชื้นที่ 10% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5 นาทีให้อัตราการพองตัวสูงที่สุดเท่ากับ 1.82 เท่า แต่ในขณะที่ ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2545) พบว่าข้าวพันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 มีอะไมโลสสูง (ร้อยละ 32.12) จะให้อัตราส่วนการพองตัวต่ำมีค่าอยู่ในช่วง 1.5-2.83 เท่า ซึ่งต่ำกว่าข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ18.27) และข้าวพันธุ์ดอกพยอมที่มีอะไมโลสปานกลาง(ร้อยละ 26.61) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.26-4.08 เท่า และ 1.79-3.73 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราส่วนการพองตัวของข้าวพอง

ความชื้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนการพองตัว[1] กข 6	หอมมะลิ 105	สังข์หยด
10	600	1	$0.09^{m}\pm0.05$	$0.29^{hij}\pm0.05$	$0.06^{jk}\pm0.01$
		1.5	$1.64^{h}\pm0.36$	$0.83^{ef}\pm0.03$	$0.55^{hi}\pm0.12$
		2	$3.51^{de}\pm0.03$	$1.31^{c}\pm0.13$	$3.18^{a}\pm0.15$
	700	1	$0.63^{jk}\pm0.28$	$0.74^{efg}\pm0.05$	$0.21^{ijk}\pm0.03$
		1.5	$3.87^{cd}\pm0.10$	$1.29^{c}\pm0.06$	$2.34^{c}\pm0.03$
		2	$3.89^{cd}\pm0.48$	$1.74^{a}\pm0.19$	$3.17^{a}\pm0.18$
	800	1	$3.20^{ef}\pm0.03$	$1.19^{c}\pm0.26$	$0.31^{hijk}\pm0.25$
		1.5	$4.73^{b}\pm0.23$	$1.82^{a}\pm0.13$	$2.22^{cd}\pm0.21$
		2	$5.55^{a}\pm0.35$	$1.68^{ab}\pm0.32$	$3.38^{a}\pm0.03$
14	600	1	$0.24^{klm}\pm0.06$	$0.07^{ij}\pm0.02$	$0.05^{jk}\pm0.02$
		1.5	$1.18^{i}\pm0.13$	$0.30^{hij}\pm0.04$	$0.25^{ijk}\pm0.10$
		2	$3.79^{cd}\pm0.76$	$0.97^{dc}\pm0.21$	$1.20^{f}\pm0.39$
	700	1	$0.17^{lm}\pm0.06$	$0.18^{ij}\pm0.03$	$0.01^{k}\pm0.00$
		1.5	$3.48^{de}\pm0.09$	$0.63^{fg}\pm0.22$	$1.87^{de}\pm0.28$
		2	$3.60^{de}\pm0.04$	$1.57^{ab}\pm0.27$	$2.21^{cd}\pm0.48$
	800	1	$2.99^{f}\pm0.12$	$0.49^{gh}\pm0.14$	$0.70^{gh}\pm0.50$
		1.5	$4.57^{b}\pm0.43$	$1.44^{bc}\pm0.19$	$2.17^{cdc}\pm0.43$
		2	$5.61^{a}\pm0.17$	$0.81^{ef}\pm0.18$	$2.72^{b}\pm0.08$
18	600	1	$0.07^{m}\pm0.05$	$0.11^{ij}\pm0.02$	$0.07^{jk}\pm0.02$
		1.5	$0.70^{j}\pm0.16$	$0.34^{hi}\pm0.10$	$0.46^{hij}\pm0.19$
		2	$3.42^{def}\pm0.04$	$0.74^{efg}\pm0.25$	$0.60^{ghi}\pm0.17$
	700	1	$0.12^{lm}\pm0.05$	$0.08^{ij}\pm0.03$	$0.06^{jk}\pm0.02$
		1.5	$2.42^{g}\pm0.09$	$0.28^{hij}\pm0.05$	$0.43^{hijk}\pm0.04$
		2	$5.40^{a}\pm0.40$	$0.82^{ef}\pm0.05$	$0.98^{fg}\pm0.38$
	800	1	$0.56^{jkl}\pm0.17$	$0.06^{j}\pm0.03$	$0.11^{jk}\pm0.05$
		1.5	$5.51^{a}\pm0.18$	$0.94^{de}\pm0.02$	$0.69^{gh}\pm0.14$
		2	$4.14^{c}\pm0.18$	$0.77^{ef}\pm0.02$	$1.79^{c}\pm0.29$

หมายเหตุ : 1 อัตราส่วนการพองตัว คำนวณจากปริมาตรของข้าวพองหารกับปริมาตรของข้าวเปลือก โดยปริมาตรของข้าวพองและปริมาตรของข้าวเปลือกใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ภาคผนวก)

2 ข้อมูลในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3 $^{a,b,c.}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ปริมาณความชื้น 12% ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนการพองตัวสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกๆ ชุดการทดลอง ในข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวดอกพยอมที่มีอัตราส่วนการพองตัวสูงสุดเท่ากับ 5.35 เท่า และ 5.22 เท่า

สำหรับข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ระดับความชื้น 10% จะให้ค่าอัตราการพองตัวสูงกว่าที่ระดับความชื้น 14% และ 18% โดยจะพบที่ในสภาวะระดับความชื้น 10% กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที ให้อัตราส่วนการพองตัว 3.18 เท่า และที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที ให้อัตราส่วนการพองตัว 3.17 เท่า และยังพบที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 2 นาที ให้อัตราส่วนการพองตัว 3.38 เท่า ซึ่งจะให้ค่าอัตราส่วนการพองตัวน้อยกว่าในรายงานของ ประภัสสร เจริญกิจ (2555) ที่พบว่า ข้าวพองที่ได้จากข้าวเหนียวมีอัตราส่วนการพองตัวได้ดีกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุง มีอัตราส่วนการพองตัวเท่ากับ 22.92 และ12.25 ตามลำดับ

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ที่ระดับความชื้นสูง (14% และ 18%) ทำให้อัตราการพองตัวต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากที่ความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้นจนทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกแคบลงทำให้บริเวณผิวของเมล็ดข้าวสัมผัสกับความร้อนมาก น้ำบริเวณผิวเมล็ดจะระเหยไปโดยเร็วทำให้เกิดขอบแข็งขึ้นจนทำให้การพองตัวเป็นไปได้ยาก ปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้จึงมีแนวโน้มต่ำลง (Srinivas and Desikachar, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปกรณ์ พรรณ เผือกสวัสดิ์ (2545) ที่พบว่าที่ระดับความชื้น 10% จะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าที่ระดับความชื้น 15% และ 20% และยังพบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 จะให้อัตราส่วนการพองตัวสูงกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ กนกกาญจน์ ปานจันทร์ (2554) ที่พบว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 มีอัตราส่วนการพองตัวมากที่สุด และยังพบว่ากระบวนการทำข้าวให้เริ่มงอกร่วมกับกระบวนการผลิตข้าวนึ่งมีผลทำให้การพองตัวของข้าวนึ่งกล้องจากข้าวเปลือกเริ่มงอกมีอัตราส่วนการพองตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัวอาจไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลาติไนซ์ ทำให้ข้าวมีความสามารถในการพองตัวลดลงเมื่อมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น (Srinivas and Desikachar, 1973) และจะเห็นได้ว่าที่กำลังไฟฟ้าสูงๆ (700-800 วัตต์) และระยะเวลาที่ใช้ในการพองตัวมากๆ (1.5-2 นาที) จะทำให้มีอัตราส่วนการพองตัวที่สูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chinnaswany and Bhattacharya (1983) ที่ทำการศึกษาข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกนึ่งโดยการคั่วกับทรายร้อนที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที พบว่าข้าวมีอัตราส่วนการพองตัวสูงขึ้นตามลำดับ คือ 4.9, 5.3 และ 6.2 เท่า เช่นเดียวกับรายงานของ Murugesan and Bhattacharya (1986) พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส จะให้อัตราส่วนการพองตัวในระดับที่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดไอน้ำภายในเมล็ดทำให้มีแรงดัน และเกิดการเจลลาติไนซ์ในเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวพองตัวและดันเปลือกให้แตกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น จะเป็นการคำนวณจากน้ำหนักแห้งของข้าวพองหารด้วยปริมาตรของข้าวพองที่สภาวะนั้นๆ โดยปริมาตรของข้าวพองนั้นใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา(ภาคผนวก) ซึ่งความหนาแน่นของข้าวพองได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6, หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง จะอยู่ในช่วง 0.04-0.06 กรัม/มล., 0.06-0.16 กรัม/มล. และ 0.05-0.12 กรัม/มล. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ให้ค่าความหนาแน่นต่ำ ในทุกระดับความชื้นที่ 10%, 14% และ 18% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความหนาแน่นจะอยู่ในช่วง 0.04-0.06 กรัม/มล.ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ปกรณ์พรรณ (2545) ที่พบว่าผลของความชื้นที่ระดับความชื้น 10%, 15% และ 20% จะให้ความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ให้ค่าความหนาแน่นในระดับความชื้นที่ 14% และ 18% สูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0.08-0.16 กรัม/มล. และให้ค่าความหนาแน่นต่ำ ที่สภาวะระดับความชื้น 10% อยู่ในช่วง 0.06-0.08 กรัม/มล. ซึ่งในรายงานของ มาลี ชิ้มศรีสกุล (2534) พบว่าข้าวหอมมะลิ 105, ข้าวเหนียวสันป่าตอง, ข้าวกข 11 และข้าวนางมลเอส-4 มีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น(0.095, 0.095, 0.117 และ 0.128 กรัม/มล. ตามลำดับ) ส่วนข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และ กข 10 มีค่าความหนาแน่นต่ำ(0.081-0.084 กรัม/มล.) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีค่าความหนาแน่นต่ำจะทำให้ข้าวมีการพองตัวที่ขยายขนาดได้สูง (ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์, 2545)

สำหรับข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงให้ค่าความหนาแน่นค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 0.05-0.09 กรัม/มล. แต่มีบางสภาวะที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงถึง 0.12 กรัม/มล.ในระดับความชื้นที่ 14% กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1 นาที และที่ระดับความชื้นที่ 18% กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการพองตัว 1.5 นาที

เมื่อพิจารณาข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าที่ระดับความชื้นสูงๆ(18%) มักจะให้ค่าความหนาแน่นสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุด(0.08-0.16 กรัม/มล.) จึงทำให้ข้าวมีการพองตัวได้ไม่ดีนัก ซึ่งตรงกันข้ามกับข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 (0.04-0.06 กรัม/มล.) ที่ให้ค่าความหนาแน่นต่ำ จะทำให้ข้าวมีการพองตัวได้ดีกว่าข้าวสายพันธุ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความหนาแน่นของข้าวพอง

