

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง

STUDY OF THE OPTIMAL CONDITION FOR PRODUCING
A PARBOILED RICE FROM NIAW SAN-PAH-TAWNG



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง

STUDY OF THE OPTIMAL CONDITION FOR PRODUCING
A PARBOILED RICE FROM NIAW SAN-PAH-TAWNG



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF THE OPTIMAL CONDITION FOR PRODUCING
A PARBOILED RICE FROM NIAW SAN-PAH-TAWNG



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง

ผู้จัดทำ

1. นายจิตรเทพ เนืองจำนงค์ รหัสนักศึกษา 56010175
2. นายรัชโย แก้วประการ รหัสนักศึกษา 56011015
3. นางสาววิลาสินี กระแสโท รหัสนักศึกษา 56011144



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.มธรรดา จิโนรส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง		
นักศึกษา	นายจิตรเทพ	เนืองจ่านงค์	รหัสนักศึกษา 56010175
	นายรัชโย	แก้วประการ	รหัสนักศึกษา 56011015
	นางสาววิลาสินี	กระแสโท	รหัสนักศึกษา 56011144
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
หลักสูตร	วิศวกรรมอาหาร		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.มธุรดา	จิโนรส	

บทคัดย่อ

การทำข้าวหนึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพการสีข้าวที่ทำให้ข้าวหักน้อยลง เนื่องจากปฏิกิริยาเจลาทีไนเซชันซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์ตันข้าวสูงขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยวิตามินบีและอีจะมีปริมาณสูงขึ้นจากการซึมเข้าไปในข้าวของสารอาหารในจากเปลือกระหว่างการแช่ โดยทั่วไปนิยมผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง จึงยังไม่ค่อยมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ดังนั้น ปริญญานิพนธ์นี้จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และได้รับการส่งเสริมและขยายพันธุ์อย่างมากในปัจจุบัน รวมทั้งพัฒนาและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพเพื่อวิเคราะห์การเกิดเจลาทีไนเซชัน โดยศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเปลือกและการให้ความร้อน ซึ่งล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวทั้งเชิงกายภาพ (ขนาดรูปร่าง สี ความชื้น และเปอร์เซ็นต์ตันข้าว) เชิงเคมี-กายภาพ (ปริมาณแอมิโลส และระดับการเกิดเจลาทีไนเซชัน) ตลอดจนเชิงการหุงต้ม (ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส) โดยข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น $13.5 \pm 5 \%$ (d.b.) ทำการทดลองแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C หาคความชื้นทุก ๆ ชั่วโมง จากนั้นทำการให้ความร้อนแก่ข้าวเปลือกโดยใช้การนึ่งด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที และโดยนึ่งในหม้ออัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 1.2 kg/cm² เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที จากนั้นนำข้าวที่ได้ไปทำแห้งด้วยการตากจนได้ความชื้นต่ำกว่า 14 % (d.b.) จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือก คือ อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาสั้นที่สุดที่ทำให้ข้าวมีความชื้นสูงสุดจนเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ 49 % (d.b.) แต่เปลือกข้าวไม่ปริแตก ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนจนข้าวเปลือกเกิดการเจลาทีไนเซชันอย่างสมบูรณ์โดยใช้เวลาน้อยที่สุด ได้แก่ 20 นาที และ 5 นาที สำหรับกรณีการนึ่งด้วยไอน้ำและให้ความร้อนในหม้ออัดไอน้ำ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพเพื่อการวิเคราะห์การเกิดเจลาทีไนเซชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Study of the optimal condition for producing a parboiled rice from Niaw San-pah-tawng		
Students	JITTATHEP	NEUNGJAMNONG	Student ID. 56010175
	RATCHAYO	KAEWPRAKARN	Student ID. 56011015
	WILASINEE	KRASAETHO	Student ID. 56011144
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Food Engineering		
Academic Year	2016		
Project Advisor	Dr. Maturada Jinorose		

Abstract

Parboiling is a process that helps improve the milling quality of paddy, resulting in less breakage of the grains due to the occurrence of gelatinization of rice starch. This subsequently leads to increased head rice yield. Parboiling also leads to more nutritious milled rice as vitamin B and E, which naturally locate in the bran layer, could diffuse into the rice endosperm (edible portion of the grain) during the soaking step and remain there even after milling. In general, parboiled rice is produced from high-amylose rice. Study on the optimum parboiling conditions for waxy rice, which has low-amylose content is therefore lacking. This thesis aimed at investigating the optimum conditions for the production of parboiled rice from Niaw San-pah-tawng waxy rice, which is a high-yield variety and has recently been widely promoted in Thailand. The thesis also aimed to develop and study the feasibility of an image analysis system to study the process of gelatinization. The effects of the soaking temperature and time as well as mode of heating, which affect the properties of parboiled rice, be they physical (size, shape, color, moisture content and head rice yield), physico-chemical (amylose content and degree of gelatinization) and cooking (texture, sensorial characteristics) properties were evaluated. Paddy with an initial moisture content of 13.5 ± 5 % (d.b.) was soaked at either 50, 60 or 70 °C; moisture content of the paddy was determined at every one hour. Soaked paddy was then either steamed for 5, 10, 15, 20, 25 or 30 min or autoclaved at 121 °C 1.2 kg/cm² for 3, 5 or 7 min and sun dried until its moisture content below 14 % (d.b.). It was found that the optimum soaking condition was the temperature of 60 °C and time

of 5 h, which was the shortest time that allowed the paddy to reach an equilibrium moisture content of 49 % (d.b.) but with no cracks of the husk. The shortest heating time that allowed complete gelatinization was 20 and 5 min, respectively, in the cases of streaming and autoclaving. Image analysis was noted to be capable of analyzing the process of gelatinization.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.มธุรดา จิโนรส ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาในการทำโครงการตลอดจนให้คำชี้แนะแนวทางในการดำเนินงาน อีกทั้งช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ส่งผลให้ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับรางวัล Best Innovation Award ในงาน KMITL Engineering Project Day 2017 ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้ความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีทั้งในด้านการศึกษา คุณธรรม และการใช้ชีวิต ตลอดจนให้การสนับสนุนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณมูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง (ภาฯ) ยามยาก สภากาชาดไทย สำหรับการสนับสนุนข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณทุนนวัตกรรมสร้างชาติสำหรับทุนสนับสนุนโครงการนวัตกรรมนี้โครงการละ 20,000 บาท ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยศูนย์พัฒนานวัตกรรมและบริการทางวิศวกรรม (Engineer Innovation Development and Technology Services Center)

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยดูแลและให้กำลังใจในการศึกษา และสนับสนุนโอกาสด้านการศึกษาตลอด 4 ปี อย่างเต็มที่

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญโท นางสาวอัญญนันท์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการทำโครงการ

และขอขอบคุณนางสาววารารณ์ มาไพศาลทรัพย์ นายอำนาจ คุตะคุย นางบุญนำ ผลโพธิ์ และนางสาวสุธัญญา ถาดนาค ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ รวมถึงเพื่อน ๆ วิศวกรรมอาหารรุ่นที่ 18

นายจิตรเทพ เนื่องจำนงค์

นายรัชโย แก้วประการ

นางสาววิลาสินี กระแสโท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ข้าวหนึ่ง.....	3
2.2 กระบวนการแปรรูปข้าวหนึ่ง.....	3
2.2.1 การทำความสะอาดและคัดแยกข้าวเปลือก.....	3
2.2.2 การแช่ข้าวเปลือก.....	3
2.2.3 การนึ่งด้วยไอน้ำ.....	4
2.2.4 การทำแห้ง.....	4
2.3.1 การกะเทาะเปลือกข้าวและสีข้าวหนึ่ง.....	5
2.3 สมบัติคุณภาพข้าวหนึ่ง.....	5
2.3.2 สมบัติทางกายภาพของข้าวหนึ่ง.....	5
2.3.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 มาตรฐานข้าวหนึ่ง.....	18
2.5 วิธีการทดสอบการยอมรับหรือการทดสอบผู้บริโภค.....	18
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	21
3.1 วัตถุประสงค์.....	21
3.2 อุปกรณ์.....	21
3.3 วิธีการทดลอง.....	22
3.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือก.....	22
3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเจลลาทีโนเซชัน.....	23
3.3.3 การทำแห้งและการกะเทาะข้าวเปลือก.....	23
3.4 การศึกษาสมบัติคุณภาพของข้าวหนึ่ง.....	23
3.4.1 ความชื้น.....	23
3.4.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว.....	23
3.4.3 การวัดสีข้าวหนึ่ง.....	24
3.5 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน.....	24
3.5.1 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)	24
3.5.2 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (Alkali Test)	24
3.5.3 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพ.....	25
3.6 การศึกษาสมบัติการหุงต้ม.....	25
3.6.1 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส.....	25
3.6.2 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค.....	25
3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	26
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแช่ข้าวเปลือก.....	26
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการให้ความร้อน.....	27
4.3 การศึกษาทำแห้งด้วยวิธีการตาก.....	29
4.4 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็น่าเป็เซบระเยชนดำนการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของข้าวนี้้ง.....	30
4.6 การศึกษาวิธีการประเมินระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน.....	31
4.6.1 การศึกษาอัตราการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเทียลสแกนนิ่งแคลลอรีมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC).....	31
4.6.2 การศึกษาอัตราการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (Alkali Test).....	32
4.6.3 การศึกษาอัตราการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพ.....	33
4.7 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis).....	34
4.8 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก.....	42
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	43
ภาคผนวก ข แบบประเมินผลการทดลองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพันธุ์เหนียวหุงสุก.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รูปร่างของเมล็ดข้าว.....	7
2.2 สัมประสิทธิ์สำหรับสมการคำนวณหา YI.....	7
2.3 ข้าวและวัตถุดิบที่อาจมีปนได้ในข้าวเปลือกสด.....	10
2.4 ข้าวและวัตถุดิบที่อาจมีปนได้ในข้าวเปลือกแห้ง.....	10
2.5 แสดงคะแนนลักษณะการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายเบส.....	15
2.6 สเกลฮีโดนิคที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของวิธีทดสอบฮีโดนิค.....	19
4.1 ผลการศึกษาของการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำและให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC).....	32
4.2 ผลการสลายตัวของข้าวหนึ่งในของเมล็ดข้าวสารละลายต่าง.....	33
4.3 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในข้าวเหนียวและข้าวหนึ่งหุงสุก.....	36
4.4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 6 ด้าน ที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียวและข้าวหนึ่ง.....	37
ก.1 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	44
ก.2 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	45
ก.3 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	46
ก.4 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ.....	47
ก.5 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ.....	48
ก.6 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการทำแห้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ.....	49
ก.7 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการทำแห้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ.....	50
ก.8 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวควบคุมและข้าวหนึ่งด้วยการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ.....	51

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.9 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ.....	52
ก.10 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ.....	53
ก.11 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ.....	54
ก.12 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ.....	55
ก.13 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำระหว่างการขัดสี.....	56
ก.14 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้ออัดไอน้ำระหว่างการขัดสี.....	57
ก.15 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าว Control Rice.....	58
ก.16 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่เวลา 10 นาที.....	59
ก.17 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่เวลา 20 นาที.....	60
ก.18 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำที่เวลา 5 นาที.....	61
ก.19 ผลการทดลองหาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยการทดสอบแบบกด.....	62
ก.20 ผลการทดลองหาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีทดสอบ Texture Profile Analysis.....	63
ก.21 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 6 ปัจจัย.....	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขนาดของเมล็ดข้าว.....	6
2.2 การแบ่งมาตราส่วน.....	9
2.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนของตารางที่มีข้อมูลกับขนาดของมาตราวัด.....	9
2.4 ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ช.....	12
2.5 คะแนนประเมินค่าการสลายตัวในสารละลายต่าง.....	15
2.6 ลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งข้าว.....	17
2.7 การเปรียบเทียบลักษณะเมล็ดข้าวตัดขวางของข้าว.....	18
3.1 ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ.....	21
4.1 ความขึ้นของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างการแช่ที่เวลาต่าง ๆ.....	26
4.2 ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างการกระบวนการแช่.....	27
4.3 ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวนึ่งหลังกระเทาะเปลือก.....	28
4.4 ระดับการเกิดเจลที่ในเซชันของข้าวนึ่งเปลือกระหว่างการให้ความร้อนที่เวลาต่าง ๆ.....	28
4.5 ความขึ้นของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างการทำให้แห้งด้วยวิธีการตากแดดที่เวลาต่าง ๆ.....	29
4.6 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังผ่านกระบวนการขัดสีที่เวลาในการให้ความร้อนต่าง ๆ.....	30
4.7 ค่าของสีของเมล็ดข้าวนึ่งหลังผ่านกระบวนการผลิตข้าวนึ่งที่สถานะต่าง ๆ กับข้าวนึ่งที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่ง.....	31
4.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของข้าวนึ่งระหว่างการต้มที่เวลาต่าง ๆ.....	33
4.9 ค่ามิติแฟร็กทัลของเมล็ดข้าวนึ่งระหว่างการต้มที่เวลาต่าง ๆ.....	34
4.10 ความแข็งของเมล็ดข้าวนึ่งระหว่างการหุงต้มที่เวลาต่าง ๆ.....	35
4.11 ความเหนียวนุ่มของเมล็ดข้าวนึ่งระหว่างการหุงต้มที่เวลาต่าง ๆ.....	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การผลิตข้าวหนึ่งเป็นการแปรรูปและเพิ่มมูลค่าข้าวเปลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมข้าวหนึ่งไทย เริ่มมีชื่อเสียงอย่างมากในต่างประเทศ จนกลายเป็นประเภทข้าวส่งออกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไม่ต่ำกว่าปีละ 30,000-50,000 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2559) ข้าวหนึ่งนั้นเป็นที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศแถบแอฟริกา ตะวันออกกลาง และยุโรป ซึ่งในปี พ.ศ. 2558 ไทยส่งออกข้าวได้ 9.80 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 4,612.91 ล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยเป็นข้าวหนึ่ง 2.32 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 893.56 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2559) ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาราคาข้าวเปลือกตกต่ำ การแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวหนึ่งนับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวเปลือกได้ นอกจากนี้การแปรรูปข้าวหนึ่งยังช่วยลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสีได้เนื่องจากการเกิดเจลาทีไนเซชัน (Gelatinization) ช่วยช่อมรยข้าว เพิ่มความยืดหยุ่น ทำให้เมื่อนำไปขัดสีการแตกหักจึงลดลง เพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (อรอนงค์, 2546) ทว่าในการผลิตข้าวหนึ่งให้ได้คุณภาพที่ดี จำเป็นจะต้องทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต จึงจะสามารถผลิตข้าวหนึ่งออกมาได้อย่างมีคุณภาพ ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์มีสมบัติเชิงกายภาพ และเคมี-กายภาพ ตลอดจนสมบัติการหุงต้มที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปนิยมผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (อรอนงค์, 2546) จึงยังไม่ค่อยมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ดังนั้นปริญญาานิพนธ์นี้จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (Niaw San-pah-tawng waxy rice) ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และได้รับการส่งเสริมและขยายพันธุ์อย่างมากในปัจจุบัน (มูลนิธิข้าวไทย, 2559) รวมทั้งพัฒนาและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพเพื่อวิเคราะห์การเกิดเจลาทีไนเซชัน

กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งประกอบด้วย การแช่ การให้ความร้อน และการตากแห้ง ในการผลิตข้าวหนึ่งให้ได้คุณภาพที่ดี จำเป็นจะต้องทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ประกอบด้วยการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่ง อันได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการแช่ข้าวเปลือก เวลาและวิธีการให้ความร้อนที่เหมาะสมในกระบวนการทำให้ข้าวสุกหรือเกิดการเจลาทีไนเซชัน รวมทั้งศึกษาสมบัติทางคุณภาพของข้าวหนึ่ง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง และสมบัติคุณภาพของข้าวหนึ่งที่ได้จากการศึกษา จะทำให้สามารถผลิตข้าวเหนียวหนึ่งที่ได้คุณภาพและช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต รวมถึงสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ได้แก่ กระบวนการแช่และการให้ความร้อนข้าวเปลือกที่มีผลต่อสมบัติของข้าวหนึ่ง เพื่อลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสี เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพเพื่อวิเคราะห์การเกิดเจลาทีไนเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจาก ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง Niaw San-pah-tawng waxy rice (*Oryza sativa* L. var. Niaw San-pah-tawng)

1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่ง อันได้แก่ อุณหภูมิและเวลา ที่เหมาะสมในกระบวนการแช่ข้าวเปลือก

1.3.3 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการให้ความร้อนข้าวเปลือกด้วยไอน้ำ ด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำและการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 1.2 kg/cm²

1.3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวหนึ่งเชิงกายภาพ (ขนาด รูปร่าง สี ความชื้น และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว) เชิงเคมี-กายภาพ (ระดับการเกิดเจลาทีโนเซชัน) ตลอดจนสมบัติการหุงต้ม (ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส)

1.3.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพเพื่อประเมินระดับการเกิดเจลาทีโนเซชัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สถานะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง และทราบสมบัติเชิงกายภาพสมบัติเชิงเคมี-กายภาพและสมบัติการหุงต้มของข้าวหนึ่งที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์

บทที่ 2

ทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวนึ่ง (Parboiled rice)

ข้าวนึ่ง คือ ข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกด้วยกระบวนการให้ความร้อนขึ้น โดยนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำทำให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดจนเข้าสู่ภาวะสมดุล จากนั้นทำการให้ความร้อนข้าวเปลือกด้วยไอน้ำ เพื่อให้เนื้อในเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มสุกบางส่วน โดยเฉพาะที่ผิวรอบนอกของเมล็ด แล้วทำข้าวเปลือกนึ่งให้แห้ง จนมีความชื้นใกล้เคียงกับข้าวเปลือกธรรมดา และต้องเก็บรักษาไว้จนกว่าความชื้นจะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการสีข้าวเหมือนข้าวเปลือกธรรมดา (อรอนงค์, 2546) เพื่อจะทำให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด ดังนั้น กระบวนการแปรรูปข้าวนึ่งจึงมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวเปลือกธรรมดาโดยเฉพาะข้าวเปลือกที่มีคุณภาพในการสีต่ำหรือข้าวเปลือกเปียกให้เป็นข้าวเปลือกนึ่ง แล้วทำแห้งและสีเป็นข้าวสารนึ่ง เพื่อลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสี เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เช่นวิตามินบี และแร่ธาตุบางชนิด ซึมเข้าสู่เนื้อในเมล็ดข้าวพร้อมกับน้ำที่เข้าไปในเมล็ดขณะแช่ข้าวเปลือกในน้ำ (อรอนงค์ 2546)

2.2 กระบวนการแปรรูปข้าวนึ่ง

2.2.1 การทำความสะอาดและคัดแยกข้าวเปลือก

เพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเปลือก เช่น เศษหญ้า เมล็ดพืชอื่น กรวด ดิน ทราย ตลอดจนลักษณะข้าวเปลือกที่ไม่เหมาะสม โดยใช้เครื่องทำความสะอาดโดยวิธีการลอยข้าวเปลือกในน้ำ เพื่อแยกหิน ดิน ทราย และข้าวเปลือกที่ไม่สมบูรณ์ เช่น เมล็ดที่มีท้องไข่มาก เมล็ดลีบ เมล็ดอ่อน ซึ่งมักจะเบากว่าข้าวเปลือกธรรมดา จึงลอยขึ้นบนผิวน้ำ ทำให้สามารถแยกออกได้ง่าย (อรอนงค์, 2546)

2.2.2 การแช่ข้าวเปลือก

เพื่อให้ น้ำที่แช่ซึมผ่านเปลือกเข้าสู่เนื้อในเมล็ด จนเพียงพอต่อการเกิดเจลาทีนในเซชันในกระบวนการให้ความร้อน (Juliano, 1985) แต่ไม่ทำให้เปลือกนอกปริแตกออกจากกัน โดยทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้น การใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ระยะเวลาในการแช่ข้าวลดลงเนื่องจากช่วยเร่งอัตราการดูดซึมน้ำ (Juliano, 1985) แต่ น้ำที่แช่ต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทีนในเซชัน (Gelatinization temperature) เพื่อไม่ทำให้เปลือกหุ้มของเมล็ดข้าวปริแตกและทำให้สารอาหารต่างๆที่อยู่ในเมล็ดข้าวละลายลงสู่น้ำที่แช่ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้แช่ข้าวอยู่ที่ประมาณ 60 - 70 °C ระยะเวลาในการแช่อย่างน้อย 3 - 5 ชั่วโมง (กนกกาญจน์, 2558) โดยข้าวนึ่งจะมีสีเข้มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทีนในเซชันของสตาร์ช (อรอนงค์, 2546) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้แช่ควรมี pH ประมาณ 5 จะทำให้ข้าวนึ่งมีสีอ่อน แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นทำให้ข้าวนึ่งมีสีเข้มขึ้น ส่วนกลิ่นและรสชาติหรือกลิ่นรสของข้าวนึ่งเป็นผลจากการแช่ข้าวเปลือก เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำ และระยะเวลาในการแช่ที่นานจะมีผลต่อการย่อยสลายของสารอาหารที่มีในเมล็ดข้าว แต่ถ้าทำการแช่ข้าวเปลือกนานเกิน 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดกลิ่นหมักจากการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียในน้ำที่แช่ เกิดกลิ่นรสที่ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ชอบ และเป็น

สาเหตุหนึ่งซึ่งต้องพัฒนา ปรับปรุงขั้นตอนการแช่โดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดสี กลิ่น และกลิ่นรสที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยรักษาอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ตลอดเวลา (อรอนงค์, 2546)

2.2.3 การนึ่งด้วยไอน้ำ

เพื่อจุดประสงค์ให้เมล็ดสตาร์ชในข้าวเปลือกเกิดการเจลาติไนเซชันด้วยความร้อน เป็นการเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังจากการสี ปรับปรุงสมบัติของข้าวเปลือกนึ่งให้เก็บรักษาได้ดีขึ้น และคุณภาพในการหุงต้มของข้าวนึ่งดีขึ้น เนื่องจากการนึ่งด้วยไอน้ำอุณหภูมิของระบบมักสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ซึ่งต้องควบคุมระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพียงพอที่จะทำให้สตาร์ชเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ ถ้าสตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันไม่สมบูรณ์ ลักษณะข้าวสารนึ่งที่ได้จะมีสี ขาวขุ่นที่ใจกลางของเมล็ดข้าวหนึ่ง ข้าวหนึ่งเมื่อนำมาหุงให้สุกจะใช้เวลานาน (อรอนงค์, 2546; กนกกาญจน์, 2558) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในข้าวเปลือก ดังนี้

ความชื้นในข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจากการควบแน่นของไอน้ำที่ผ่านเข้าไปกระทบข้าวเปลือก สารอาหารที่ละลายได้ในน้ำจะกระจายภายในเมล็ดของข้าวเปลือก ความร้อนจากไอน้ำทำให้สตาร์ชภายในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน รอยร้าวของผิวเมล็ดข้าวเชื่อมประสานกันจากการเจลาติไนเซชันของสตาร์ชในเนื้อเมล็ดข้าว ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวแน่น และเกาะตัวกัน เปลือกชั้นในที่หุ้มเนื้อในเมล็ด จะนิ่มขึ้นและติดแน่นกับเนื้อในเมล็ด ทำให้แยกออกยากในขั้นตอนการสีข้าวเปลือกนึ่ง ความร้อนจากไอน้ำมีผลให้หยุดการงอกของข้าวเปลือก ทำลายสปอร์ของเชื้อรา ไซแมลง ตัวอ่อนของแมลงหมอด และเอนไซม์ถูกทำลาย ถือเป็นการทำไร้เชื้อ (Sterilization) ข้าวเปลือกทางหนึ่งด้วย ส่วนไขมันซึ่งไม่สามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์ได้จึงแยกออกจากเมล็ดไปสู่เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นผลให้รำข้าวมีปริมาณไขมันสูง (Juliano, 1985) มีผลให้สามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกนึ่งได้นานขึ้น

ขั้นตอนการนึ่งด้วยไอน้ำนี้มีผลต่อคุณภาพ และลักษณะของข้าวหนึ่งภายหลังการสี ซึ่งข้าวหนึ่งที่มีคุณภาพการผลิตที่ดีควรมีสีเหลืองอ่อนหรือน้ำตาลอ่อน เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสาร โดยปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณน้ำที่ข้าวเปลือกดูดซับไว้จากขั้นตอนการแช่ น้ำ เวลาในการนึ่งด้วยไอน้ำ อุณหภูมิ หรือความดันของไอน้ำซึ่งจะทำให้ได้ข้าวหนึ่งต่างกัน (อรอนงค์, 2546) ดังนี้

- ข้าวหนึ่งสมบูรณ์ (Fully parboiled rice) หมายถึงข้าวหนึ่งที่สตาร์ชภายในเนื้อเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน อย่างสมบูรณ์ทั้งเมล็ดโดยเฉพาะในใจกลางเมล็ดข้าว
- ข้าวหนึ่งบางส่วน (Partially or surface parboiled rice) หมายถึงข้าวหนึ่งที่สตาร์ชภายในเนื้อเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน เฉพาะผิวนอกของเนื้อในเมล็ด ส่วนในเมล็ดยังมีสีขาวขุ่น เนื่องจากยังไม่เกิดการเจลาติไนเซชัน
- ข้าวหนึ่งสีอ่อน (Lighted parboiled rice) หมายถึงข้าวหนึ่งที่ผ่านไอน้ำด้วยอุณหภูมิต่ำ และเวลาสั้น เพื่อให้สีของข้าวหนึ่งอ่อน
- ข้าวหนึ่งสีเข้ม (Dark parboiled rice) หมายถึงข้าวหนึ่งที่ผ่านไอน้ำด้วยอุณหภูมิสูง และเวลานาน เพื่อให้สีของข้าวเข้ม

2.2.4 การทำแห้ง

เพื่อจุดประสงค์ในการลดความชื้นในข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการสี และการเก็บรักษา กระบวนการทำแห้งข้าวเปลือกนึ่งแตกต่างจากการทำแห้งข้าวเปลือกธรรมดา เนื่องจากข้าวเปลือกนึ่งมีความชื้นสูงประมาณ 35 % w.b. (Juliano, 1985) และเนื้อสัมผัสของเมล็ดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวแตกต่างกันเพราะสสารขี้นเนื้อเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน ทำให้ลักษณะเนื้อแน่น เกาะตัวกัน ต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 100 °C ในการทำแห้งระยะแรกจนข้าวเปลือกหนึ่งมีความชื้นประมาณ 16 % w.b. (Juliano, 1985) ควรหยุดพักการให้ความร้อน เพื่อป้องกันการแตกตัวของเปลือกหุ้มแข็ง และการเกิดรอยร้าวของเนื้อในเมล็ด ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดพักข้าวประมาณ 2 - 48 ชั่วโมง การหยุดพักให้เกิดการปรับสภาพของความชื้นภายในเมล็ดของข้าวเปลือกหนึ่ง (annealing) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำข้าวเปลือกหนึ่งแห้งระยะที่สอง เพื่อให้ได้ข้าวสารหนึ่งหลังจากการสีเป็นข้าวเต็มเมล็ดมากขึ้น เมล็ดข้าวไม่ร้าวหรือหักง่ายในขั้นตอนการสี หากทำแห้งเมล็ดมากเกินไปเมื่อนำไปหุงสุก รูปร่างของเมล็ดข้าวสุกจะบานแตกหรือหักเป็นชิ้นเล็กๆ การเปลี่ยนแปลงอีกอย่างหนึ่งคือ การเกิดริโทเกรเดชันของข้าวหนึ่ง เกิดเมื่อเก็บรักษาข้าวไว้นานๆ หรือเกิดในขั้นตอนการทำแห้ง ซึ่งส่งผลต่อความแข็ง คุณภาพการขัดสี อัตราเร็วการหุงสุก การละลายของสสารขี้น ความหนืด เป็นต้น

2.2.5 การกะเทาะเปลือกข้าวและสีข้าวหนึ่ง

เพื่อจุดประสงค์ในการกะเทาะเปลือกหุ้มแข็งออกเป็นข้าวกล้องหนึ่ง และทำการขัดข้าวข้าวกล้องหนึ่งให้ได้เป็นข้าวสารหนึ่ง โดยผ่านขั้นตอนการสีทำนองเดียวกันกับการสีข้าวเปลือกธรรมดา คัดขนาดข้าวเปลือกหนึ่งให้มีความหนา ความยาว และน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้สะดวกในการกะเทาะเปลือกข้าวหนึ่งให้เหมาะสม และทำให้เกิดเมล็ดหักน้อย โดยเปลือกหุ้มแข็งของข้าวเปลือกหนึ่งจะมีลักษณะแยกจากเนื้อในเมล็ดดีกว่าข้าวเปลือกธรรมดา เนื่องจากผ่านการแช่ การนึ่ง และการทำแห้งมาแล้ว จึงกะเทาะง่ายโดยไม่ทำให้เมล็ดข้าวหัก นอกจากนี้เนื้อในเมล็ดซึ่งสสารขี้นเกิดการเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ทำให้เนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวแข็งแรงแรง ไม่มีรอยร้าว จากการประสานกันของเมล็ดสสารขี้นที่อุ้มน้ำ และพองตัวขณะเกิดเจลาติไนเซชัน จึงทำให้เมล็ดข้าวไม่เปราะ และหักในขณะกะเทาะเปลือก และขัดข้าวข้าวเปลือกขาวทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดเพิ่มขึ้นเกือบ 100 % เมื่อเทียบกับการกะเทาะเปลือกและขัดข้าวข้าวเปลือกที่คุณภาพต่ำ สำหรับลักษณะสีของข้าวสารหนึ่งจะเกิดเนื่องจากการตากแห้งที่ไม่ดี สภาพอากาศที่ไม่ดีในระหว่างการเก็บเกี่ยว เช่น ข้าวเปลือกชื้นเกินไป เป็นต้น (อรอนงค์, 2546)

2.3 สมบัติคุณภาพของข้าวหนึ่ง

2.3.1 สมบัติทางกายภาพของข้าวหนึ่ง

ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (Whole kernels) และ ปริมาณข้าวหัก (Broken)

การวัดข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหัก เพื่อจุดประสงค์ในการใช้ประเมินราคาข้าว คือ ถ้ามีปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวมาก ราคาข้าวจะสูง ถ้ามีปริมาณข้าวหักปะปนอยู่มากจะทำให้ราคาข้าวต่ำลง (อรอนงค์, 2547) โดยที่

ข้าวเต็มเมล็ด (Whole kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก และให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

ต้นข้าวหรือข้าวต้น (Head rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่มีความยาวมากกว่าข้าวหักของแต่ละชั้นคุณภาพแต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ด และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ 80% ของเมล็ดขึ้นไป (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวหัก (Broken) หมายถึง เมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึง 80 % ของเมล็ด (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555) สาเหตุการแตกหักอาจเนื่องมาจากเมล็ดข้าวยาวมากหรืออ้วน หรือมีข้าวท้องไข่มากเพราะสตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนเซชันที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ข้าวหักระหว่างการสี ข้าวหนึ่งจะแยกเปลือกออกจากเมล็ดได้ดีกว่าข้าวเปลือกธรรมดา เพราะผ่านกระบวนการแช่ การนึ่ง และการทำแห้งมาแล้ว และสตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนเซชันสมบูรณ์ทำให้ออยรัวของผิวเมล็ดข้าวเชื่อมประสานกัน ทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง แกร่ง เกาะตัวกันแน่น เมล็ดข้าวไม่เปราะ จึงกะเทาะง่ายและไม่หักในขณะกะเทาะเปลือก (อรอนงค์, 2547) ขนาดข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขนาดของเมล็ดข้าว (รวมมาตรฐานสินค้าข้าวไทย, 2559)

โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

$$\% \text{ Head rice Yield} = \frac{\text{Weight of whole kernels}}{\text{Weight of paddy samples}} \times 100 \% \quad (2.1)$$

(ถ้า % ต้นข้าวมากกว่า 75 % จะถือว่าเป็นข้าวเต็มเมล็ด) เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก (IRRI, n.d.)

$$\% \text{ Broken} = \frac{\text{Weight of broken grains}}{\text{Weight of milled samples}} \times 100 \% \quad (2.2)$$

ขนาดและรูปร่าง (Size and shape)

ขนาดและรูปร่างเป็นลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว และใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาว วัดรูปร่างจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง และการวัดความหนาของเมล็ด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือก รูปร่างของเมล็ดข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เรียว ปานกลาง และป้อม ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสารแต่ละชนิด (อรอนงค์, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 รูปร่างของเมล็ดข้าว

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
เรียวยาว	3.4 หรือมากกว่า	3.1 หรือมากกว่า	3.0 หรือมากกว่า
ปานกลาง	2.3 - 3.3	2.1 - 3.0	2.0 - 2.9
ป้อม	2.2 หรือน้อยกว่า	2.0 หรือน้อยกว่า	1.9 หรือน้อยกว่า

สีของข้าว (Color of rice)

เพื่อคัดแยกสีข้าวสารหนึ่งเพื่อคัดแยกเมล็ดข้าวที่มีสีคล้ำเกินไปหรือสีอื่นนอกเหนือจากสีข้าวหนึ่งปกติที่มีสีเหลืองนวลหรือสีฟางข้าว (อรอนงค์, 2547)

ลักษณะสีของข้าวหนึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรในกระบวนการต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและเวลาในการแช่ ยิ่งแช่ที่อุณหภูมิสูงและแช่เป็นเวลานาน ค่าความสว่างหรือค่าความขาวจะลดลง ค่าความปนของสีเทา (Hue value) จะเข้มมากขึ้น (Sareepuang et. al., 2008) เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซิงที่เกิดจากเอนไซม์ย่อยสลายสตาร์ชในขั้นตอนการแช่ ทำปฏิกิริยากับกรดแอมิโนในกระบวนการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Taghinezhad et. al., 2016) ซึ่งคำนวณค่าความเป็นสีน้ำตาล (Browning index) ได้จากสมการที่ (2.3) และจะเพิ่มสีน้ำตาลเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ในขั้นตอนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และการตากแห้งที่ไม่ดี สภาพอากาศที่ไม่ดีในระหว่างการเก็บเกี่ยว เช่น

วัดสีข้าวด้วยระบบของฮันเตอร์ (Hunter) แสดงค่าด้วย L , a และ b โดย L (Lightness) คือค่าความสว่าง, a และ b คือ ค่าสีแดง/เขียว และ ค่าสีเหลือง/น้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งค่า L ของข้าวหนึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 82.3 - 94.4 เมื่อเทียบกับข้าวปกติที่มีค่า L คือ 95 (ค่าความสว่างมาก) แสดงให้เห็นว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจะทำให้มีสีเข้มกว่า (Bhattacharya, 1996) และสามารถคำนวณค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness index) ได้จากสมการที่ (2.3) (ASTM: E-313, 2015)

$$YI = 100(C_x X - C_z Z)/Y \quad (2.3)$$

โดย X , Y , Z คือ ค่าที่ได้จากการวัดด้วย Tristimulus สำหรับแหล่งกำเนิดแสง C หรือ D_{65} และ CIE 1931 มุมมาตรฐานผู้สังเกตการณ์ 2° หรือ CIE 1964 มุมมาตรฐานผู้สังเกตการณ์ 10° และ C_x, C_z หาได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์สำหรับสมการคำนวณหา YI (ASTM, 2010)

Quantity	CIE Standard Illuminant and Standard Observer			
	$C, 1931$	$D_{65}, 1931$	$C, 1964$	$D_{65}, 1964$
C_x	1.2769	1.2985	1.2871	1.3013
C_z	1.0592	1.1335	1.0781	1.1498

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวท้องไข หรือ ข้าวท้องปลาชิว (Chalky kernels)

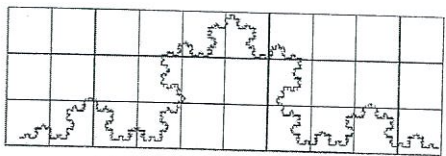
หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายขอลค์ที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ดข้าวสาร จัดเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการบ่งบอกคุณภาพ และราคาข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดข้าวที่เป็นข้าวท้องไขมาก เมื่อนำไปสีจะทำให้เมล็ดหัก และยังเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏแก่ผู้บริโภคซึ่งต้องการเมล็ดข้าวสารที่ใสมากกว่าที่มีจุดขาวภายในเมล็ด เมื่อข้าวสารมีข้าวท้องไขมาก จะทำให้ขายได้ราคาไม่ดี (อรอนงค์, 2547) ลักษณะท้องไขจะหายไป เมื่อปรุงอาหารจะไม่มีผลต่อรสชาติหรือกลิ่นของข้าว ลักษณะท้องไขจะเห็นได้ในข้าวเจ้าหรือข้าวที่มีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบ สำหรับข้าวเหนียวซึ่งมีเอมิโลเพกทินเกือบทั้งหมด จะให้ลักษณะข้าวขุ่นทั้งเมล็ดจึงไม่เห็นลักษณะท้องไข

วิธีการประเมินลักษณะท้องไขของสถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ (IRRI) ใช้การมองดูเมล็ดข้าวที่วางบนช่องที่แสงจากหลอดไฟส่องผ่าน เพื่อบอกปริมาณของจุดขาวขุ่น เป็นระดับคะแนนจาก 0 ถึง 5 ซึ่งหมายถึง 0 = ไม่มีจุดขาวขุ่นในเมล็ดข้าวสาร, 1 = มีจุดขาวขุ่นเล็กน้อย (<10 % ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร), 2 - 3 = มีจุดขาวขุ่นปานกลาง (10 - 20 % ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร) และ 4 - 5 = มีจุดขาวขุ่นมาก (> 20 % ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร) และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์พื้นที่ข้าวท้องไขในเนื้อเมล็ดข้าวสารได้ดังสมการต่อไปนี้ (IRRI, 2010)

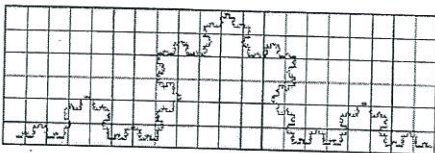
$$\% \text{ Chalky grain} = \frac{\text{Weight of chalky grains}}{\text{Weight of milled rice}} \times 100 \% \quad (2.4)$$

มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension, FD)

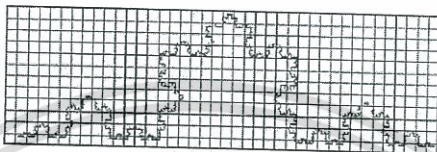
ตัวแปรที่ใช้สำหรับบอกความเป็นแฟร็กทัลของวัตถุแฟร็กทัล บ่งชี้ความคล้ายตัวเอง (Self-similarity) ของโครงสร้างเศษส่วนที่ขยายตัวออกอย่างไม่สิ้นสุด ไม่ว่ามิติทางเวลา (Time) และมิติทางพื้นที่ (Space) ล้วนเป็นมิติที่มีรูปร่างคล้ายคลึงซ้ำกันเป็นแบบอย่าง (Pattern) โดยแบบอย่างเกิดจากการลอกเลียนตามแม่แบบเบื้องต้นของวัตถุ มิติแฟร็กทัลเป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เพื่ออธิบายความซับซ้อนของรูปร่างที่ไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิตและรูปร่างที่ไม่มีความสม่ำเสมอของวัตถุ มิติแฟร็กทัลไม่ใช่การนิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่คิดขึ้นมาเอง แต่เป็นการแสดงให้เห็นสมบัติของวัตถุในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ โดยปกตินิยมวิเคราะห์ด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ตติ้ง (Box-counting) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน (Buckzkowski และคณะ, 1997) บอกซ์เคาน์ตติ้ง (Box-counting) เป็นวิธีการหามิติแฟร็กทัลจากภาพโดยมีกระบวนการดังนี้ เริ่มจากการแบ่งรูปออกเป็นมาตราส่วน (Scale) จากนั้นนับตารางที่มีข้อมูลรูปอยู่ในตารางและบันทึกค่า ทำการลดขนาดมาตราส่วนครั้งละครั้งหนึ่งของตารางและทำการนับข้อมูลเช่นเดิม ดังรูป 2.2