ความชื้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ความหนาแน่น (Bulk Density)[1] (กรัม/มล)		
			กข 6	หอมมะลิ 105	สังข์หยด
10	600	1	0.04^{cd} ±0.02	0.06^{g} ±0.01	0.06^{b} ±0.01
		1.5	0.05^{bcd} ±0.01	0.07^{efg} ±0.01	0.05^{b} ±0.00
		2	0.06^{abc} ±0.01	0.07^{efg} ±0.02	0.05^{b} ±0.01
	700	1	0.04^{cd} ±0.01	0.07^{fg} ±0.01	0.05^{b} ±0.00
		1.5	0.05^{abcd} ±0.00	0.08^{efg} ±0.01	0.05^{b} ±0.00
		2	0.05^{abcd} ±0.00	0.07^{efg} ±0.01	0.06^{b} ±0.00
	800	1	0.04^{d} ±0.00	0.08^{efg} ±0.02	0.05^{b} ±0.01
		1.5	0.05^{abcd} ±0.00	0.07^{fg} ±0.00	0.05^{b} ±0.01
		2	0.05^{abcd} ±0.00	0.07^{fg} ±0.00	0.06^{b} ±0.01
14	600	1	0.04^{d} ±0.01	0.13^{abc} ±0.04	0.07^{b} ±0.01
		1.5	0.04^{d} ±0.01	0.16^{a} ±0.02	0.07^{b} ±0.02
		2	0.04^{cd} ±0.01	0.08^{defg} ±0.02	0.06^{b} ±0.01
	700	1	0.05^{bcd} ±0.01	0.14^{ab} ±0.01	0.12^{a} ±0.05
		1.5	0.04^{d} ±0.00	0.10^{cdefg} ±0.02	0.05^{b} ±0.00
		2	0.05^{abcd} ±0.00	0.08^{efg} ±0.01	0.06^{b} ±0.01
	800	1	0.04^{d} ± 0.00	0.08^{defg} ±0.05	0.05^{b} ±0.01
		1.5	0.05^{bcd} ±0.01	0.07^{efg} ±0.01	0.07^{b} ±0.02
		2	0.04^{d} ±0.00	0.13^{abc} ±0.02	0.06^{b} ±0.00
18	600	1	0.06^{a} ±0.02	0.14^{ab} ±0.01	0.08^{ab} ±0.01
		1.5	0.06^{abc} ±0.01	0.12^{abcd} ±0.03	0.08^{ab} ±0.01
		2	0.04^{cd} ±0.01	0.11^{bcdef} ±0.02	0.08^{ab} ±0.03
	700	1	0.06^{a} ±0.01	0.11^{bcde} ±0.04	0.08^{ab} ±0.01
		1.5	0.04^{d} ±0.00	0.10^{bcdefg} ±0.02	0.08^{ab} ±0.03
		2	0.05^{bcd} ±0.01	0.10^{bcdefg} ±0.02	0.09^{ab} ±0.03
	800	1	0.06^{ab} ±0.02	0.11^{bcdef} ±0.03	0.08^{ab} ±0.03
		1.5	0.04^{d} ±0.00	0.08^{efg} ±0.03	0.12^{a} ±0.07
		2	0.06^{ab} ±0.00	0.16^{a} ±0.01	0.07^{b} ±0.01

หมายเหตุ : 1 ความหนาแน่น คำนวณจากน้ำหนักแห้งของข้าวพองหารด้วยปริมาตรของข้าวพองที่สภาวะนั้นๆ โดยปริมาตรของข้าวพองนั้นใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา

2 ข้อมูลในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3 $^{a,b,c.}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาปริมาณผลผลิตที่ได้และคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง พบว่า การพองตัวของข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และหอมมะลิ 105 ที่เหมาะสมควรใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10%-14% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 1.5-2 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตของข้าวพอง 51.10-52.41% สำหรับข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และ 26.01-26.53% สำหรับข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ในขณะที่ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังขหยด ควรใช้ความชื้นที่ 10% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนาน 2 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตของข้าวพอง 44.59-45.04% ซึ่งจากสภาวะดังกล่าวะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่สูงและไม่พบการไหม้ของข้าวพองเลย

นอกจากนี้ยังพบค่าความแปรปรวนระหว่างปัจจัยในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟกับปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.5

โดยพบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัว มีความสัมพันธ์ในทางเชิงบวกกับค่าปริมาณผลผลิต, ปริมาตรการพองตัว, อัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่น ดังนั้นจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าปริมาณผลผลิต ปริมาตรการพองตัว อัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่น สูงขึ้นตามไปด้วย ในข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ แต่รายงานของ Maisont and Narkrugsa (2009) กลับพบว่าความชื้นของข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัวมีความสัมพันธ์ในทางเชิงลบกับปริมาณผลผลิตและปริมาตรการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ในขณะที่กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟและเวลาที่ใช้ในการพองตัวมีความสัมพันธ์ในทางเชิงบวกกับปริมาณผลผลิต, ปริมาตรการพองตัว และอัตราส่วนการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นในข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ แสดงว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์ใดที่มีค่ากำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟและเวลาที่ใช้ในการพองตัวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณผลผลิต ปริมาตรการพองตัว และอัตราส่วนการพองตัวของข้าวพองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์ (2545) ที่พบว่าเวลาในการพองตัวที่ 3 นาทีจะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าที่เวลา 2 นาที ดังนั้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการดูดซับน้ำนานขึ้นมีผลต่อการพองตัวของข้าวเช่นเดียวกับอุณหภูมิ (Huff *et al*., 1991) แต่ในรายงานของ Maisont and Narkrugsa (2009) กลับพบว่ากำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟมีความสัมพันธ์ในทางเชิงบวกกับปริมาตรการพองตัว แต่ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟกับเวลาที่ใช้ในการพองตัวมีความสัมพันธ์ในทางเชิงบวกกับปริมาณผลผลิตที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ความแปรปรวนของปัจจัยในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟกับคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพอง

Source	df	F			
		ปริมาณผลผลิตที่ได้	ปริมาตรการพองตัว	อัตราส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น
ความชื้น(mc)	2	17.32*	9.93*	9.13*	13.80*
กำลังไฟฟ้า(power)	2	54.99*	23.63*	22.49*	0.39
เวลา(time)	2	173.25*	65.45*	60.88*	0.54
mc · power	4	0.89	0.56	0.52	0.46
mc · time	4	0.66	0.27	0.20	0.60
power · time	4	4.50*	2.39	2.29	1.67
mc · power · time	8	1.38	0.64	0.62	1.05

หมายเหตุ : 1 * มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง

โดยจะเลือกสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว ส่วนเปลือก (แกลบ) และส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพองออกแล้วนำมาบดให้เป็นแป้ง จากนั้นนำมาตรวจสอบดังต่อไปนี้ โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัวด้วยไมโครเวฟ

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)

เมื่อนำแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์มาตรวจสอบพฤติกรรมทางด้านความหนืด โดยเครื่อง RVA ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3 และตารางที่ 4.6 จะแสดงค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback) โดยรายงานค่าเป็นหน่วย RVU พบว่า

อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด พบว่า พบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 69.07-91.13 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวมีอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดต่ำที่สุด(69.07 องศาเซลเซียส) เนื่องจากการที่แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพกติน ซึ่งมีกลุ่มไฮดรอกซิล อยู่เป็นจำนวนมาก จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้มาก น้ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้งได้สะดวกและรวดเร็ว จึงทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 จึงต่ำกว่าแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง(89.67 และ 91.13 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีโมเลกุลอะไมโลสอัดกันแน่นอยู่ภายในเม็ดแป้ง (มาลี ซิ้มศรีสกุล, 2534) ส่วนแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวมีอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงที่สุด(91.13 องศาเซลเซียส) แสดงว่ามีความสามารถต้านทานการพองตัวและการแตกสลายของโครงสร้างแป้งได้สูง (ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช และคณะ, ม.ป.ป.) แต่แป้งข้าวพองที่ได้กลับไม่พบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดในข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากในน้ำเย็นแป้งของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวจะดูดน้ำและพองตัวได้น้อย จึงมีความหนืดเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ และเมื่อให้ความร้อนจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจึงพบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้ แต่ในทางกลับกันเมื่อนำแป้งข้าวพองมาผสมน้ำ แป้งจะสามารถดูดน้ำได้จนหมด และละลายในน้ำเย็นได้สูง เมื่อแป้งดูดน้ำเข้าไปจะขยายพองตัวขึ้น จึงมีความหนืดเริ่มต้นสูงตั้งแต่ที่อุณหภูมิห้องจะเห็นได้จากข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 และเมื่อให้ความร้อนจะทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนืด ดังนั้นจึงไม่พบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของแป้งข้าวพอง