(ก) การแบ่งมาตราส่วนเท่ากับ 1



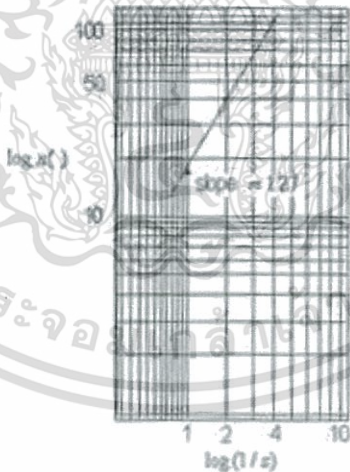
(ข) การแบ่งมาตราส่วนเท่ากับ 1/2



(ค) การแบ่งมาตราส่วนเท่ากับ 1/4

รูปที่ 2.2 (ก) การแบ่งมาตราส่วนเท่ากับ 1 (ข) การแบ่งมาตราส่วนเท่ากับ 1/2 (ค) การแบ่งมาตราส่วนเท่ากับ 1/4 (Wahl, 2014)

ค่ามิติแฟร็กทัลสามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟระหว่างจำนวนของตารางที่มีรูปอยู่ในตารางกับขนาดของมาตราส่วนบนกราฟของฟังก์ชันลอการิทึม



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนของตารางที่มีข้อมูลกับขนาดของมาตราวัด (Wahl, 2014)

จากกราฟของฟังก์ชันลอการิทึมสามารถคำนวณหามิติแฟร็กทัลได้จากสมการ

$$FD = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{\log n(a) - \log n(b)}{\log \frac{1}{s_a} - \log \frac{1}{s_b}} \tag{2.5}$$

โดยที่ FD คือ มิติแฟร็กทัล, $n(i)$ คือ จำนวนตารางข้อมูลที่มีภาพอยู่ และ $1/s$ คือ มาตราส่วน (Wahl, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเมล็ด (Weight)

กำหนดได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรที่คงที่ เช่น กรัม/ลิตร หรือ กิโลกรัม/ถัง และแบบที่สองเป็นน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดที่คงที่ เช่น กรัม/100 เมล็ด หรือ กรัม/1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว เพราะควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งจะมีความคงที่มากที่สุด (อรอนงค์, 2547)

ข้าวเมล็ดเสียและข้าวเมล็ดสีผิดปกติ (Damaged and Discolored kernels)

หมายถึง เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า ซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่น ๆ (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555) ต้องคัดแยกออกจากข้าวปกติ เพราะทำให้ข้าวเปลือกราคาต่ำ โดยหาเปอร์เซ็นต์ข้าวเมล็ดเสียได้จากสมการ (IRRI, 2010) ดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Damaged grains} = \frac{\text{Wt damaged grains}}{\text{Total wt of sample}} \times 100 \% \quad (2.6)$$

ปริมาณสิ่งเจือปนที่ติดมากับเมล็ดข้าว (Foreign matter)

สิ่งเจือปนหมายถึง สิ่งอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เมล็ดข้าว รวมทั้งแกลบและรำที่หลุดจากเมล็ดข้าว เช่น ข้าวเมล็ดแดง ฟางข้าว กรวด หิน ดิน และทราย เป็นต้น ซึ่งจะเป็นผลเสียหายต่อน้ำหนักข้าวเปลือกที่ซื้อ และผลเสียหายต่อการแปรรูปขึ้นต้น โดยกำหนดคุณภาพให้มีข้าวและวัตถุดิบที่อาจปนได้ในข้าวเปลือกสด ไม่เกินตามที่ระบุในตารางที่ 2.3 และให้มีข้าวและวัตถุดิบที่อาจปนได้ในข้าวเปลือกแห้ง ไม่เกินตามที่ระบุในตารางที่ 2.4 ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณวัตถุดิบ (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555) ได้จากสมการที่ (2.7)

ตารางที่ 2.3 ข้าวและวัตถุดิบที่อาจมีปนได้ในข้าวเปลือกสด (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

ข้าวและวัตถุดิบที่อาจมีปนได้	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ข้าวเมล็ดแดง	2.0
ข้าวเมล็ดสีรวมวัตถุดิบ	2.0
ข้าวเมล็ดอ่อน	6.0

ตารางที่ 2.4 ข้าวและวัตถุดิบที่อาจมีปนได้ในข้าวเปลือกแห้ง (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

ข้าวและวัตถุดิบที่อาจมีปนได้	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
	ข้าวเปลือกเจ้า	ข้าวเปลือกเหนียว
ข้าวเมล็ดแดง	2.0	2.0
ข้าวเมล็ดเหลือง	1.0	1.0
ข้าวเมล็ดเสีย	1.0	1.0
ข้าวเมล็ดสีรวมวัตถุดิบ	2.0	2.0
ข้าวเมล็ดอ่อน	6.0	6.0
ข้าวเมล็ดท้องไข	6.0	-
ข้าวเหนียวปนในข้าวเจ้า	1.5	-
ข้าวเจ้าปนในข้าวเหนียว	-	15.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคำนวณปริมาณวัตถุอื่น (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

$$\% \text{ Foreign matter} = \frac{W_a - W_b}{W_a} \times 100 \% \quad (2.7)$$

เมื่อ W_a คือ Weight of paddy samples and foreign matter และ W_b Weight of paddy samples

ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว (Moisture content)

คือ ปริมาณความชื้นของข้าว ทั้งในข้าวเปลือก และข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นเป็นดัชนีชี้วัดน้ำหนักของเนื้อข้าวจะเกี่ยวข้องโดยตรงในการกำหนดราคาซื้อ-ขาย และในทางอ้อม ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี จากการทดลองพบว่า ระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าว คือ 13 % (d.b.) ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และถ้าข้าวมีความชื้น 12 % จะทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ความชื้นของข้าวยังมีผลต่อคุณภาพการสีข้าวเปลือก เช่น เกณฑ์ความชื้นของข้าวเปลือกที่ 14 % (d.b.) จะได้ราคาดีกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงกว่านี้ มีคุณภาพการสีที่ดีได้ข้าวเต็มเมล็ดสูง และข้าวหักน้อย และการเก็บรักษาได้นาน (Juliano, 1985) โดยความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าความชื้นที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์การศึกษาทดลอง คำนวณได้จาก

$$\% M_{d.b.} = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 \% \quad (\text{g H}_2\text{O} / \text{g solid}) \quad (2.8)$$

โดยที่ W = น้ำหนักของข้าวที่เวลาใด ๆ W_s = น้ำหนักแห้งของข้าวซึ่งได้จากการนำข้าวไปอบแห้งจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักอีกต่อไป

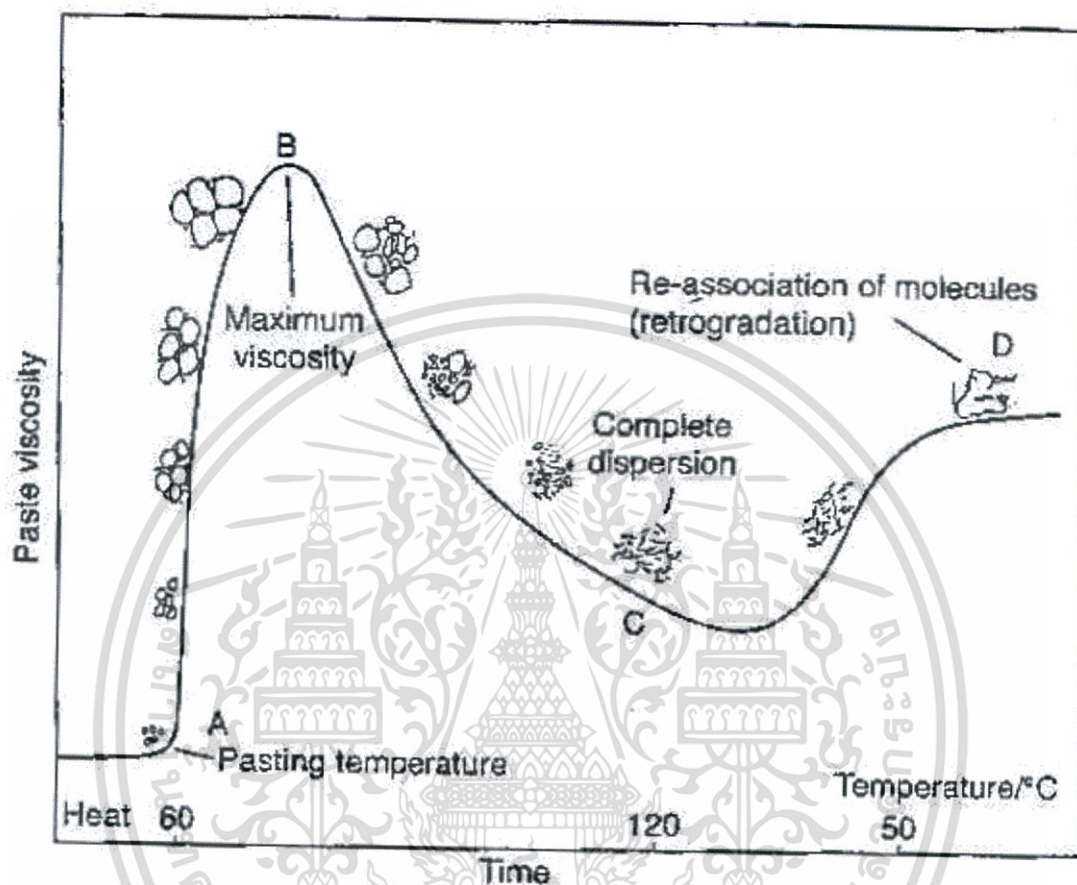
2.3.2 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว

การเกิดเจลลิตินในเซชัน (gelatinization)

เมล็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็น optical birefringence คือ จะปรากฏเป็นแสงเมื่อส่องดูด้วยกล้องไมโครสโคปชนิด polarizing สมบัตินี้ชี้บ่งว่าสตาร์ชมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (order orientation) หรืออยู่ในรูปผลึก (crystallinity) เม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์ ไม่ถูกทำลายขณะแปรรูปจะไม่ละลายในน้ำเย็นและสามารถดูดน้ำเย็นได้เพียงเล็กน้อย ความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อละลายอยู่ในน้ำอุ่นเม็ดสตาร์ชจะค่อยๆดูดน้ำและพองตัวออก (swelling) ได้ และการพองตัวนี้สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะเม็ดสตาร์ชสามารถหดตัวลงได้เมื่อนำไปอบไล่ไอน้ำออกหรือทำให้แห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นเรื่อยๆ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวมากขึ้นจนมีขนาดใหญ่และแตกออก (รูปที่ 2.4) ได้เป็นสารละลายข้นหนืด (starch paste) เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลลิตินในเซชัน (gelatinization) สารละลายข้นหนืดที่ได้จะเป็นส่วนผสมแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน กระบวนการนี้ทำให้คืนกลับไม่ได้ ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจะสูญเสีย birefringence และโครงสร้างที่เป็นผลึกและจะมีโมเลกุลของแอมิโลสหลุดออกมาอยู่นอกเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทีโนเซชันจนสมบูรณ์ จะผันแปรได้ตามวิธีการที่ใช้วัดและอัตราส่วนสตาร์ชต่อ น้ำ ชนิดของเม็ดสตาร์ชและความไม่สม่ำเสมอ (heterogeneity) ภายในเม็ดสตาร์ชในแต่ละระยะของ การเกิดเจลาทีโนเซชันจะใช้กล้องไมโครสโคปชนิด polarizing ส่องดูได้ และอาจเห็นการหายไปของ birefringence ในช่วงต้น



รูปที่ 2.4 ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ช (นิธิยา, 2557)

เม็ดสตาร์ชที่ได้รับความร้อนในภาวะที่มีปริมาณน้ำมาก เม็ดสตาร์ชจะพองตัวออกมากและมี แอมิโลสส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมามากด้วย หากมีความดันหรือแรงเฉือนที่ทำให้เม็ดสตาร์ชถูก ทำลาย จะทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะข้น (paste) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายของแอมิโลสและ/ หรือบางส่วนของแอมิโลเพกทิน และเมื่อปล่อยให้สารละลายสตาร์ชเย็นลง อาจมีลักษณะข้นหนืด (viscoelastic) หรือมีลักษณะเป็นเจล

การศึกษาเจลาทีโนเซชันของเม็ดสตาร์ช จะใช้สารละลายสตาร์ชที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ค่อย ๆ คนและให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำและพองตัวออก และเปิดตัวซึ่งกันและกันใน ภาวะ ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น การคนจะทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวเต็มที่แตกออกได้ง่ายซึ่งมีผลทำ ให้ความหนืดค่อย ๆ ลดลง ดังเมื่อเมมเบรนที่ห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสจะหลุด ออกและแพร่กระจายอยู่ในสารละลาย เครื่องมือที่ใช้บันทึกการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ สารละลายสตาร์ช เรียกว่า Bradbender visco amylography เมื่อปล่อยให้สารละลายของเม็ดสตาร์ช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดเจลาทีไนเซชันแล้วเย็นลงโมเลกุลสตาร์ชบางส่วนโดยเฉพาะโมเลกุลของแอมิโลสจะมาก่อตัวรวมกันตกตะกอน เรียกกระบวนการนี้ว่า รีโทรเกรเดชัน สำหรับเจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็ง ขึ้นอยู่กับการเกิด junction zone ซึ่งยังผันแปรไปตามองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาล กรด และ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสารละลายนั้น

เมื่อนำสตาร์ชมาไฮโดรไลซ์จะได้ส่วนผสมเดกซ์ทริน มอลโทส และกลูโคส ถ้าไฮโดรไลซ์อย่างสมบูรณ์จะได้เฉพาะน้ำตาลกลูโคสเท่านั้นถ้านำสารอาหารสตาร์ชที่อยู่ในรูปคอลลอยด์มาไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์แอมิโลสจะได้น้ำตาลมอลโทสและกลูโคส (นิธิยา, 2557)

แอมิโลส

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวของน้ำตาลกลูโคส ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสหรือหน่วยแอลฟา-ดี-กลูโคไพราโนซิล ประมาณ 250-2.000 หน่วย เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -D(1→4)

จึงเป็นหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน (repeating unit) ของน้ำตาลมอลโทสด้วย จึงจัดว่าโมเลกุลของแอมิโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่มาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^6 ดาลตัน แอมิโลสในสตาร์ชบางชนิดอาจมีพันธะ α -D(1→6) บ้างเล็กน้อย ประมาณ 0.3 – 0.5 เปอร์เซ็นต์ของพันธะทั้งหมด

สตาร์ชที่ได้จากข้าวโพด ข้าวสาลี และมันฝรั่ง จะมีแอมิโลสประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสตาร์ชที่ได้จากข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวเจ้าบางสายพันธุ์ไม่มีแอมิโลสเลยเรียกว่า waxy starch นอกจากนั้นข้าวโพดบางสายพันธุ์องค์ประกอบของสตาร์ชยังมีแอมิโลสสูงประมาณ 52 และ 70-75 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า high amylose corn starch และบางสายพันธุ์อาจมีมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า amylo maize โมเลกุลของแอมิโลสในสตาร์ชที่ได้จากข้าวสาลี ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส 1,000-2,000 หน่วย ขณะที่สตาร์ชจากมันฝรั่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสประมาณ 4,500 หน่วย

แอมิโลสไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเติมน้ำลงไป แอมิโลสจะเกาะตัวกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลาย และเนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลสเป็นสายยาว จึงมีโอกาที่จะจับคู่กับแอมิโลสอีกโมเลกุลหนึ่ง เป็นสายยาวคู่ขนานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนกลายเป็นตาข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงและตกตะกอนได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า รีโทรเกรเดชัน และตกตะกอนที่ได้เรียกว่า retrograded starch แต่ waxy starch ซึ่งไม่มีแอมิโลสเลย หรือมีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบน้อยมาก จะไม่เกิดรีโทรเกรเดชัน (นิธิยา, 2557)

แอมิโลสสามารถจับกับไอโอดีน โดยจะพันเป็นเกลียว (helical structure) รอบๆไอโอดีน ได้เป็รสารประกอบเชิงซ้อน amylose-iodine complex มีสีน้ำเงิน สีที่เกิดขึ้นจะผันแปรตามความยาวของสายแอมิโลส และจำนวนเกลียว (helix tum) ของสายแอมิโลส ดังนี้ นอกจากนั้นแอมิโลสยังรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อีก เช่น กรดไขมัน surfactants และ polar agent อื่นๆ (เช่น บิวทิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ ไทมอล (thymol) และไนโตรพาราฟิน (nitro paraffin) โดยเฉพาะการรวมตัวของแอมิโลสกับไนโตรพาราฟิน ใช้เป็นวิธีแยกแอมิโลสออกจากแอมิโลส (นิธิยา, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมิโลเพกทิน

แอมิโลเพกทินเป็นไฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเม็ดสตาร์ช ประมาณ 70-100 เปอร์เซ็นต์ (เฉลี่ยประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์) มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมา ซึ่งแต่ละแขนงจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20 – 35 หน่วย ดังนั้นโมเลกุลของแอมิโลเพกทินจึงมีทั้งพันธะ $\alpha(1 \rightarrow 4)$ และ $\alpha(1 \rightarrow 6)$ โดยจุดแยกของสายแขนงมีประมาณ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ของพันธะทั้งหมด โดยปกติแอมิโลเพกทินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าแอมิโลสมาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ $10^6 - 5 \times 10^8$ ดาลตัน และทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง (นิธิยา, 2557)

อุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชัน (Gelatinization Temperature, GT)

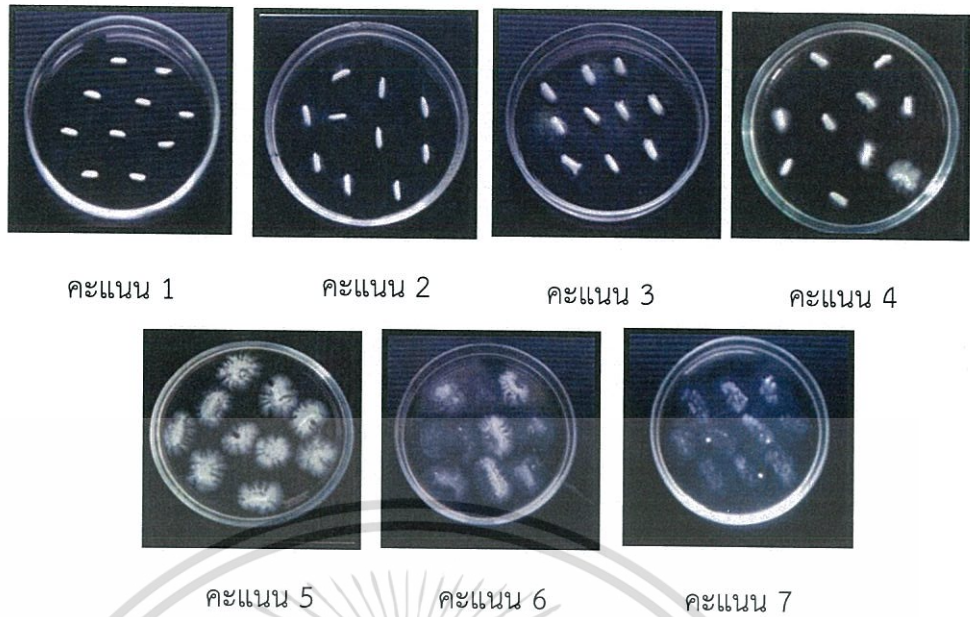
คือ อุณหภูมิที่น้ำแป้ง (จากแป้ง หรือ สตาร์ช) เกิดการเจลาทีไนเซชัน (gelatinization) เป็นอุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และเม็ดสตาร์ชสุก ซึ่งเม็ดสตาร์ชจากพืชแต่ละชนิดจะสุกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2558)

การวัด Degree of Gelatinization ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาทีไนเซชัน โดยสามารถจัดตั้งลำดับอัตราการให้ความร้อนด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนที่วัดได้จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการนำข้าวหรือแป้งข้าวผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร (อรอนงค์, 2546) ได้ทดลองใช้ข้าวทั้งเมล็ดในรูปข้าวสารและแป้งข้าวเพื่อตรวจสอบการเกิดสตาร์ชเจลาทีไนเซชัน โดยใช้เครื่อง DSC วัดค่าพลังงานความร้อนที่ทำให้สตาร์ชเจลาทีไนเซชัน เป็นเส้นโค้งของอุณหภูมิ 3 ค่า คือ อุณหภูมิเริ่มการเกิดเจลาทีไนเซชัน ของสตาร์ช (Onset, T_0) อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาทีไนเซชัน สูงสุด (Peak, T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายของสตาร์ชเจลาทีไนเซชัน (Conclusion, T_c) และค่าพลังงานทั้งหมด (ΔH) ที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชัน สตาร์ช มีหน่วยเป็น จูล/กรัม (J/g) ของข้าวสารหรือแป้งข้าวสาร

วิธีการวัดโดยวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

ทำได้โดยวางเมล็ดข้าวประมาณ 6 – 10 เมล็ดลงในจานแก้วมีฝาปิด (petridish) เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.7 % v/v จำนวน 10 ml (Juliano, 1985) ให้เมล็ดข้าวจมในสารละลายเบสนี้ ปิดฝาทิ้งไว้ 23 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการสลายตัวเป็นคะแนน 1 ถึง 7 ดังแสดงในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.5 คะแนนประเมินค่าการสลายตัวในสารละลายต่าง (อรอนงค์, 2546)

ตารางที่ 2.5 แสดงคะแนนลักษณะการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (อรอนงค์, 2546)

คะแนน	ลักษณะการสลายของเมล็ด
1	เมล็ดข้าวไม่เปลี่ยนแปลง
2	เมล็ดพองตัว
3	เมล็ดพองตัว กระจายออกจากตัวเมล็ด แต่ไม่รอบ
4	เมล็ดพองตัว กระจายตัวออกจากเมล็ด โดยรอบ
5	เมล็ดแตกปริทางขวางหรือทางยาว กระจายออกโดยรอบ
6	เมล็ดสลาย กระจายออกเกือบหมด
7	เมล็ดสลายจนหมด มีลักษณะใส

ค่าที่วัดได้บ่งชี้ว่า ถ้าข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชันสูงต้องใช้เวลาหุงต้มมากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิเจลลาทีในเซชันต่ำ ถ้าคะแนนลักษณะการสลายตัวของเมล็ดข้าวทุกเมล็ดที่ทำการทดสอบมีคะแนนอยู่ในช่วง 1 - 5 สม่าเสมอทุกเมล็ด แสดงว่าไม่เกิดการเจลลาทีในเซชันอย่างสมบูรณ์ แต่หากมีคะแนนสม่าเสมอในช่วง 6 - 7 ทุกเมล็ด แสดงว่าเกิดการเจลลาทีในเซชันอย่างสมบูรณ์ (อรอนงค์, 2546)

ปริมาณแอมิโลส (Amylose content)

แอมิโลส ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสจัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น มีโซ่กิ่งอยู่ประมาณ 3 - 4 กิ่ง ส่วนแอมิโลเพกทิน ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสจัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่กิ่งเป็นแขนงจำนวนมาก ประมาณ 96 %

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการให้ไอโอดีนทำปฏิกิริยากับแอมิโลสจะได้สีน้ำเงิน และวัดค่าสีน้ำเงินเปรียบเทียบกับปริมาณแอมิโลส กับคุณภาพการหุงต้มข้าว พบว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะให้เนื้อสัมผัสที่แข็ง และร่วนกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เมื่อตรวจสอบผลเปรียบเทียบกับสีน้ำเงินที่เกิด

จากปฏิกิริยาระหว่างข้าวหนึ่งกับข้าวสารปกติ ข้าวหนึ่งจะให้สีน้ำเงินที่เข้มกว่าข้าวสารปกติแสดงว่า ข้าวหนึ่งจะให้เนื้อสัมผัสที่แข็ง และร่วนกว่าข้าวสารปกติ (อรอนงค์, 2547)

ความคงตัวของเจล (Gel consistency)

เป็นวิธีเพื่อหาความแตกต่างของข้าวที่มีแอมิโลสสูงใกล้เคียงกัน แต่มีผลของความหนืดที่วัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบบราเบนเดอร์แตกต่างกัน ทำได้โดยบดเมล็ดข้าวให้ละเอียด (ขนาด 100 mesh) ใส่ในหลอดแก้ว เติมสารละลายเอทานอล 95 % ผสมสารสีน้ำเงินโบรมไทมอล 0.025 % (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 0.2 มล. และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์แมล จำนวน 2 มล. ผสมให้เข้ากัน ต้มในน้ำเดือด 8 นาที นำขึ้นทิ้งให้เย็น 5 นาที ผสมอีกครั้ง ทำให้เย็นในน้ำแข็ง 20 นาที วางหลอดบนกระดาษกราฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อวัดการไหลของเจลในหลอดเป็น มม. เปรียบเทียบค่ากับลักษณะเจลมาตรฐาน 3 แบบ คือ เจลนุ่ม (61-100 มม.), เจลนุ่มปานกลาง (41-60 มม.) และเจลแข็ง (26-40 มม.) ซึ่งต้องทำควบคู่ไปกับการวัดตัวอย่างด้วย (อรอนงค์, 2547) Varavinit et al. (2002) ตรวจสอบความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจล สรุปได้ว่า เจลจากแป้งข้าวที่มีแอมิโลสต่ำมีความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งได้ดีกว่าเจลจากแป้งที่มีแอมิโลสปานกลาง และแอมิโลสสูง (อรอนงค์, 2547)

ปริมาณกลิ่นหอม (Aroma)

ข้าวบางพันธุ์มีกลิ่นสารระเหยบางชนิดที่ผู้บริโภคบางกลุ่มชอบ แต่บางกลุ่มก็ไม่ชอบ ซึ่งเป็นกลิ่นที่มีอยู่ประจำพันธุ์ เช่น ข้าวหอมที่ซื้อขายในตลาดข้าวของโลก คือ พันธุ์ข้าวที่มีสาร 2-แอซิทิล-1-ไพร์โรลีน (2-acetyl-1-pyrroline) ซึ่งเป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าว โดยข้าวหอมที่อยู่ในรูปข้าวกล้องจะมีสารนี้ประมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ข้าวสารมีเพียง 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนกลิ่นเหม็นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัว, กรดแอมิโนที่มีสารซัลเฟอร์โนโมเลกุล, สารประเภทไฮโดรเจนซัลไฟด์, แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ แอซิแทลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Juliano, 1985) ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณกลิ่นหอมและกลิ่นไม่หอมในข้าวแต่ละพันธุ์เพื่อการคัดเลือกพันธุ์ หรือ ปรับปรุงพันธุ์ วัดโดยการใช้เครื่องมือหรือวิธีการเรียกว่า เทคนิคการวิเคราะห์กลิ่นอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Rapid Gas Chromatography)