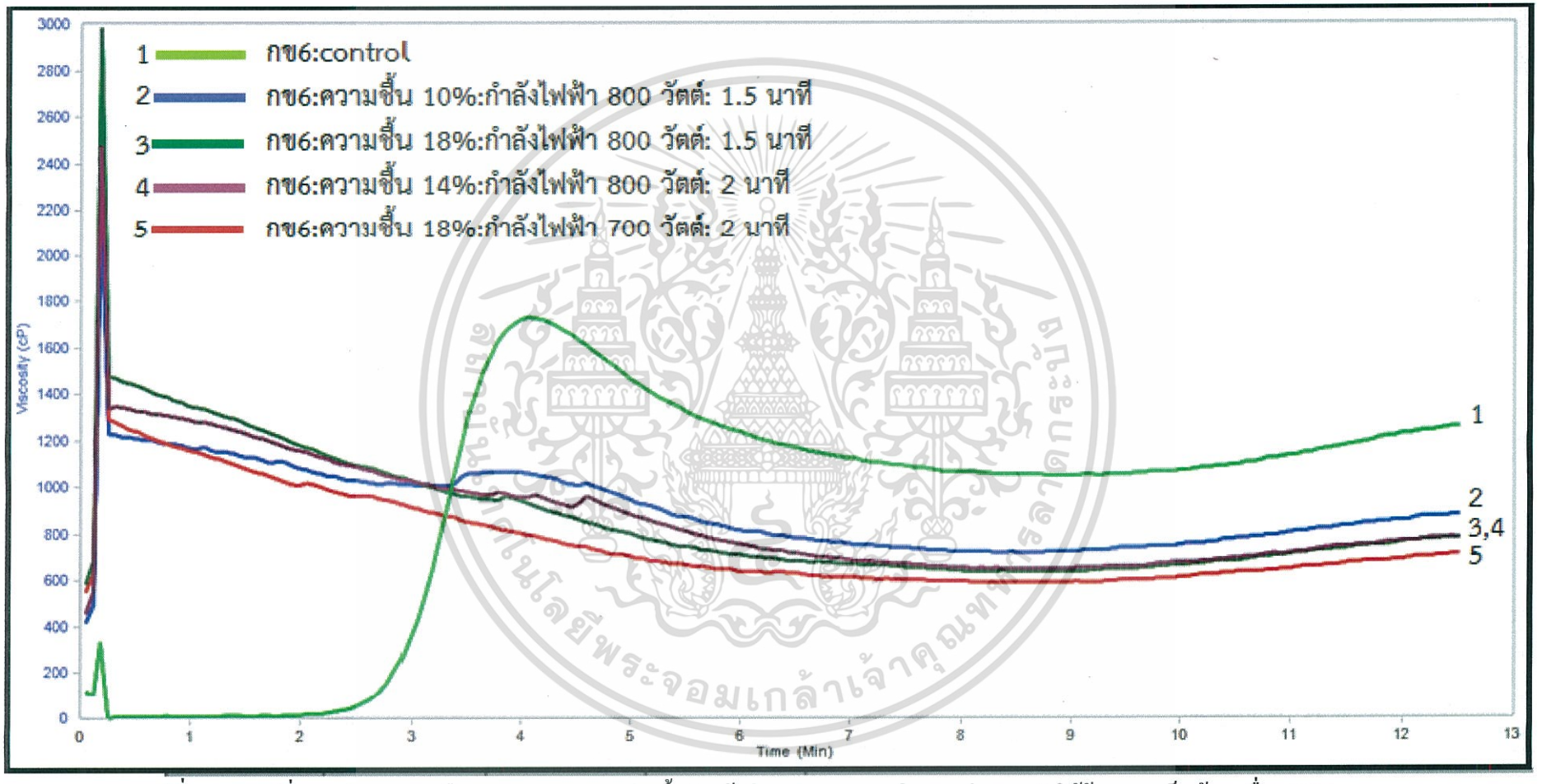
สายพันธุ์	Puffing Condition			Viscosity (RVU)						Pasting Temp. (°C)
	ความชื้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	Peak Viscosity	Trough	Breakdown	Final Viscosity	Setback	Peak Time	
กข 6 (อะไมโลส 2.8%)	Control	Control	Control	1690.67^{g}±62.12	1043.33^{h}±20.74	647.34^{d}±43.88	1268.00^{g}±25.71	224.66^{d}±1.68	4.07^{b}±0.00	69.07^{a}±0.00
	10	800	1.5	1331.67^{c} ±60.01	831.66^{g}±26.58	500.00^{c}±54.62	1016.00^{f}±36.01	184.34^{c}±9.87	2.07^{a}±0.00	ND
	14	800	2	1389.67^{cf}±56.37	745.34^{f}±56.16	644.34^{d}±29.74	898.66^{e}±70.47	153.34^{bc}±4.36	2.07^{a}±0.00	ND
	18	700	2	1437.67^{f}±16.36	763.34^{f}±30.62	674.34^{d}±98.67	924.00^{e}±41.15	160.66^{bc}±3.58	2.07^{a}±0.00	ND
	18	800	1.5	1166.67^{d}±34.12	662.34^{e}±33.26	504.33^{c}±26.41	812.66^{d}±39.12	150.34^{bc}±5.86	2.07^{a}±0.00	ND
หอมมะลิ 105 (อะไมโลส 11.69%)	Control	Control	Control	1932.33^{h} ±62.08	1475.67^{j}±38.50	456.67^{e}±25.42	3638.35^{i}±108.61	2162.65^{f}±70.15	5.67^{c}±0.07	89.67^{b}±0.46
	10	700	2	321.33^{c}±1.06	314.67^{d}±10.69	6.67^{a}±4.04	441.00^{c}±7.55	126.33^{b}±4.51	6.96^{fg}±0.08	ND
	10	800	1.5	325.00^{c} ±2.17	318.00^{d} ±7.81	7.00^{a}±4.36	446.33^{c}±4.51	128.34^{b}±4.04	6.93^{fg}±0.12	ND
	14	700	2	155.66^{a}±4.04	156.00^{a} ±3.61	(-)0.33^{a}±0.58	233.34^{a} ±2.89	77.33^{a}±2.52	6.97^{g}±0.04	ND
	14	800	2	165.00^{a}±3.61	164.66^{a} ±3.79	0.33^{a}±0.58	246.34^{a} ±3.51	81.67^{a}±1.15	6.86^{cfg}±0.2	ND
สังข์หยด (อะไมโลส 8.03%)	Control	Control	Control	1317.67^{e}±51.87	1210.33^{i}±40.25	107.33^{b}±12.58	3024.35^{h}±69.24	1814.00^{e}±36.38	6.09^{d}±0.03	91.13^{c}±0.02
	10	600	2	300.67^{c} ±9.45	296.67^{cd} ±9.07	4.00^{a}±1.73	468.67^{c}±17.24	172.00^{c}±8.18	6.74^{fg}±0.19	ND
	10	700	2	258.67^{bc}±9.07	256.67^{c}±9.02	2.00^{a}±1.73	410.33^{bc}±18.14	153.66^{bc}±9.86	6.80^{cf}±0.07	ND
	10	800	2	271.33^{bc}±6.43	266.33^{c}±9.02	5.00^{a}±3.46	426.00^{bc} ±15.00	159.66^{bc}±2.09	6.89^{e}±0.11	ND
	14	800	2	208.34^{ab}±6.01	208.34^{c}±6.01	0.00^{a}±0.00	352.33^{b}±12.42	144.00^{bc}±7.21	6.93^{fg}±0.11	ND

หมายเหตุ: 1 control คือ แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว

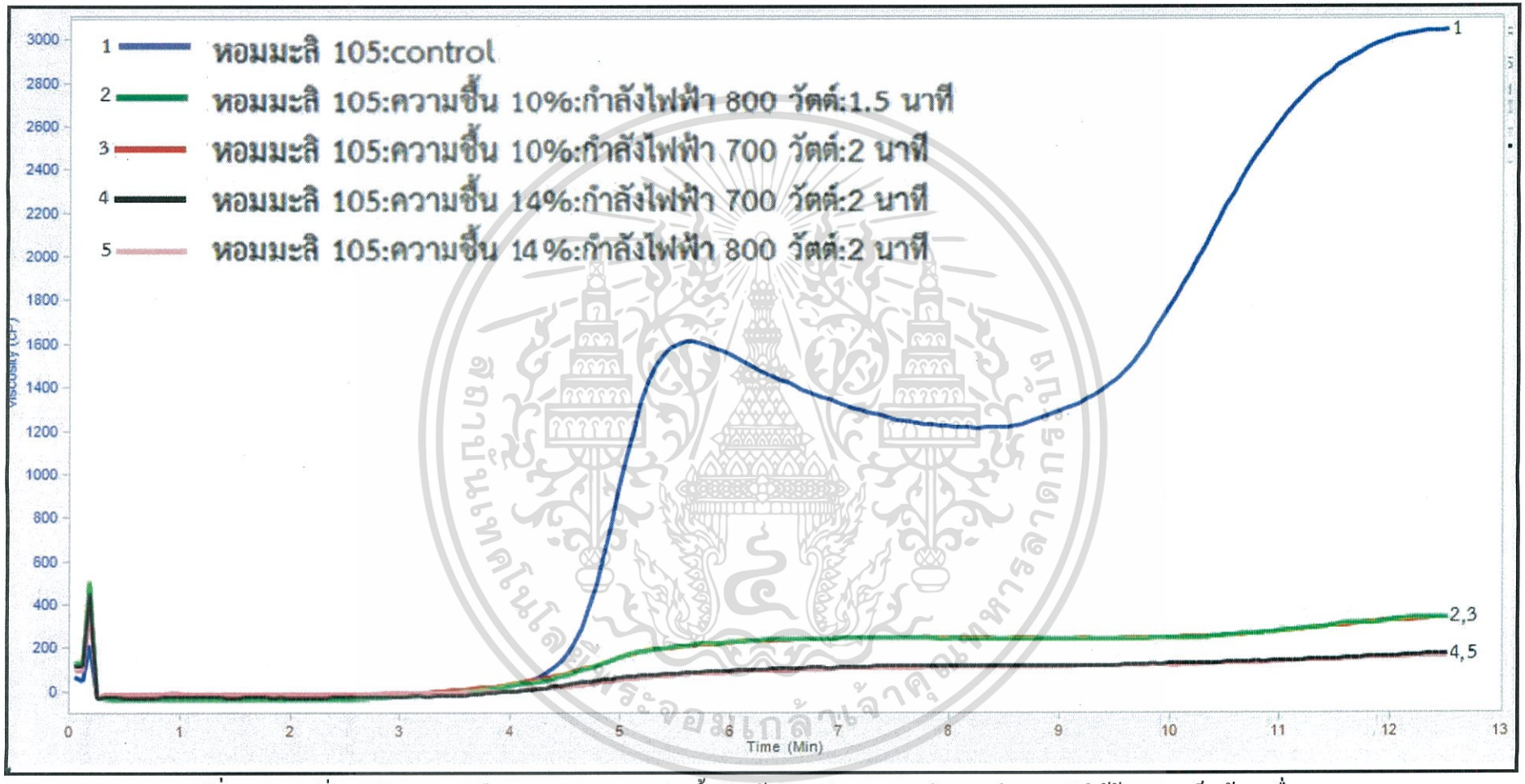
2 อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting Temperature, °ซ), ความหนืดสูงสุด (peak viscosity, RVU), ความหนืดต่ำสุด (trough, RVU), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity, RVU), ผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown = peak viscosity – trough, RVU) , ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback from trough = final viscosity – trough, RVU) และผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback from peak = final viscosity – peak viscosity, RVU)

3 ND หมายถึง not detected คือ ไม่พบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด

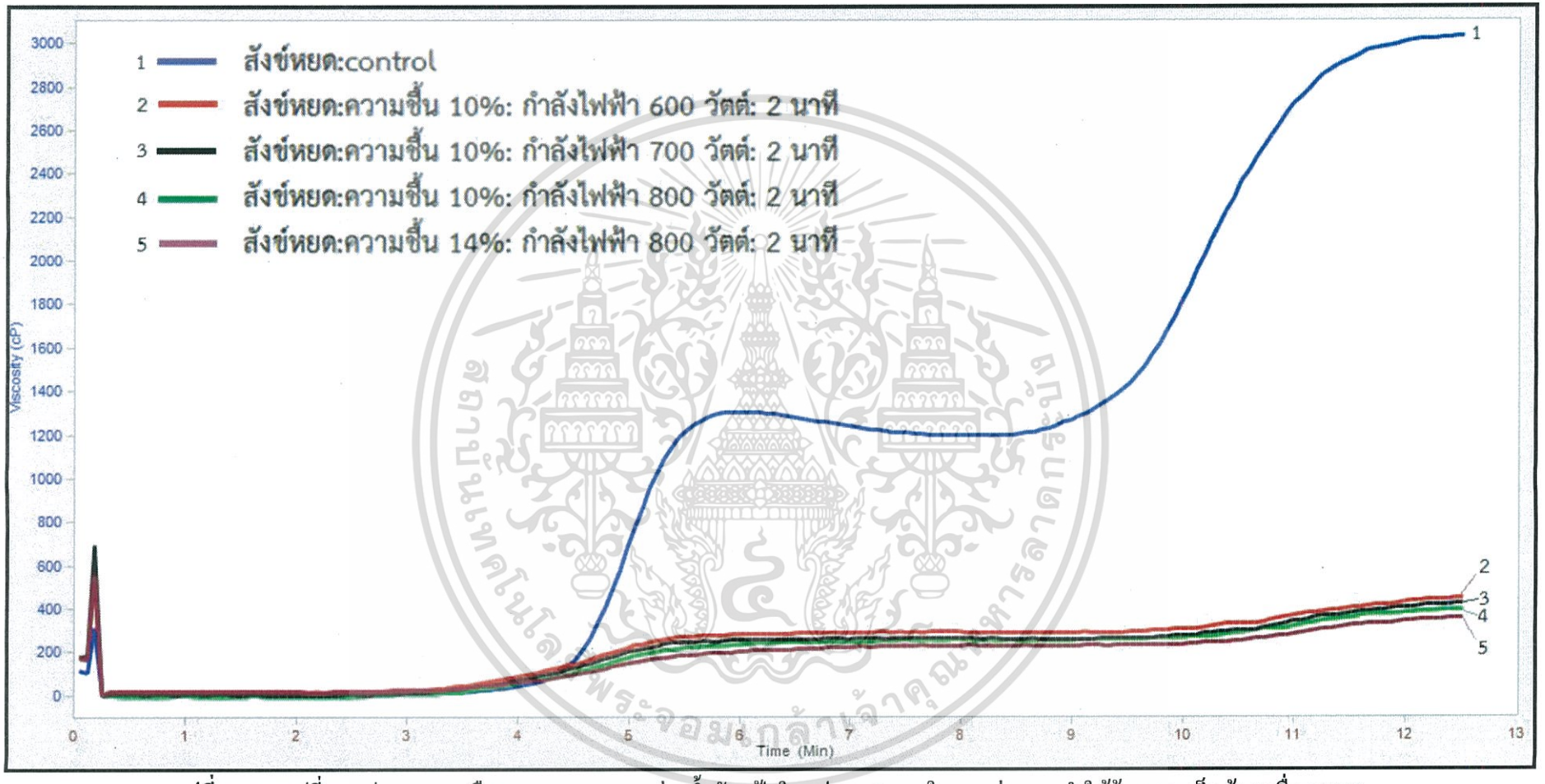
4 $^{a,b,c\ldots}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของข้าวพันธุ์กข 6 ที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA ของข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวน พบว่า แป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6, หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง มีค่าความหนืดสูงสุดอยู่ในช่วง 1166.67-1690.67 RVU, 155.66-1932.33 RVU และ 1317.67-208.34 RVU ตามลำดับ และแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว จะให้ค่าความหนืดสูงที่สุด เท่ากับ 1932.33 RVU เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ ที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว และยังพบว่าเมื่อผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟแล้วแป้งข้าวพองจะให้ค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองในข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ เช่นเดียวกับในรายงานของ Hagenimana *et. al.* (2006) ที่พบว่าแป้งข้าวที่ได้จากการอัดพอง (extruded) จะให้ค่าความหนืดสูงสุดต่ำ ซึ่งค่าอยู่ในช่วง 27-59 BU เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ได้จากการอัดพอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 212 BU และแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 จะให้ค่าความหนืดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ เนื่องจากแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และค่าความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) สูงกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ จึงสามารถพองตัวได้มาก ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งจึงสูง (มาลี ซื้มศรีสกุล, 2534)

ส่วนค่าความหนืดต่ำสุด ซึ่งจะบอกถึงค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งที่เกิดจากการให้ความร้อน และแรงกวนที่ใช้ในการผสม พบว่าที่อุณหภูมิและแรงกวนที่เท่ากันแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 จะให้ค่าความหนืดต่ำสุดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำสุดอยู่ในช่วง 662.34-831.66 RVU, 156.00-318.00 RVU และ 208.34-296.67 RVU ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าแป้งข้าวพองจะให้ค่าความหนืดต่ำสุดต่ำกว่าแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวในข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่า แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวจะให้ค่าความหนืดต่ำสุดสูงที่สุด คือ 1475.67 RVU เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และสังข์หยดพัทลุงที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว ซึ่งให้ค่าความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 1043.33 RVU และ 1210.33 RVU ตามลำดับ

สำหรับค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด ซึ่งจะบอกถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิและการกวน พบว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 มีค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 500.00-674.34 RVU นั่นแสดงว่า แป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 มีความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนได้ต่ำที่สุด ส่วนแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง มีค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดเท่ากับ -0.33-456.67 RVU และ 0.00-107.33 RVU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ แสดงว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนได้ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัว จะพบว่าแป้งข้าวพองที่ได้จะให้ค่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดต่ำกว่าแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว ในข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากแป้งดูดน้ำและพองตัวได้เต็มที่แล้ว เม็ดแป้งจึงแตกเมื่อมีการกวน ส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะไหลออกมาในของผสมทำให้ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจึงลดลง

ต่อมาเมื่อพิจารณาถึงค่าความหนืดสุดท้าย ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการบอกถึงคุณภาพของแป้ง และเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของแป้งว่ามีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น จากการศึกษาพบว่า แป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ให้ค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุดเท่ากับ 3638.35 RVU รองลงมาคือแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวที่ได้จากข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง และกข 6 ให้ค่าความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 3024.35 RVU และ 1268.00 RVU ตามลำดับ แต่เมื่อทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟแล้วแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 กลับมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟแล้วมีผลทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัว ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 812.66-1016.00 RVU, 233.34-446.33 RVU และ 352.33-468.67 RVU ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว สามารถวิเคราะห์ได้จากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด จากผลการทดลองพบว่า ระดับการคืนตัวของแป้งที่มากสุด คือ แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ มีค่าเท่ากับ 2162.65 RVU ซึ่งค่าการคืนตัวนี้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยถ้ามีค่าการคืนตัวมากหรือมีค่าเป็นบวกจะมีลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีและมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งมาก (ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช และคณะ, ม.ป.ป.) รองลงมาคือ แป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง และกข 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1814.00 RVU และ 224.66 RVU ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าระดับการคืนตัวของแป้งที่ต่ำสุด และเมื่อทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟแล้วแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6, หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง กลับให้ค่าการคืนตัวของแป้งลดลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 150.34-184.34 RVU, 77-128.34 RVU และ 144.00-172.00 RVU แสดงว่า การทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินบางส่วนแตกออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งพิจารณาได้จากค่าความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) จะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของแป้งข้าวพอง จึงทำให้แป้งข้าวพองเกิดการคืนตัวได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index: WAI)

จากผลการศึกษาคุณลักษณะการพองตัวด้วยไมโครเวฟของข้าวเปลือก โดยจะเลือกสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว, ส่วนเปลือก (แกลบ) และส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพองออกแล้วนำมาบดให้เป็นแป้ง จากนั้นนำมาตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำของแป้งข้าวพอง โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัวด้วยไมโครเวฟ พบว่า

แป้งข้าวพองที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว ในข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว เม็ดแป้งจะอัดกันแน่น อีกทั้งในโมเลกุลของแป้งยังมีแรงยึดเหนี่ยวกัน โดยอะไมโลเพกตินมี 1° และ 2° hydroxyl group เป็นจำนวนมาก จึงสามารถเกิด H-bond ภายในโมเลกุลหรือกับโมเลกุลอื่น น้ำจึงเข้าไปจับกับโมเลกุลของอะไมโลเพกตินได้ยาก แต่เมื่อผ่านการทำให้พองตัวแล้วความร้อนที่ใช้ในการทำให้พองตัวไปทำลาย H-bond ภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของแป้ง ทำให้ hydroxyl group ซึ่งมีอยู่มากในโมเลกุลของอะไมโลเพกตินเป็นอิสระจึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น น้ำจึงสามารถแพร่เข้าไปในแป้งได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น(มาลี ซิ้มศรีสกุล, 2534) แป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ซึ่งมีอะไมโลเพกตินอยู่มากจึงมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ ที่มีอะไมโลเพกตินต่ำกว่า

โดยความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6, หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงอยู่ในช่วง 2.25-9.46, 2.42-4.98 และ 2.76-5.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับ Mariotti *et. al.*, (2006) ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวสาลี, ข้าวสาลีเอ็มเมอร์ (emmer wheat), ข้าวไรย์, ข้าวบาร์เล่ย์, ข้าว และข้าวบัควีท (buckwheat) แล้วทำให้พองตัวด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน 1.3-1.5 MPa นาน 75-85 วินาที พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2.0-2.5% แต่เมื่อทำให้พองตัวแล้วค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งที่ได้จากข้าวกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.4-6.5% และในงานของ Aylin (2014) พบว่าค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวบาร์เล่ย์อยู่ในช่วง 2.5-8.1 หลังจากที่ทำให้พองตัวแล้วค่าความสามารถในการดูดซับน้ำกลับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำของแป้งข้าวพอง

สายพันธุ์	ความชื้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (เวลา)	WAI[1] (กรัม/กรัม)	WSI[2] (%)
กข 6	Control	Control	Control	2.25^{a}±0.07	8.98^{d}±0.94
	10	800	1.5	7.70^{c}±0.30	19.97^{g}±0.59
	14	800	2	8.24^{cd}±0.64	17.59^{f}±2.81
	18	700	2	9.46^{e}±0.30	14.51^{e}±1.15
	18	800	1.5	8.89^{de}±0.88	15.59^{e}±2.08
หอมมะลิ105	Control	Control	Control	2.42^{a}±0.15	3.24^{a}±0.35
	10	700	2	4.93^{b}±0.66	7.97^{d}±0.81
	10	800	1.5	4.85^{b}±0.27	7.96^{d}±0.46
	14	700	2	4.97^{b}±0.04	5.54^{bc}±0.08
	14	800	2	4.98^{b}±0.56	5.63^{bc}±0.21
สังข์หยดพัทลุง	Control	Control	Control	2.76^{a}±0.09	3.68^{ab}±1.42
	10	600	2	5.10^{b}±0.85	8.30^{d}±0.96
	10	700	2	4.31^{b}±0.42	7.94^{d}±0.15
	10	800	2	5.08^{b}±0.36	7.94^{d}±1.05
	14	800	2	4.91^{b}±0.56	6.79^{cd}±0.42

หมายเหตุ : 1 WAI คือ ความสามารถในการดูดซับน้ำ คำนวณได้จาก = น้ำหนักตะกอนแป้งหลังปั่นเหวี่ยง/ น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น

2 WSI คือ ความสามารถในการละลายน้ำ คำนวณได้จาก = (น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง/ น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น) x100

3 Control samples คือ แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ

4 ข้อมูลในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5 $^{a,b,c....}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index: WSI)