ลักษณะโครงสร้างผลึก

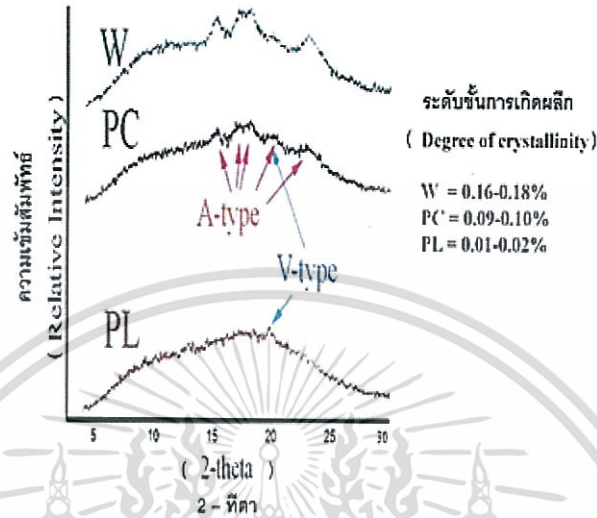
ข้าวหนึ่งถูกนำมาตรวจสอบเปรียบเทียบคุณลักษณะภายในโครงสร้างผลึกของเมล็ดข้าวโดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับรูปร่างโครงสร้างผลึกทั่วไป จำแนกได้มี 4 แบบ ดังรูป 2.6 ปรากฏว่า ในแป้งข้าวสารปกติ (W) เป็นแบบ type-A เมื่อผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งทำให้แป้งข้าวหนึ่งทางการค้า (PC) เป็นแบบ type-A ผสมกับ type-V และแป้งข้าวหนึ่งระดับห้องปฏิบัติการ (PL) เป็นแบบ type-V เท่านั้น

โดยลักษณะผลึกวัดเป็นตึกซ์ของผลึกได้ 0.16 – 0.18 % ในโครงสร้างสตาร์ชของแป้งข้าวปกติ, 0.09 – 0.10 % ในโครงสร้างสตาร์ชของแป้งข้าวหนึ่งทางการค้า และ 0.01 – 0.02 % ในโครงสร้างสตาร์ชของแป้งข้าวหนึ่งจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งสรุปได้ว่า กระบวนการหนึ่งของข้าวเปลี่ยนระดับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

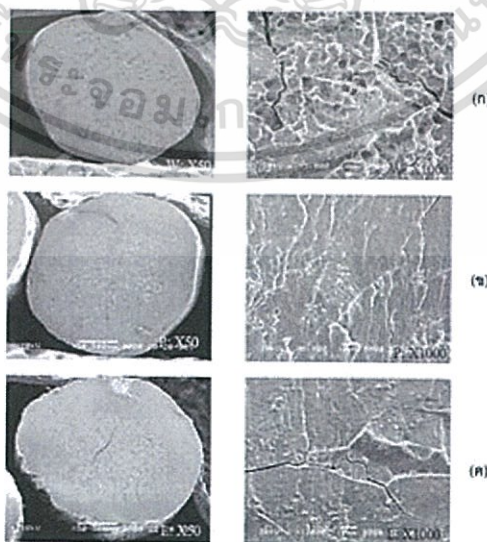
มีผลให้เกิดการเจลาติไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้รูปแบบผลึกเปลี่ยนจาก type-A เป็น type-V ส่วนข้าวหนึ่งทางการค้าผ่านกระบวนการนึ่งข้าวเปลือกไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เป็นรูปแบบผลึก type-A ผสม type-V โดยมีลักษณะแบบ type-A ลดลง และ type-V บางส่วน



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งข้าว

เมื่อ W คือแป้งข้าวสารปกติ, PC คือแป้งข้าวหนึ่งทางการค้า และ PL คือแป้งข้าวหนึ่งจากห้องปฏิบัติการ

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเมล็ดข้าวตัดขวางของข้าวสารปกติ ข้าวหนึ่งทางการค้าและข้าวหนึ่งจากห้องปฏิบัติการ พบว่าเมล็ดข้าวสารปกติปรากฏกลุ่มของเมล็ดสตาร์ชที่ยังไม่เจลาติไนเซชัน มีรอยร้าวเล็ก ๆ มากมายรอบผิวหน้า แตกต่างจากเมล็ดข้าวหนึ่งทางการค้าและจากห้องปฏิบัติการที่มีรอยร้าวเล็กลง และยังพบอีกว่า เมล็ดสตาร์ชที่เจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์เชื่อมติดกันปิดช่องว่าง ทำให้เห็นลักษณะเนื้อที่แน่น ไม่มีรอยร้าวบริเวณผิวโดยรอบเมล็ด ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบลักษณะเมล็ดข้าวตัดขวางของข้าว

เมื่อ (ก) คือ ข้าวสารปกติ, (ข) คือ ข้าวหนึ่งทางการค้า และ (ค) คือ ข้าวหนึ่งจากห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 มาตรฐานข้าวหนึ่ง

จากมาตรฐานข้าวหนึ่งของ 100 % ต้องมีพื้นข้าว ส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการสี ดังนี้ พื้นข้าว ประกอบด้วย ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 และ ชั้น 2 รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 60.0 นอกนั้นเป็น ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 ในจำนวนทั้งหมดนี้ อาจมีข้าวเมล็ดสั้นได้ไม่เกินร้อยละ 10.0 ส่วนผสม ประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80.0 ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 5.0 ส่วน ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 8.0 ส่วน ไม่เกินร้อยละ 4.0 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 5.0 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.5 และปลายข้าวหนึ่งชั้วนไม่เกินร้อยละ 0.1 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 8.0 ส่วนขึ้นไป

ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 0.5 ข้าวเมล็ดเหลืองไม่เกิน ร้อยละ 0.5 ข้าวเมล็ดดำไม่เกินร้อยละ 0.25 ข้าวเมล็ดดำบางส่วนรวมกับข้าวเมล็ดจุดดำไม่เกินร้อยละ 2.5 ทั้งนี้ข้าวเมล็ดดำบางส่วนต้องไม่เกินร้อยละ 1.0 ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 1.0 ข้าวเปลือกไม่ เกิน 5 เมล็ด ต่อข้าว 1 กิโลกรัม ข้าวเมล็ดลีบ ข้าวเมล็ดอ่อน เมล็ดพืชอื่น และวัตถุอื่น อยางใดอย่าง หนึ่ง หรือหลายอย่าง รวมกันไม่เกินร้อยละ 0.2 (รวมมาตรฐานสินค้าข้าวไทย, 2559)

2.5 วิธีการทดสอบการยอมรับหรือการทดสอบผู้บริโภค (Method used in affective test / consumer test)

การทดสอบการยอมรับ (Acceptance test)

การทดสอบการยอมรับ (อย่างไร) หรือการทดสอบระดับความพอใจของผู้บริโภคสามารถทำได้หลาย ๆ รูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะผู้บริโภค แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมักจัดรูปแบบทดสอบ พร้อมกับสเกลกำหนดระดับความชอบ เช่น สเกลความพอใจ (hedonic scale) สเกลรอยยิ้ม (smiley scale) สเกลพอดี (just-about-right scale) ดังนั้น เพื่อให้เข้าใจทั้งแบบทดสอบ และการวิเคราะห์ ผลทางสถิติ จึงให้รายละเอียดไว้ดังนี้

วิธีทดสอบฮีโดนิค (Hedonic test)

ฮีโดนิค (hedonic) หมายถึง ความพอใจ (pleasant) สเกลแบบฮีโดนิค มีสเกลทั้งแบบตัวเลข (numerical hedonic scale) และแบบตัวหนังสือ (verbal hedonic scale) ซึ่งมีหลายระดับ เช่น 3-จุด (three-point hedonic) 5-จุด 7-จุด 9-จุด ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.6 และแบบทดสอบ ตามรูปที่ 3.7 (ปราณี, 2551)

ตารางที่ 2.6 สเกลฮีโดนิคที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของวิธีทดสอบฮีโดนิค (ปราณี, 2551)

สเกลตัวเลข	สเกลตัวหนังสือ
1	ไม่ชอบเลย (dislike extremely)
2	ไม่ชอบมาก (dislike very much)
3	ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately)
4	ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly)
5	เฉยๆ (neither like nor dislike)
6	ชอบเล็กน้อย (like slightly)
7	ชอบปานกลาง (like moderately)
8	ชอบมาก (like very much)
9	ชอบเป็นพิเศษ (like extremely)

ข้อดีของการทดสอบแบบใช้สเกลในการพรรณนา

เปรียบเทียบกับ การทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสอื่นๆ พบว่าการทดสอบแบบ Hedonic scaling เป็นการทดสอบที่ง่ายและเข้าใจได้ง่ายที่สุด โดยมีข้อดีเป็นวิธีที่ใช้การตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพในความแตกต่างน้อย ๆ ในระดับของความชอบในอาหารที่คล้าย ๆ กัน และใช้ตรวจสอบความแตกต่างได้อย่างหยاب ๆ แม้ว่าเมื่อเวลาผู้ประเมิน และสภาวะการทดสอบมีความแปรปรวน การทดสอบนี้ใช้แบบสอบถามและข้อเสนอแนะที่ง่ายซึ่งทำให้มีเหตุผลที่รู้จักคิด และทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถถูกลำดับต่อการประเมินครั้งแรกได้ ซึ่งสเกลแบบ Hedonic scale สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างในกลุ่มของลักษณะความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในการสำรวจภาคสนามกล่าวว่าการทดสอบผู้บริโภคสเกลแบบ Hedonic scale สามารถช่วยกำหนดระดับการยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ เป็นวิธีที่มีประโยชน์ในการตรวจสอบการยอมรับโดยเฉพาะอาหารที่ไม่ปกติหรือไม่ใช้การทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่าง การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการทดสอบแบบ Hedonic scaling มีความง่าย แม้ว่าประชากรตัวอย่างจะมาก (ไพโรจน์, 2545)

ข้อด้อยของการทดสอบแบบใช้สเกลในการพรรณนา

แม้ว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่อาจจะพบว่าการใช้ Hedonic scaling มีประโยชน์มาก แต่การทดสอบนี้ก็ยังมีข้อด้อย โดยเฉพาะประเทศที่ไม่ได้ใช้ภาษาอังกฤษเป็นการสื่อความหมาย ความจำ เป็นในการแปลความหมายของระดับในสเกลเป็นสิ่งที่สำคัญ เช่น คำว่า “Like very much” ในภาษาอังกฤษเหมือนกับภาษาไทยที่ว่า “ชอบมาก” จริงหรือไม่ โดยผู้ทดสอบบริโภคถูกคาดหวังในการตอบสนองบนพื้นฐานของการแสดงอย่างฉับพลันในความคิดของเขาซึ่งเป็นการป้องกันความคิดของผู้บริโภคจากการสะท้อนถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง การแสดงออกของผู้บริโภคจริงๆอยู่บนพื้นฐานของทัศนคติของผู้บริโภคและความชอบที่คาดหวัง คำถามมีอยู่ว่าอะไรเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคตัดสินใจที่จะสะท้อนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จำเพาะก่อนทำการตัดสินใจสุดท้าย เนื่องจากผู้บริโภคที่ทำการ

ทดสอบแบบ Hedonic scaling โดยปกติเป็นผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาก่อน ดังนั้น การสะท้อนความรู้สึกของเขายังคงอยู่บนพื้นฐานการแสดงออกอย่างกว้างๆ เพื่อแก้ไขความเป็นไปได้ในการเกิดความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นอย่างมากในการตอบสนองของผู้บริโภค จำนวนของผู้บริโภคจำนวนมากเป็นที่ต้องการในการทดสอบผู้บริโภค

การลำดับสเกลแบบ Hedonic rating scale ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ของการควบคุมคุณภาพเพราะว่าความแปรปรวนมากที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการประเมิน ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนที่แสดงถึงงานการควบคุมคุณภาพไม่ควรจะทำ การใช้ Hedonic scaling เลยเนื่องจากผู้ทดสอบกลุ่มนี้มีแนวโน้มการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์อย่างลึกซึ้ง ดังนั้นการทดสอบแบบ Hedonic scaling ใดๆจะถูกโน้มน้าวโดยการฝึกฝนที่เฉพาะของผู้ประเมินมีผลทำให้การยอมรับหรือความชอบของผู้บริโภคไม่เป็นตัวแทนที่ดีต่อไปในการรับรู้ของผู้บริโภคต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

นอกจากข้อจำกัดข้างต้น การทดสอบเชิงพรรณนาแบบ Hedonic scaling พบว่ามีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดในวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตามไม่มีความแน่นอนว่าผู้ใช้ในการทดสอบนี้จะตระหนักในข้อจำกัดเพียงพอหรือไม่เพื่อการระวังจริงในการที่ใช้การทดสอบนี้ไม่ถูกในการเป็นเครื่องมือในการประเมินทางประสาทสัมผัส (ไพโรจน์, 2545)



บทที่ 3

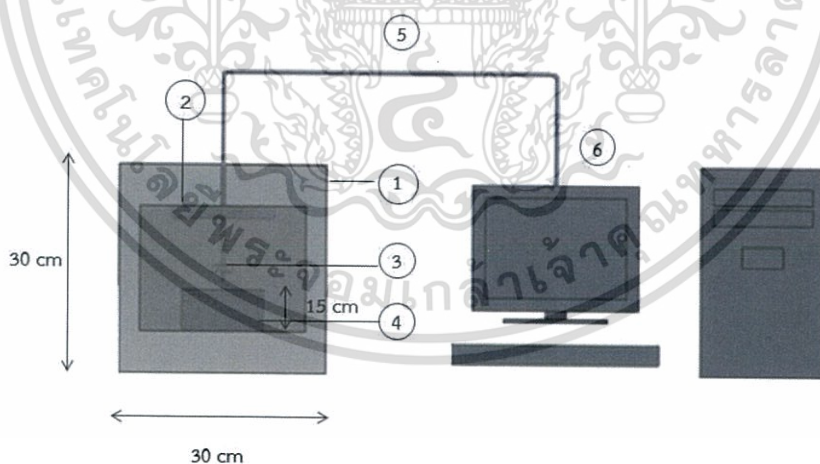
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบในการผลิตข้าวหนึ่ง คือ ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ได้รับมาจากมูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง(ภา) ยามยาก สภากาชาดไทย เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง $31\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความชื้น $40 \pm 5\%$ RH ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น $13.54\% \pm 0.5\%$ (dry basis) ปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินเท่ากับ 7.9 และ 92.1 กรัม ต่อ 100 กรัม ข้าวดิบ ตามลำดับ (สุนีย์, 2558)