แป้งข้าวพองมีความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว ในข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้างและรูพรุนของผนังเซลล์ของเม็ดแป้งแต่ละชนิด โดยแป้งดิบหรือแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวมีโครงสร้างโมเลกุลของผนังเซลล์จับตัวกันแน่น และมีผนังเซลล์มีรูพรุนน้อย จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำให้พองตัว โดยผลจากความร้อนมีผลทำให้เกิดการสุก และไอน้ำในข้าวทำให้เกิดการขยายตัวในช่องว่างหรือรูของเมล็ดข้าว (Hsieh *et.al.*, 1989) ซึ่งค่าความสามารถในการละลายน้ำของแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงอยู่ในช่วง 8.98-17.59%, 3.24-7.97%, 3.68-8.30% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.7 เช่นเดียวกับ ในงานของมาลี ซื้มศรีสกุล (2534) พบว่า แป้งข้าวพองมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ และมีค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าแป้งดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และนอกจากนี้ยังพบว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 ซึ่งมีอะไมโลสต่ำมี WSI สูงกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง ซึ่งเกิดจากความร้อนจากไมโครเวฟทำให้โมเลกุลอะไมโลเพกตินแตกออกเป็นโมเลกุลสายสั้น จึงสามารถหลุดออกจากเม็ดแป้งได้ ในขณะที่โมเลกุลของอะไมโลสในแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงมีขนาดใหญ่กว่าโอกาสที่จะหลุดออกจากเม็ดแป้งจึงน้อย และสอดคล้องกับ Mariotti *et al.*, (2006) ที่พบว่าค่าความสามารถในการละลายน้ำของแป้งข้าวสาลี, ข้าวเอ็มเมอร์สาลี (emmer), ข้าวไรย์, ข้าวบาร์เล่ย์, ข้าวบัควีท (buckwheat) เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.8-9.5% ในขณะที่แป้งข้าวที่ทำให้พองตัวด้วยไอน้ำร้อนกลับให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 7.5-30.2% ซึ่งแป้งข้าวเริ่มต้นและแป้งข้าวที่ทำให้พองตัวด้วยไอน้ำร้อนจะให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 1.8% และ 7.5% ตามลำดับ และในงานของ Lai and Cheng (2004) พบว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จากข้าวสายพันธุ์ TCN 70, TN 67 และ TCN 1 ทำให้พองตัวโดยวิธี gun puffing ให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าแป้งข้าวเริ่มต้นที่ไม่ได้ทำให้พองตัว ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.20-28.64%, 1.58-6.53% และ 1.56-2.85% ตามลำดับ และนอกจากนี้ในงานของ Hagenimana *et. al.* (2006) พบว่าค่าความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้นจาก 9.16-50.13% และยังพบว่าความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นและอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนของการแตกสลายของเม็ดแป้งมีผลทำให้เกิดการละลายน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพอง

จากผลการศึกษาคุณลักษณะการพองตัวด้วยไมโครเวฟของข้าวเปลือก โดยจะเลือกสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว, ส่วนเปลือก (แกลบ) และส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพองออกแล้วนำมาบดให้เป็นแป้ง จากนั้นนำมาตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของแป้งข้าวพอง โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัวด้วยไมโครเวฟ พบว่า

4.3.1) ตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

จากผลของไมโครเวฟที่มีต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ จากการตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าในแป้งข้าวพองที่ได้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัว ในข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.91-3.13 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ ดังตารางที่ 4.8 และนอกจากนี้ยังพบว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ในช่วง 2.87-3.13 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และหอมมะลิ 105 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.49-1.77 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ และ 0.91-1.09 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ ตามลำดับ แสดงว่าแป้งข้างพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดีกว่าแป้งข้าวพองสายพันธุ์อื่นๆ

4.3.2 ตรวจสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก(FRAP)

สำหรับการตรวจสอบหาความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) พบว่า ในแป้งข้าวพองที่ได้มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพองตัว ในข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) อยู่ในช่วง 3.29-3.97 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 และหอมมะลิ 105 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.71-2.09 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ และ 1.31-1.88 มก./1 กรัมโทรลอกซ์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.8 แสดงว่าแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกได้ดีกว่าแป้งข้าวพองสายพันธุ์อื่นๆ

จากการตรวจสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดมีค่าสูงกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์อื่นๆ เนื่องจากข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวที่มีสี ซึ่งมีสีแดง โดยสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะสารแอนโทรไซยานินเป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Abdel-Aal *et. al.* 2006) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับงานของ Rose *et. al.* (2008) พบว่า การให้ความร้อนโดยใช้ ไมโครเวฟที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 30-120 วินาทีจะไม่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 91.9-94.8% ส่วนในงานของ Sharma *et. al.* (2011) เปรียบเทียบอิทธิผลของการคั่วด้วยทรายร้อนกับการใช้ไมโครเวฟที่มีต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของข้าวบาร์เล่ย์ พบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของการคั่วด้วยทรายร้อนจะให้ค่าสูงกว่าการใช้ไมโครเวฟ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 27.4-39.8% และ 23.2-34.1% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ

สายพันธุ์	ความชื้น (%)	กำลังไฟ (วัตต์)	เวลา (นาที)	DPPH[1] (mg trolox/1g flour)	FRAP[2] (mg trolox /1g flour)
กข 6	Control	Control	Control	$1.77^{c}\pm0.04$	$2.01^{cd}\pm0.09$
	10	800	1.5	$1.60^{cd}\pm0.02$	$1.71^{abcd}\pm0.07$
	14	800	2	$1.49^{c}\pm0.03$	$2.11^{d}\pm0.14$
	18	700	2	$1.75^{de}\pm0.03$	$2.09^{d}\pm0.03$
	18	800	1.5	$1.65^{de}\pm0.01$	$2.03^{cd}\pm0.01$
หอมมะลิ105	Control	Control	Control	$1.06^{ab}\pm0.12$	$1.31^{a}\pm0.10$
	10	700	2	$0.98^{ab}\pm0.14$	$1.50^{abc}\pm0.40$
	10	800	1.5	$1.09^{b}\pm0.15$	$1.81^{abcd}\pm0.04$
	14	700	2	$0.91^{a}\pm0.07$	$1.88^{bcd}\pm0.09$
	14	800	2	$0.92^{a}\pm0.02$	$1.42^{ab}\pm0.11$
สังข์หยดพัทลุง	Control	Control	Control	$3.12^{g}\pm0.01$	$3.29^{e}\pm0.26$
	10	600	2	$2.94^{f}\pm0.01$	$3.97^{f}\pm0.11$
	10	700	2	$3.13^{g}\pm0.15$	$3.95^{f}\pm0.65$
	10	800	2	$2.87^{f}\pm0.18$	$3.89^{f}\pm0.67$
	14	800	2	$3.10^{g}\pm0.10$	$3.87^{f}\pm0.34$

หมายเหตุ : 1 DPPH คือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ใช้วิธีที่รายงานโดย Brand-William *et.al.* (1995) โดยสารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร

2 FRAP คือ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

3 Control samples คือ แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ

4 ข้อมูลในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5 $^{a,b,c\ldots}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณลักษณะการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ กข 6, หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ความชื้นของข้าวเปลือกก่อนนำมาทำการพองตัวที่ 10%, 14% และ18% กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ 600, 700 และ 800 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการพองตัวของข้าวเปลือกที่ 1, 1.5 และ 2 นาที โดยใช้ไมโครเวฟ 2,450 MHz. พบว่า การพองตัวของข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และหอมมะลิ 105 ที่เหมาะสมควรใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10%-14% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 1.5-2 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตของข้าวพอง 51.10-52.41% สำหรับข้าวเปลือกพันธุ์กข 6 และ 26.01-26.53% สำหรับข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ในขณะที่ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังขหยด ควรใช้ความชื้นที่ 10% กำลังไฟฟ้า 700-800 วัตต์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนาน 2 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตของข้าวพอง 44.59-45.04% โดยความชื้นของข้าวเปลือก กำลังไฟฟ้า ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ รวมทั้งปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไฟฟ้ากับระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตของข้าวพองที่ได้ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวพองที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมีคุณภาพการพองตัวที่ตรวจสอบอยู่ในเทอมของ ปริมาตรการพองตัว อัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่น จากผลการทดลองปัจจัยในการพองตัวของข้าวเปลือกที่ส่งอิทธิพลในข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ($p<0.05$) ได้แก่ ความชื้นของข้าวเปลือก กำลังไฟฟ้า ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ในขณะที่ความหนาแน่นของข้าวพองที่ได้ จะได้รับอิทธิผลจากความชื้นของข้าวเปลือกเท่านั้น

เมื่อนำแป้งข้าวพองที่ได้จากการบดข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง RVA พบว่าค่าความหนืดสูงสุดค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของแป้งข้าวพองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว และนอกจากนี้แป้งข้าวพองที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว จากผลของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน พบว่า แป้งข้าวพองที่ได้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำข้าวพองที่ได้มาทำการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่อไปได้ เช่น ขนมขบเคี้ยว หรืออาหารเช้าพร้อมรับประทาน และยังสามารถพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้
2. จากคุณสมบัติที่สามารถกระจายตัวและละลายในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง ให้ความหนืดได้ทันที จึงเหมาะสมที่จะนำแป้งข้าวพองที่ได้นำมาใช้ผลิตอาหารที่ไม่ต้องให้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง ซอส ไส้พาย เครื่องดื่ม และครีมหน้าขนมต่าง ใช้เป็นสารให้ความเหนียวในผลิตภัณฑ์อาหารทั้งร้อนและเย็น อาหารเด็กอ่อน หรือเป็นตัวช่วยรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ โดยเฉพาะแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กนกกาญจน์ ปานจันทร์. 2554. ผลของกระบวนการผลิตข้าวเปลือกเริ่มงอกต่อคุณสมบัติของข้าวนึ่งกล้องและผลิตภัณฑ์ข้าวพอง. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมการข้าว. 2549. ผลิตภัณฑ์จากข้าวและบรรจุภัณฑ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd. in.th/rkb/index.php.htm. (วันที่สืบค้น 29 เมษายน 2557)

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. ผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวที่สำคัญในปัจจุบัน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.dip.go.th/Portals/0/cluster/.pdf (วันที่สืบค้น 9 เมษายน 2557)

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง (พิมพ์ครั้งที่ 3).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กษมา ขัธโถค และวรางคณา จุลลวาทีเลิศ. 2545. คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวตอกจากพันธุ์ข้าวต่างๆ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์บางพระ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์. 2545. กระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์. วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประภัสสร เจริญกิจ. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ปรุงหน้าด้วยปลาทูแขกหยองโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟในการทำแห้ง. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

ปิติพร ฤทธิเรืองเดช, ธงชัย สุวรรณสิชณ์, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, และ กล้าณรงค์ ศรีรอต, ม.ป.ป. พฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกลของแป้งเท้ายายม่อม. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2545. การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มาตรฐานสินค้าข้าว. 2540. ข้าว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th/main/index. (วันที่สืบค้น 29 เมษายน 2557)

มาลี ซิ้มศรีสกุล. 2534. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือกและต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวพองที่ได้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัญฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัชรี สุขวิวัฒน์ และ สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2551. ผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่ง. หน้า 374-380.การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2551 เล่มที่ 2/2. กรุงเทพฯ.

วิจิตรา เหลียวตระกูล. 2546. ศึกษาการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศรายุทธ เกษมสุข และฐิตวดี รวงในเมือง. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากข้าวตอก. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

ศศิวิมล จิตรากร, แพรจันทร์ สังขะจันทร์, นิติพงศ์ จิตรีโภชน์, และ เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. 2553.การศึกษาความคงตัวของราข้าว กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของราข้าวและสมุนไพร. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 41 ฉบับที่ 3/1(พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม : 221-224.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2539. การให้พลังงานความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ ฤทธิ์แสวง, รุจิรา ปรีชา, สุวรา โภชนสมบูรณ์ และจำลอง ฤทธิชัย. 2547. บันทึกการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและเคมี. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวพอง. มผช.743/2548. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://prerse.ricethailand.go.th/ knownledge/11.htm. (วันที่สืบค้น 29 เมษายน 2557)

อภิญญา เจริญกุล. 2538. อาหารขบเคี้ยว. ว.อาหาร. 18(2) 96-100.

อุลัย ศิริศรี. 2544. คุกกี้ข้าวตอก. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์บางพระ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

Abdel-Aal, E. M., Young, J. C., and Rabalski, I. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. J. Agricultural and Food Chemistry. 54 : 4696-4704.

Anderson, A. K., and Guraya, H. S. 2006. Effects of microwave heat-moisture treatment on properties of waxy and non-waxy rice starches. J.Food Chemistry. 97(2) : 318-323.

Antonio, A.A., and Juliano, B.O. 1973. Amylose content and puffed volume of parboiled rice. J.Food Science. 38 : 915-916.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Method of Analysis 16th ed.Association of Official Analytical Chemists, Arligton, Virginia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aylin Altan. 2014. Effects of pretreatments and moisture content on microstructure and physical properties of microwave expanded hull-less barley. J. Food Research International. 56 : 126–135.

Benzie, F.F. and Strain, J.J. 1999. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power : The Frap Assay. J. Analysis Biochemistry. 239: 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier. M.E. and Berset. C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. J.Lebensmittel-Wissenschaft and Technologies. 28 : 25-30.

Chandrasekhar , P.R. and Chattopadhyay , P.K. 1990. Heat transfer during fluidized bed puffing of rice grains. J. Food Process Engineering. 11 : 147-157.

Chandrasekhar , P.R. and Chattopadhyay , P.K. 1991. Rice puffing in relation to its varietal Characteristics and processing condition. J. Food Processing Engineering. 24 : 261-277.

Chih Chia Chang and Tung Chien . 1997. Studies on microwave popping ratio of the dried rice (in Chinese). J. Chinese Agricultural Chemical Society. 35 : 376-384.

Chinnaswamy , R. and Bhattacharya , K.R. 1983. Studies on expanded rice : optimum processing conditions. J.Food Science. 48 : 1604.

Chinnaswamy R. and Hanna M.A. 1988. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn Starch. J. Food Science. 53(3) :834-836.

Gerster, H. 1989. Vitamin losses with microwave cooking. J. Food Science and Nutrition. 24 : 173-181.

Hagenimana Anastase , Xiaolin Ding and Tao Fang. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. J.Cereal Science. 43 : 38–46

Hoke, K., Houska,M., Pruchova, J., Gabrovska, D., Vaculova, K., and Paulickova, I. 2007. Optimization of puffing of naked barley. J. Food Engineering. 80 : 1016-1022.

Huff, F., Hu, L., Peng, I.C. and Hsieh, H.E. 1991. Effects of water activity on textural characteristics of puffed rice cake. J. Lebensmittel Wissenschaft and Technologies. 23(6) : 471-473.

Hsieh, Huff, F H., H.E., Peng, I.C., and Marek, S.W. 1989. Puffing of rice cakes as influenced by tempering and heating condition. J. Food Science. 54(5) : 1310-1312.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. J. Cereal Science-Today. 16: 334-340.

Kalafat, S.R. and M. Kroger. 1973. Microwave heating of foods-use and safety considerations. CRC Critical Reviews in Food Technology. 4 : 141.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Khraisheh, M. A. M., McMinn, W. A. M., and Magee, T. R. A. 2004. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. J.Food Research International. 37 : 497-503.

Kim, J.D.,Lee, J.C., and Hsieh, F.H. 2001. Rice cake production using black rice and medium-grain brown rice. J. Food Science Biotechnology. 10(3) : 315-322.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., and Maroulis, Z. B. 2000. Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. J. Food Engineering. 43(3) :147-154.

Lai, H. M., and Cheng, H. H. 2004. Properties of pregelatinized rice flour made by hot air or gun puffing. International J. Food Science and Technology. 39 : 201–212.

Luh, B.S. 1991. Breakfast rice cereals and baby foods. In Rice Production and Utilization. pp. 623-649. Westport, Conn. Conn. : AVI Publishing Co.,

Maisont, S and Narkrugsa W. 2009. Effects of some physicochemical properties of paddy rice varieties on puffing qualities by microwave. Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Mariotti M., Alamprese C., Pagani M.A. and Lucisano M. 2006. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. J. Cereal Science. 43: 47-56.

Martin DJ and Tsen CC. 1981. Baking high-ratio white layer cakes with microwave energy. J. Food Science. 46 : 1507–1513.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. Trends in Food Science and Technology. 14(9) : 364-373.

Murugesan , G. and Bhattacharya , K.R. 1986. Studies on puffing rice. I. Effect of processing condition. J. Food Science. 24(4) : 197-202.

Murugesan , G. and Bhattacharya , K.R. 1991. Basis for varietal difference in popping expansion of rice. J. Cereal Science. 13:71-83.

Narkrugsa,W. 1996. Change in some physiochemical propeties of Tapioca and Glutinous rice starches after microwave heating. Kasertsart Journal (Nat.Sci.). 30 : 532-538.

Rose, D.J., Ogden, L.V., Dunn, M.L. and Pike, O.A. 2008. Enhanced lipid stability in whole wheat flour by lipase inactivation and antioxidant retention. J. Cereal Chemistry. 85(2) : 218-223.

Rosen, C. 1972. Effect of microwave on food related materials. J. Food Technology. 26(7) : 36-55.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rosenthal, I. 1992. Microwave radiation : Electromagnetic radiation in food science. USA. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Schiffmann , R.F. 1986. Food product development for microwave processing. J. Food Technology. 40(6) : 94-98.

Sharma, P., Gujral, H. S., and Rosell, C. M. 2011. Effects of roasting on barley β-glucan, thermal, textural and pasting properties. J.Cereal Science. 53 : 25–30.

Srinivas , T. and Desikachar , H.S.R. 1973. Factors affecting the puffing quality of paddy. J.Science Food Agricultural. 24 : 883-891.

Sumnu, G. 2001. A review on microwave baking of foods. Int. J. Food Sci. Tech. 36: 117-127.

Villareal , C.P. and Juliano , B.O. 1987. Verietal diffences in quality characteristic of puffed rice. J.Cereal Chemistry. 64(4) : 337.

Walde, S. G., Balaswamy, K., Velu, V., and Rao, D. G. 2002. Microwave drying and grinding characteristics of wheat (Triticum aestivum). J. Food Engineering. 55(3) : 271-276.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตข้าวพอง

1.การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

1.1.นำข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์ คือ คือ กข 6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุงมาล้างทำความสะอาดและเอาสิ่งแปลกปลอมออก

รูปผนวกที่ 1 ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดข้าวเปลือก

1.2.จากนั้นนำมาแช่ในน้ำเกลือ 2% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปผนวกที่ 2 ขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำเกลือ 2%

1.3.กรองเอาน้ำออกให้หมาด

รูปผนวกที่ 3 ขั้นตอนการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.แล้วนำมาปรับความชื้นด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45±3 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) (Binder FED 53, USA) จนได้ความชื้นที่ 18%, 14% และ 10% ตามลำดับ โดยการตรวจวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบฮาโลเจน (Halogen Moisture Analyzer) (Mettler HR 73, Switzerland)

รูปผนวกที่ 4 ขั้นตอนการอบแห้ง

1.5.จากนั้นนำไปบรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) แล้วปิดผนึกให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสูญญากาศ (NZ400N,Thailand)

รูปผนวกที่ 5 ขั้นตอนการบรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) แล้วปิดผนึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ขั้นตอนการพองตัวด้วยไมโครเวฟ

2.1.นำข้าวเปลือกที่ผ่านการปรับความชื้นมาชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก 30 กรัมใส่ในถุงกระดาษคราฟท์ ขนาด 16x30 ซม. ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler, ML204, Switzerland)

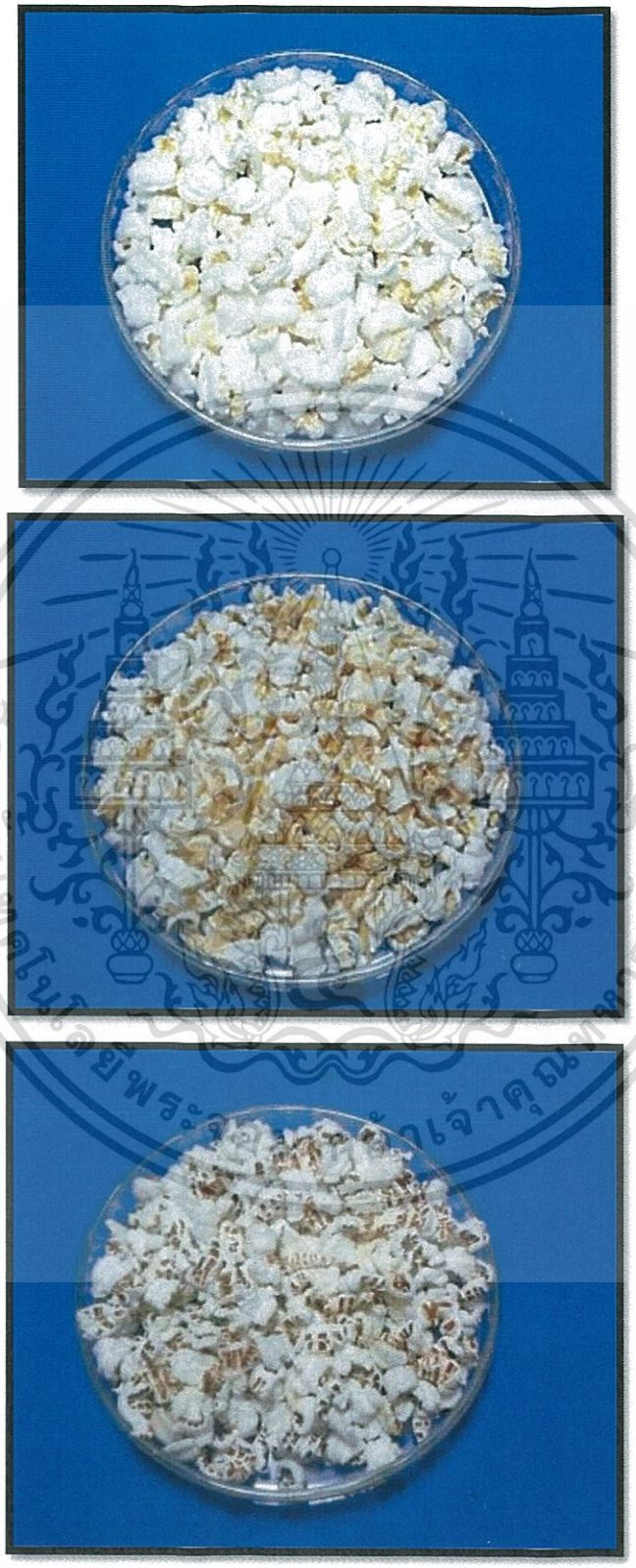
รูปผนวกที่ 6 ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก

2.2.แล้วนำไปวางตรงกลางของตู้ไมโครเวฟ (Samsung, Model M1712N, Thailand) จากนั้นให้กำลังไฟฟ้าที่ 600 ,700 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1 ,1.5 และ 2 นาทีตามลำดับ

รูปผนวกที่ 7 ขั้นตอนการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. ได้ข้าวพอง รอนำไปตรวจสอบคุณลักษณะการพองตัวต่อไป



รูปผนวกที่ 8 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

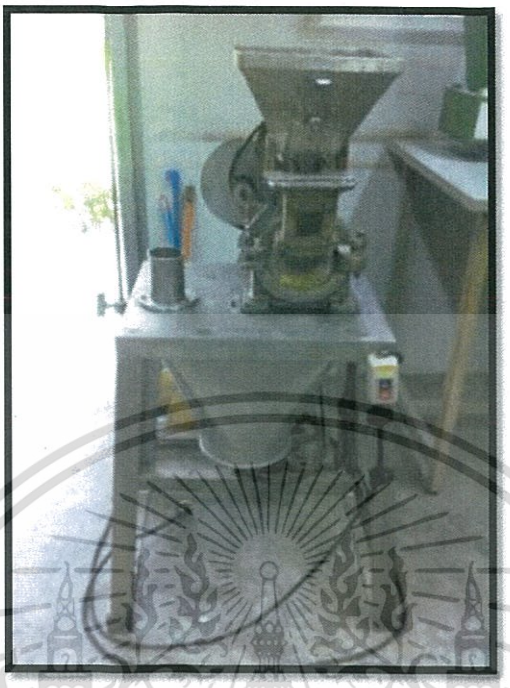
3.ขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวพอง

3.1.นำข้าวพองที่เลือกจากสภาวะที่มีค่าปริมาณผลผลิตที่ได้สูงสุด 4 อันดับแรกของข้าวพองจากข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์ โดยจะคัดแยกส่วนที่ไม่เกิดการพองตัว ส่วนเปลือก(แกลบ) และไม่พบส่วนที่เกิดจากการไหม้ของข้าวพอง

รูปผนวกที่ 9 ข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกพันธุ์กข6 หอมมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.นำมาบดด้วยเครื่องบดแป้งแบบหยาบ (Hammer mill) (Philip-Cucina, Indonesia)



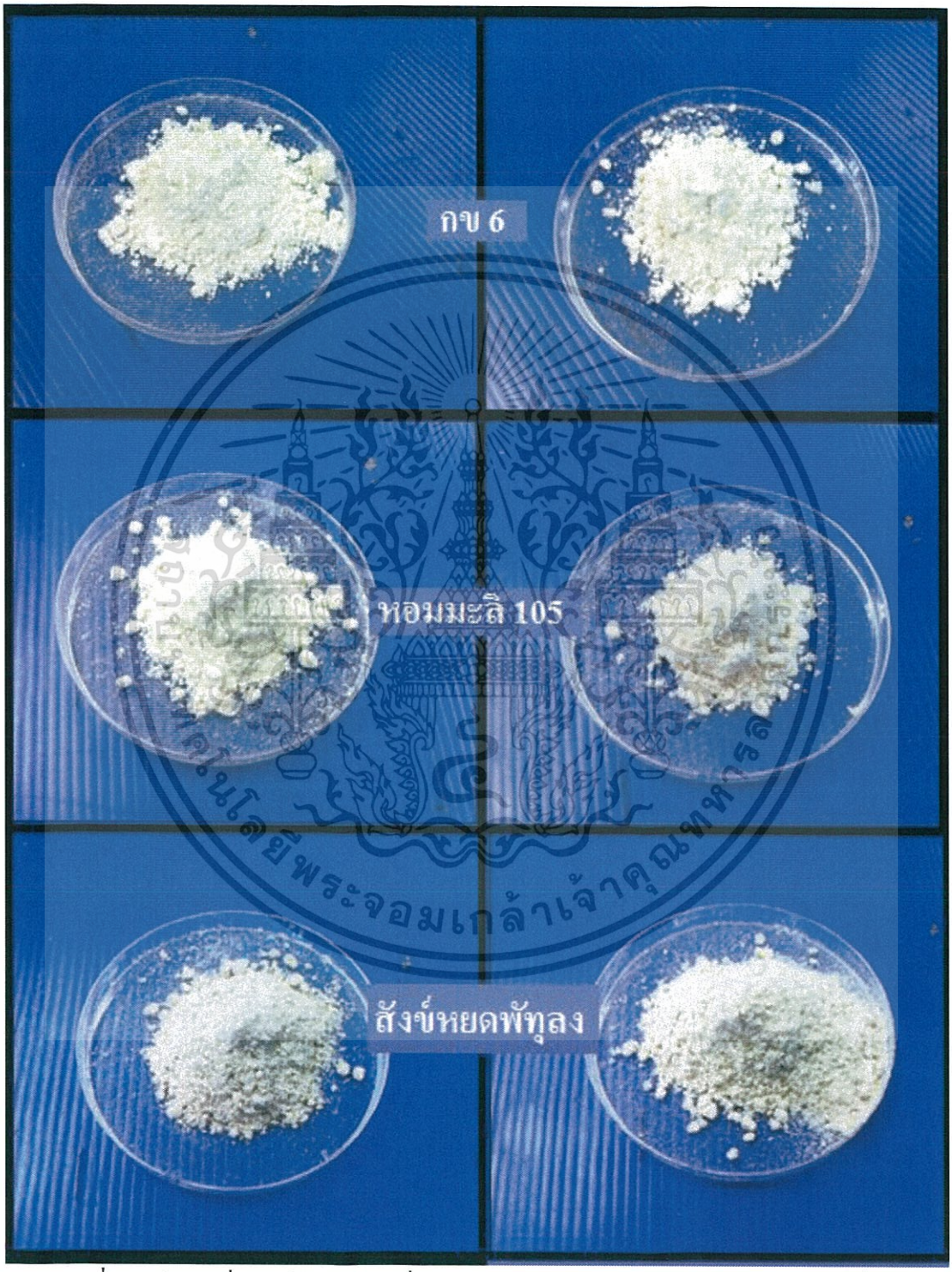
รูปผนวกที่ 10 ขั้นตอนการบดหยาบ

3.3.จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดแป้งแบบละเอียด (Pin mill) (Retsch, ZM100, Germany) และนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

รูปผนวกที่ 11 ขั้นตอนการบดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.บรรจุแป้งข้าวพองที่ได้ใส่ถุง PE แล้วปิดผนึกให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสูญญากาศ (NZ400N,Thailand) เพื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป



รูปผนวกที่ 12 แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำให้พองตัว(ซ้าย) และแป้งข้าวพองที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ(ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรข้าวพองและปริมาตรข้าวเปลือก ด้วยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดงา

2.1.ใส่เมล็ดงาลงในพิมพ์อะลูมิเนียม เคาะให้แน่น ใช้ไม้บรรทัดปาดส่วนที่เกินออก

2.2.เทเมล็ดงาออก

2.3 จากนั้นใส่เมล็ดงาสลับกับข้าวพองหรือข้าวเปลือกทีละชั้นจนหมด เคาะให้แน่น ปาดด้วยไม้บรรทัด วัดปริมาตรเมล็ดงาส่วนที่เกินด้วยกระบอกตวง ค่าที่ได้จะเป็นปริมาตรของข้าวพองหรือปริมาตรของข้าวเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

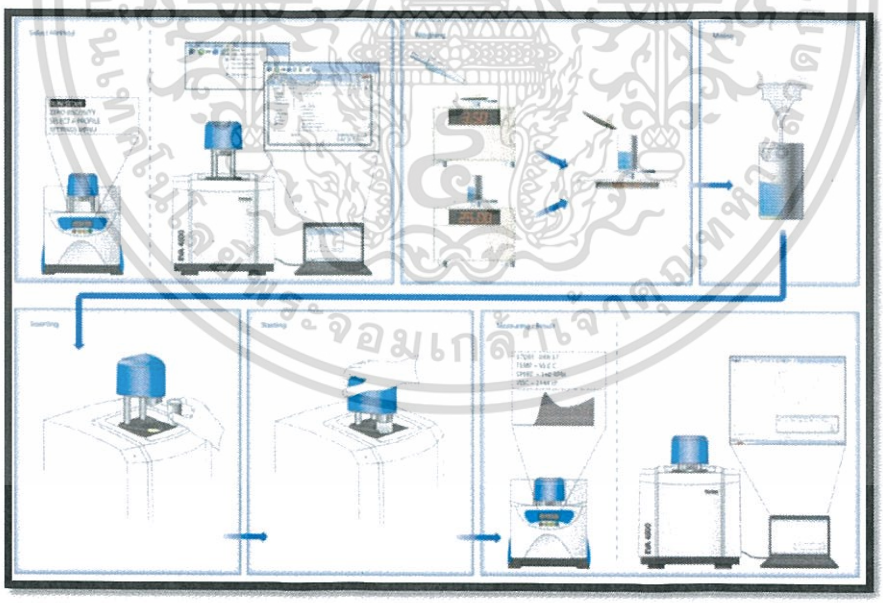
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมระหว่างน้ำกับแป้งในรูปของ Paste ในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

โดยใช้ rice method (AACC International Method 61-02.01, RACI Official Method 06-05) เป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งอีกแบบหนึ่ง คุณสมบัติของเครื่องนี้คือ สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคู่ไปกับความสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกในการส่งผ่านความร้อนที่ดีและยังใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าด้วย

1.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัมใส่ในกระบอกสำหรับวิเคราะห์ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 25 มิลลิลิตร (ความชื้น 12%) บรรจุอยู่ใช้ใบพัดกวนให้ตัวอย่างกระจายตัว