3.2 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (K555L, ASUS, China)
2. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (Digimax NV3, Samsung, Korea)
3. ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ ประกอบด้วย กล่องขนาด $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ มีฝาปิดสามารถยกเปิดปิดได้ ผนังของกล่องด้านในเป็นสีดำ พื้นหลังเป็นสีดำ ทำการติดตั้งกล้องดิจิทัลไว้ที่ด้านบนบริเวณกึ่งกลางของฝากล่อง และมีแหล่งกำเนิดแสง (Light source) เป็นหลอดไฟ ชนิดฟลูออโรสเซนต์แบบวงกลม ชนิด Daylight มีอุณหภูมิแสง 6500 K (TL-E super 80, Philips, ประเทศไทย) ติดตั้งที่กึ่งกลางกล่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ (1) กล่อง (2) หลอดไฟ (3) กล้องถ่ายภาพ (4) ฐานสำหรับวางขึ้นตัวอย่าง (5) USB Cable และ (6) คอมพิวเตอร์

4. เตาอบลมร้อน (Hot air oven) (UM500, Memmert, Germany)
5. เตาไฟฟ้า (Hot plate) (ROM-AK1599/E, Rommelsbacher, Germany)
6. หม้อนึ่งไอน้ำ (TR1, TR Aluminium industry, Thailand)
7. หม้อนึ่งอัดไอน้ำ (Autoclave) (Pressure Sterilizer model no. 1925x, All America, USA)
8. จานเพาะเลี้ยง (PYREX COVER, Germany)
9. เครื่องกะเทาะเปลือกข้าว (P-1, Ngek Seng Huat LTD.,PART, Thailand)
10. เครื่องขัดข้าว (K-1, Ngek Seng Huat LTD.,PART, Thailand)
11. เครื่องคัดข้าวรุ่น (I-1, Ngek Seng Huat LTD.,PART, Thailand)
12. เครื่องวัดสีระบบ Colorimetric Spectrophotometer (ColorFlex EZ, HunterLab, USA)
13. เครื่องDifferential Scanning Calorimeter (DSC 204 F1 Phoenix, NETSZCH, Germany)
14. เครื่องบดแบบเหวี่ยง (ZM 200, RETSCH , Germany)
15. เครื่อง sieve shaker (Vibro, Orto Alresa, Spain)
16. เครื่อง Texture analyser (TA. XT. Plus Texture Analyser, Stable Micro System, UK)
17. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลชนิด 2 ตำแหน่ง (UX3200G, Shimadzu, Japan)
18. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลชนิด 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato electronic balance, Japan)
19. โปรแกรม MATLAB (R2015b , MathWorks® Inc., USA)
20. โปรแกรม ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, USA)
21. โปรแกรม Adobe Photoshop (Adobe Systems, Inc, USA)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือก

ข้าวเปลือก 200 กรัม แบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มละ 15 กรัม แช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C ตามลำดับ ให้ความร้อนและคงอุณหภูมินี้ด้วย Electric hot plate (ROM-AK1599/E, Rommelsbacher, Berlin, Germany) และตรวจวัดความชื้นทุก ๆ ชั่วโมง เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกโดยข้าวเปลือกหลังแช่ควรมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด และข้าวเปลือกไม่เกิดการละลายหรือปริแตก พิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก (Soaking Curve) โดยทำการวิเคราะห์หาความชื้น (moisture content) ด้วยสมการ (3.1)

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเจลาทีโนเซชัน

ทำการนึ่งข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 kg/cm^2 และ โดยการใช้หม้อนึ่งอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ $121\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1.2 kg/cm^2 ทำการให้ความร้อนกลุ่มตัวอย่างเป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับสำหรับหม้อนึ่งไอน้ำ ให้ความร้อนกลุ่มตัวอย่างเป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ตามลำดับสำหรับหม้อนึ่งอัดไอน้ำ เพื่อศึกษาหาเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการเจลาทีโนเซชันของสตาร์ชในข้าวหนึ่งอย่างสมบูรณ์

3.3.3 การทำแห้งและการกะเทาะข้าวเปลือก

นำข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งมาทำแห้งโดยวิธีการ ตากแดด (Sun drying) ที่อุณหภูมิอากาศ $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 28 % RH สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกครั้งละ 3 กรัม ไปชั่งน้ำหนักทุก ๆ วันด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง เพื่อหาความชื้นจากสมการ (3.1) จนกระทั่งความชื้นฐานแห้งของข้าวเปลือกลดลงจนเท่ากับ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการตากแห้งมาทำการกะเทาะเปลือกข้าวออกด้วย เครื่องกะเทาะเปลือกข้าว (P-1, Ngek Seng Huat LTD.,PART, Thailand)

3.4 การศึกษาสมบัติคุณภาพของข้าวหนึ่ง

3.4.1 ความชื้น (moisture content)

เพื่อชั่งปริมาณน้ำที่มีอยู่ในข้าวเปลือกหลังการแช่ที่เวลาใด ๆ โดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยเตาอบลมร้อน Hot air oven (UM500, Memmert, Germany) จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งของค่านวนความชื้นฐานแห้ง (AOAC, 2000) โดยใช้สมการ (3.1)

$$\% \text{ Moisture Content (d.b.)} = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 \text{ (g H}_2\text{O/g solid)} \quad (3.1)$$

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักของข้าวตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (กรัม) และ W_s คือ น้ำหนักแห้งของข้าวหลังอบ (กรัม) (AOAC, 2000)

3.4.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (Head Rice yield; HRY)

ชั่งน้ำหนักข้าวก่อนกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทำการกะเทาะเปลือกข้าวออก ด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกข้าว (P-1, Ngek Seng Huat LTD.,PART, Thailand) จากนั้นนำข้าวที่กะเทาะเปลือกแล้วมาทำการสีข้าวด้วยเครื่องขัดข้าว (K-1, Ngek Seng Huat LTD., PART, Thailand) และทำการคัดข้าว ด้วยเครื่องคัดข้าว (I-1, Ngek Seng Huat LTD., PART, Thailand) จากนั้นชั่งน้ำหนักข้าวหลังคัดขนาดด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (Head rice yield) คือ สัดส่วนข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากการสีต่อข้าวเปลือกทั้งหมด คำนวนได้จากสมการที่ 3.1 (IRRI, 2010) ดังนี้

$$(\%) \text{ Head Rice Yield} = \frac{W_h}{W_b} \times 100\% \quad (3.2)$$

เมื่อ W_h คือ น้ำหนักของข้าวเต็มเมล็ด และ W_b คือ น้ำหนักของข้าวก่อนขัดสี

3.4.3 การวัดสีข้าวนี้้ง

การวัดสีข้าวนี้้งด้วยเครื่องวัดสีระบบ Colorimetric (ColorFlex EZ, HunterLab, USA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D₆₅ และ 10° standard observer (มาตรฐานผู้สังเกตการณ์ที่ 10 องศา) โดยแสดงค่าด้วยระบบสี CIELAB, CIELch, ดัชนีความขาว (WI) และดัชนีความเหลือง (YI), วิเคราะห์หาค่าสีเฉลี่ยและความแปรปรวนของสี, ศึกษาการเปลี่ยนสีของข้าวระหว่างผ่านกระบวนการทำข้าวนี้้ง นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสีของข้าวก่อนกระบวนการทำข้าวนี้้ง

3.5 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีในเซชัน

3.5.1 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีในเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอรีมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

เตรียมตัวอย่างด้วยเครื่องบดเมล็ดข้าว (ZM200, Retsch GmbH, Germany) จากนั้นทำการร่อนด้วย sieve shaker (Vibro, Orto Alresa, Spain) ตะแกรงขนาด 100 mesh ผงข้าวตัวอย่างที่ได้มีขนาดระหว่าง 125 - 150 μm นำผงตัวอย่าง 2 mg ผสมกับน้ำกลั่น 5 μL เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (หรือจนกว่าแป้งจะเข้าสู่ equilibrium อย่างสมบูรณ์) ตัวอย่างถูกคงอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นสแกนที่อัตราการถ่ายเทความร้อน 5 °C/นาที เก็บข้อมูลทุก ๆ 1/10 วินาที จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 110 °C ทำการเปรียบเทียบผลกับ Indium (งานเปล่าที่ถูกต้องใช้อ้างอิง) วัดการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH) ของตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางความร้อน (thermal analyser; TA) คำนวณหาระดับการเกิดเจลลาทีในเซชัน (DG) จากสมการ (3.3) (Jinorose et al., 2014)

$$\text{Degree of gelatinization (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\Delta H}{\Delta H_c} \right) \right] \times 100\% \quad (3.3)$$

เมื่อ ΔH และ ΔH_c แสดงค่าเอนทัลปีของข้าวที่ผ่านการนี้้งและข้าวที่ไม่ผ่านการนี้้ง (J/g) ตามลำดับ

3.5.2 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีในเซชันด้วยวิธีวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (Alkali Test)

โดยทำการวางเมล็ดข้าวประมาณ 6-10 เมล็ดลงในจานเพาะเลี้ยง (petridish) เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.7% v/v จำนวน 10 ml ให้เมล็ดข้าวจมในสารละลายด่างนี้้ ปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 23 ชั่วโมง (Juliano, 1985) วัดค่าการสลายตัวเป็นคะแนน 1 ถึง 7 ดังแสดงใน ตารางที่ 2.5 เพื่อศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีในเซชัน และวิเคราะห์ผล ถ้าคะแนนลักษณะการสลายตัวของเมล็ดข้าวทุกเมล็ดที่ทำการทดสอบ มีคะแนนอยู่ในช่วง 1- 5 สม่าเสมอทุกเมล็ด แสดงว่าไม่เกิดการเจลลาทีในเซชันอย่างสมบูรณ์ แต่หากมีคะแนนสม่าเสมอในช่วง 6 - 7 ทุกเมล็ด แสดงว่าเกิดการเจลลาทีในเซชันอย่างสมบูรณ์ (อรอนงค์, 2546)

3.5.3 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพ

ต้มข้าวในน้ำเดือดที่อัตราส่วนน้ำต่อข้าว 20:1 เป็นเวลา 10, 20, 30, 40, 50, และ 60 นาที จากนั้นสะเด็ดน้ำก่อนนำข้าว 10 เมล็ดมาวางเรียงในจานเพาะเลี้ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 cm เพื่อถ่ายภาพและทำการวิเคราะห์ภาพโดยโปรแกรม MATLAB เพื่อคำนวณหาค่ามิติแฟร็กทัลของเมล็ดข้าวระหว่างการหุงต้มที่เวลาต่าง ๆ (Jinorose et al., 2014)

3.6 การศึกษาสมบัติการหุงต้ม

3.6.1 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)

นำข้าวมาหุงเป็นเวลา 35 นาที ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser (TA.XT. Plus Texture Analyser, Stable Micro System, UK) โดยการทดสอบแบบกด (Compression test) และ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยหัวกดทรงกระบอกขนาด 35 มม. (P-35) วางเมล็ดข้าว 3 เมล็ดในแนวเส้นรอบวงกลม แต่ละเมล็ดทำมุม 120° บนฐานอะลูมิเนียม ความสูงเริ่มต้นของหัวกดเท่ากับ 15 มม. และ ความเร็ว pre-test, test และ post-test ของหัวกดเท่ากับ 0.5, 0.5 และ 10 mm/s ตามลำดับ วิเคราะห์ค่าความแข็งและความเหนียวนุ่มในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาในการหุงและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดติด (Adhesiveness) กับเวลาในการหุงที่ทำให้เกิดการกวดจนเกิดการเสียรูป 90 % จากความหนาเริ่มต้น

3.6.2 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

นำข้าวเหนียวและข้าวหนึ่งไปหุงสุกโดยการนึ่งเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยมีจำนวนผู้ทดสอบ 20 คน จากบุคลากรและนักศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีการทดสอบทั้ง 6 ด้าน ได้แก่ สี กลิ่น ความเกาะตัวกันของเมล็ด ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยมีคะแนนความพึงพอใจแบ่งเป็น 9 ระดับ เรียงจากไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด ดังแสดงในภาคผนวก ข จากนั้นนำคะแนนความพึงพอใจจากผู้บริโภคทั้งหมดเข้าโปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ หาความสัมพันธ์ด้วยวิธี T-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 6 ด้านที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียวและข้าวเหนียวหนึ่ง