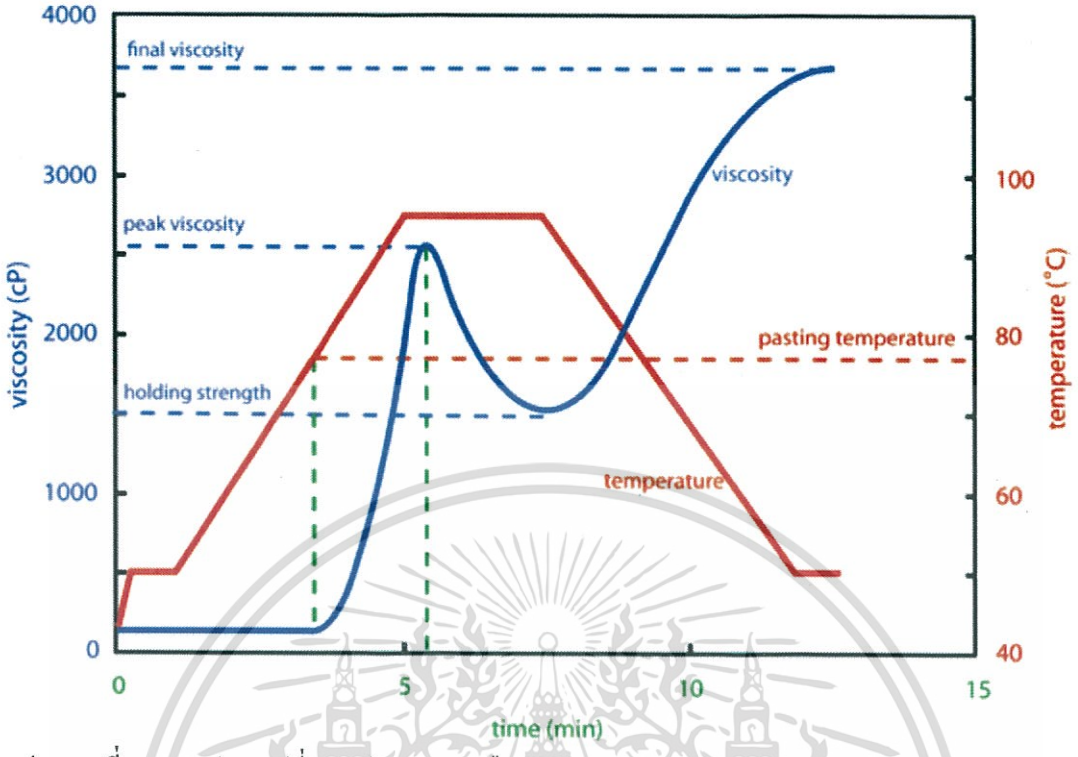
1.2 นำกระบอกใส่เข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืด RVA โดยตั้งโปรแกรมเครื่องให้คงอุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และค่อยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส /1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 2.40 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส /1 นาที จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 2 นาที รวมเวลาวิเคราะห์ทั้งหมด 13 นาที



รูปผนวกที่ 13 ขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดด้วยเครื่อง RVA

1.3 บันทึกค่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback) โดยรายงานค่าเป็นหน่วย RVU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ 14 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด

คำอธิบายการเปลี่ยนแปลงความหนืด

Peak Time (นาที) = เวลาที่เกิดของความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity)

Pasting Temperature (°C) = อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) คือ อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด เมื่อมีการให้ความร้อนเม็ดแป้งเริ่มดูดซึมน้ำเข้าไปทำให้เกิดการพองตัวออกและมีความหนืดเพิ่มขึ้น หรืออุณหภูมิที่ข้าวเริ่มสุก

Peak Temperature (°C) = อุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak viscosity)

Peak Viscosity (RVU) = ความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อน เป็นจุดที่เกิดเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ แป้งจะสุกทั้งหมดบ่งบอกความหนืดของแป้งที่อุณหภูมิร้อน

Holding (RVU) = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น

Final Viscosity (RVU) = ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง ใช้บ่งชี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหรือเจลที่เกิดขึ้น สัมพันธ์กับค่าความแข็งของข้าวสุก คือ ถ้า Final Viscosity มากแสดงว่าเป็นข้าวแข็งหรือมีปริมาณอะไมโลสสูงนั่นเอง

Breakdown (RVU) = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Peak viscosity- Holding strength) ถ้า Breakdown มีค่าน้อย แสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงทนต่ออุณหภูมิมาก หรือเม็ดแป้งมีความคงทนต่ออุณหภูมิ อัตราการกวน แรงที่ใช้ในการกวน หลังการเกิดเจลาติไนเซชันได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Setback (RVU) = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Final viscosity – Holding) แสดงถึง ความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน หรือเรียกว่า retrogradation ถ้า Setback มีค่ามาก แสดงว่าแป้งมีความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ได้ดี

2. ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลาย

(Water Absorption Index, WAI and Water solubility Index, WSI) (Narkrugsa, 1996)

2.1. วิธีการตรวจสอบ

2.1.1 ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 2.5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ในหลอดหมุนเหวี่ยง และปิดฝาให้สนิท

2.1.2 เขย่าใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2.1.3 นำของผสมมาชั่งน้ำหนัก แล้วทำการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 rpmเป็นเวลา 10 นาที ชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นของแข็งที่เหลืออยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง หลังจากเทของเหลวแยกออกไป แล้วนำไปคำนวณค่าความสามารถในดูดซับน้ำ

2.1.4 นำส่วนที่เป็นของเหลว 10 มิลลิลิตร ซึ่งได้จากการเทแยกออกมาจากข้อ 1.3 ใส่ลงใน aluminum can ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (หรือจนแห้ง) แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการละลายน้ำ

2.2. สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ความสามารถในการดูดซับน้ำ = น้ำหนักตะกอนแป้งหลังปั่นเหวี่ยง/น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น

ความสามารถในการละลายน้ำ =(น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง/น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น) x100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Brand-William et al. (1995) DPPH เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย สารสกัด หรือสารออกฤทธิ์สามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ (DPPH) วิธี DPPH มีหลักการคือ อิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ (unpaired electron) ในโมเลกุลของอนุมูล DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 517 นาโนเมตร ทำให้มองเห็นเป็นสีม่วง และเมื่ออนุมูล DPPH ถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่มีคุณสมบัติเป็น hydrogen donor อนุมูล DPPH จะเปลี่ยนเป็น DPPH-H ซึ่งการสูญเสียอิเล็กตรอนดังกล่าวจะทำให้อนุมูล DPPH สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้น้อยลง สารดังกล่าวจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดีจะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

1.1 สารเคมี

1.1.1. สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ปรับปริมาตรรวมให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.1.2. เอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

1.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

1.2.1. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลาย DPPH โดยให้ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ปรับปริมาตรเอทานอลให้ปริมาตรรวมเป็น 50 มิลลิลิตร

1.2.2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลายโทรลอกซ์ โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12 และ 0.14 มิลลิลิตร ตามลำดับ

1.2.3.ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตร

1.2.4. เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร

1.2.5.ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ในที่มืด

1.2.6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

1.2.7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การสกัดสารต้านอนุมูลอิอิสระในตัวอย่างแป้งข้าวพอง

1.3.1.ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวพอง 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.3.2.เติมเอทานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

1.3.3.เซนติฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 6,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

1.3.4.ดูดส่วนใสที่แยกออกมาใส่ขวดที่ปิดสนิท แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป

1.4 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.4.1.ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.12 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

1.4.2.ปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.1 มิลลิลิตร และเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 1.2 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ จะต้องเท่ากับ 1.08 มิลลิลิตร

1.4.3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

1.4.4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ เป็น blank

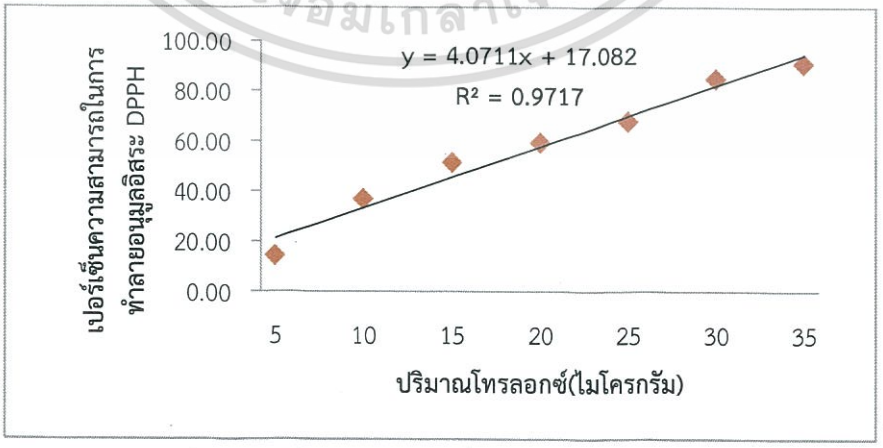
1.4.5. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยแทนค่าในสมการดังนี้

{1- (ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง / ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม)} x 100

1.5 การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = [1-(ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง/ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม)]x 100



รูปผนวกที่ 15 กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

$y = 4.0711x + 17.082$ ($R^2 = 0.9717$)

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

x = ค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH (ไมโครกรัม/0.1 มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่าง โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

2. ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidative potential, FRAP)

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะใช้วิธีที่รายงานโดย Benzie และ Strain (1999) มีหลักการคือ ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe3+) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe2+) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

2.1 สารเคมี

2.1.1. อะซิเตท บัฟเฟอร์ (acetate buffer) pH 3.6 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ชั่งโซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต 3.1 กรัม ผสมกับกรดแกลเซียมอะซิติก 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น1 ลิตร

2.1.2. สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ชั่ง TPTZ 0.156 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

2.1.3. สารละลาย $FeCl_2 \cdot 6H2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ชั่ง $FeCl_3 \cdot 6H2O$ 0.27 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

2.1.4. FRAP reagent ผสมสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยให้มีอัตราส่วนของ อะซิเตท บัฟเฟอร์ : สารละลาย TPTZ : สารละลาย $FeCl_2 \cdot 6H2O$ เป็น 10 : 1 : 1 โดยปริมาตร ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกวัน

2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

2.2.1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, และ 0.06 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2. เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

2.2.3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 8 นาที

2.2.4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

2.2.5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณโทรลอกซ์ในหน่วยไมโครกรัม

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างสารสกัด

2.3.1. ปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.10 มิลลิลิตร

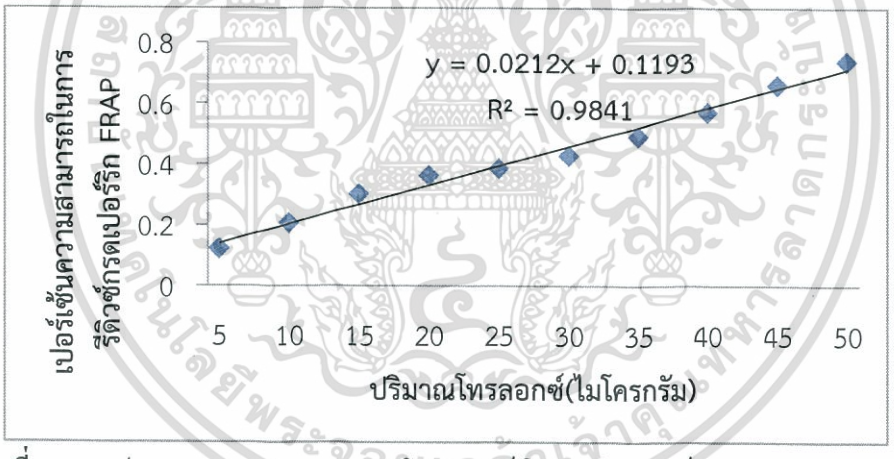
2.3.2. เติมสารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร

2.3.3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที

2.3.4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร

2.4 การคำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างสารสกัด โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์



รูปผนวกที่ 16 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ในการวิเคราะห์ FRAP

สมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

$y = 0.0212x + 0.1193$ ($R^2 = 0.9841$)

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

x = ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ฟอร์ริก (ไมโครกรัม/0.10 มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวมิตภาณี พิพัฒนา

ที่อยู่ 293 หมู่ที่ 16 ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57000

E-mail orangery_orangery@hotmail.com

โทรศัพท์ 084-1690355

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย ปีการศึกษา 2548
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ปีการศึกษา 2554
- กำลังศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้