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

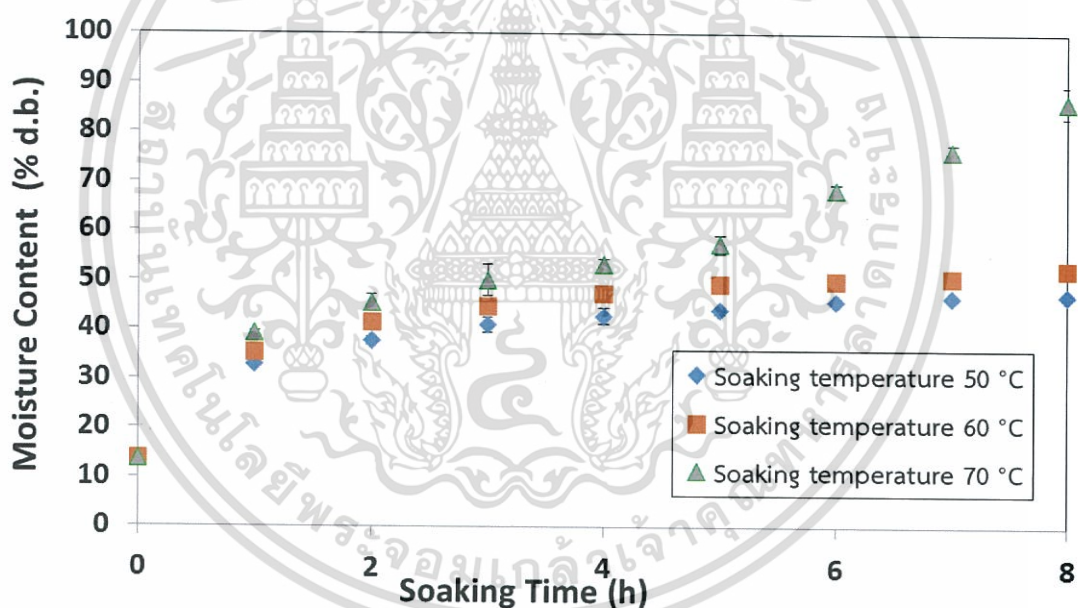
ทำการทดลองหาความชื้น เเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ค่าระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ค่าสี ค่ามิติแฟร็กทัล ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวนุ่ม ทำอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS® โดยใช้คำสั่ง Descriptive Statistic และ Chart Builder ในการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมถึงวาดกราฟการกระจาย (Scatter plot) ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ส่วนผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคมาวิเคราะห์โดยใช้คำสั่ง Paired-samples t-test ด้วยโปรแกรม SPSS® เพื่อหาความแตกต่างของข้าวเหนียวและข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแช่ข้าวเปลือก

ระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือก น้ำซึมผ่านผิวเปลือกแข็งเข้าสู่เนื้อในเมล็ด โดยเม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น การใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกสั้นลง เนื่องจากช่วยเร่งอัตราการดูดซึมน้ำ แต่น้ำแช่ต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาคีโนเซชัน (Gelatinization temperature) ของเม็ดสตาร์ชเพื่อไม่ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวปริแตกและทำให้สารต่าง ๆ ที่อยู่ในเมล็ดข้าวละลายลงสู่น้ำที่แช่ (กนกกาญจน์, 2558) ดังนั้น ปริชญานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงของข้าวเปลือกในระหว่างกระบวนการแช่เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่โดยพิจารณาจากเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่น้อยที่สุดที่ระดับความชื้นสูงสุด โดยที่ข้าวเปลือกไม่เกิดการละลายหรือปริแตก ทั้งนี้ เนื่องจากในขั้นตอนการให้ความร้อน ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงกว่าจะใช้เวลาในการให้ความร้อนน้อยกว่าเพื่อให้เกิดการเจลลาคีโนเซชัน



รูปที่ 4.1 ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างการแช่ที่เวลาต่าง ๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างการแช่ ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 13.5 ± 0.5 % (d.b.) พบว่า รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความชื้น แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) ช่วงแรกความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเชิงเส้น จากนั้นความชื้นค่อนข้างคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่งและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงท้ายของการแช่ข้าวเปลือก โดยจากการทดลองแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่า ช่วงเวลาในการแช่จาก 0 ถึง 5 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเชิงเส้นจนถึงประมาณ 49 % (d.b.) ต่อมา ความชื้นค่อนข้างคงที่จาก 5 ถึง 8 ชั่วโมง ซึ่งลักษณะของข้าวเปลือกมีการพองตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) และชั่วโมงที่ 8 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ทว่าลักษณะของข้าวเปลือกในช่วงเริ่มมีการปริแตก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ค) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ เนื่องจากทำให้ข้าวหนึ่งที่ได้มีเมล็ดที่แตกไม่ได้คุณภาพ ทั้งนี้พบว่าการแช่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า เช่น การแช่ที่อุณหภูมิ 50 °C ต้องใช้เวลาในการแช่มากขึ้นจะถึงช่วงที่ 2 และการแช่ที่อุณหภูมิสูง เช่น การแช่ที่อุณหภูมิ 70 °C จะใช้เวลาในการแช่น้อยลง ทว่าพบว่าข้าวเปลือกเริ่มมีการละลายของสตาร์ชในเมล็ดข้าวเปลือกสังเกตได้จากน้ำแช่มีสีขาวขุ่น เนื่องจากน้ำแช่มีอุณหภูมิ 70 °C สูงกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนเซชันของเม็ดสตาร์ชในข้าวเปลือก ส่งผลให้ข้าวเปลือกมีการปริแตกและไม่สามารถคืนรูปปกติได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ง) นอกจากนี้ยังพบว่า แม้เวลาในการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 50 °C และ 60 °C ไม่แตกต่างกันนัก ทว่าความชื้นสูงสุดของเมล็ดข้าวเปลือกก่อนเกิดการปริแตกของการแช่ที่อุณหภูมิ 50 °C คือ 45 % (d.b.) ซึ่งต่ำกว่า การแช่ที่อุณหภูมิ 60 °C จะส่งผลให้ต้องใช้เวลาในขั้นตอนการให้ความร้อนนานขึ้น หรือมีผลต่อความสม่ำเสมอในการเกิดเจลาทีไนเซชันของเมล็ดข้าว

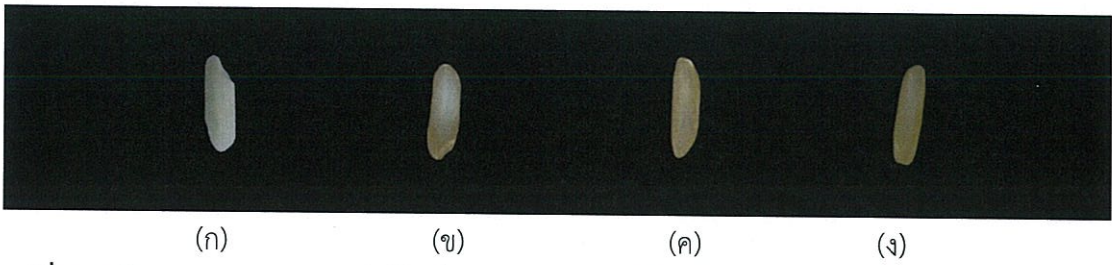


รูปที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างกระบวนการแช่ ก) ข้าวเปลือกก่อนแช่ ข) ข้าวเปลือกมีการพองตัว ค) ข้าวเปลือกเริ่มมีการปริแตก ง) ข้าวเปลือกมีการปริแตกและไม่สามารถคืนรูปปกติได้

เมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแช่ จึงเลือกการแช่ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่น้อยที่สุดและทำให้ได้ความชื้นสูงสุดในช่วงความชื้นคงที่ (49 % (d.b.)) โดยที่ข้าวเปลือกไม่เกิดการละลายหรือปริแตก ซึ่งความชื้นที่มากที่สุดจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสามารถเกิดการเจลาทีไนเซชันได้สมบูรณ์ในขณะที่ให้ความร้อน

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการให้ความร้อน

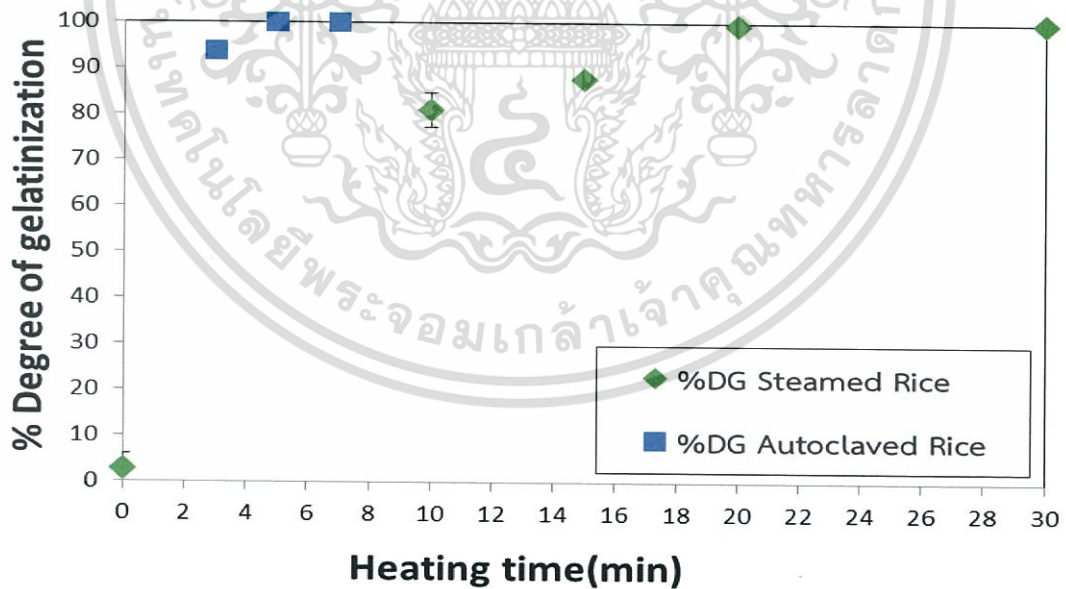
การให้ความร้อนหรือการนึ่ง (Steaming) ทำให้สตาร์ชในข้าวเปลือกเกิดการเจลาทีไนเซชันด้วยไอน้ำร้อน อุณหภูมิไอน้ำร้อนของระบบจะสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนเซชัน โดยควบคุมระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพียงพอที่ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาทีไนเซชันอย่างสมบูรณ์ ถ้าสตาร์ชเกิดการเจลาทีไนเซชันไม่สมบูรณ์ลักษณะข้าวสารหนึ่งที่ได้จะมีสีขาวขุ่นที่ใจกลางของเมล็ดข้าวหนึ่ง ดังรูป 4.3 (ข)



รูปที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวหนึ่งหลังกระเพาะเปลือก

- ก) ข้าวเหนียว ข) ข้าวหนึ่งที่มีสีขาวขุ่นกลางเมล็ด ค) ข้าวหนึ่งที่ให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ
ง) ข้าวหนึ่งที่ให้ความร้อนด้วยการนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ

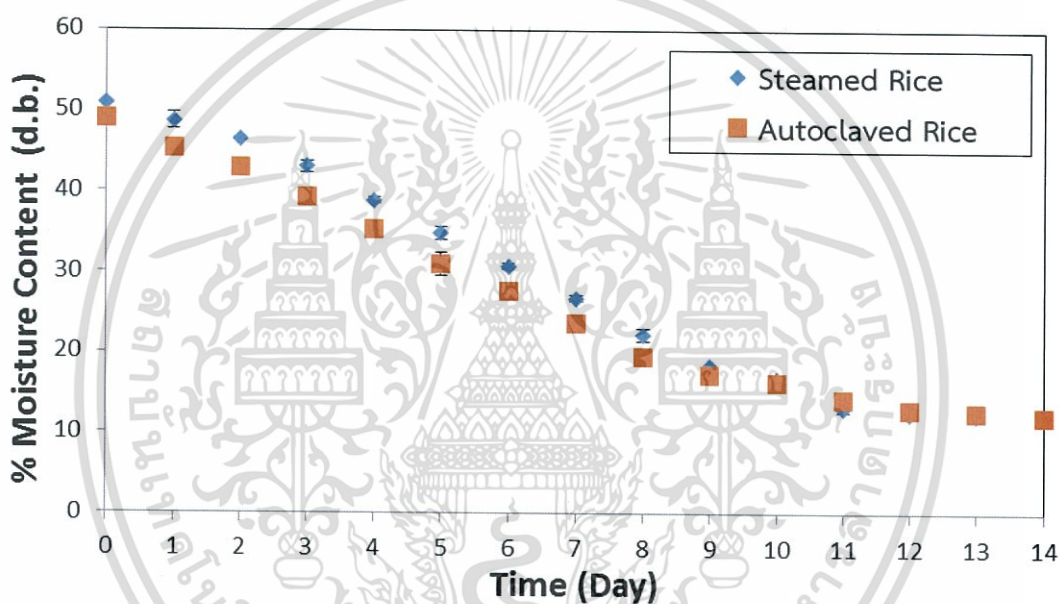
จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในกระบวนการให้ความร้อนเมล็ดข้าวเปลือกหลังผ่านกระบวนการแช่ โดยพิจารณาจากระดับการเกิดเจลาทีไนเซชัน (Degree of gelatinization) อย่างสมบูรณ์หรือมีค่าเท่ากับ 100 % พบว่า หลังจากการแช่ข้าวเปลือกสตาร์ชเกิดการเจลาทีไนเซชันบางส่วนซึ่งมีผลทำให้ค่าระดับการเกิดเจลาทีไนเซชันหลังการแช่ก่อนการให้ความร้อนมีค่า 2.91 % จากการนึ่งให้ความร้อนโดยทำการเปรียบเทียบการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำและการนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 1.2 kg/cm² พบว่า สถานะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนจนกระทั่งข้าวเปลือกเกิดการเจลาทีไนเซชันอย่างสมบูรณ์ซึ่งมีค่าระดับการเกิดเจลาทีไนเซชันเป็น 100% โดยใช้เวลาน้อยที่สุด ได้แก่ 20 นาที และ 5 นาที สำหรับกรณีการนึ่งด้วยไอน้ำและให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ระดับการเกิดเจลาทีไนเซชันของข้าวเปลือกระหว่างให้ความร้อนที่เวลาต่าง ๆ

4.3 การศึกษาทำแห้งด้วยวิธีการตาก

การทำแห้ง เป็นการลดความชื้นข้าวเปลือกให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาซึ่งความชื้นของข้าวเปลือกจะมีความชื้นเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลที่ประมาณ 14 % (d.b.) ซึ่งหลังจากกระบวนการให้ความร้อนข้าวเปลือกมีความชื้นสูงถึงประมาณ 50 % (d.b.) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะแก่การเก็บรักษาและการขัดสีข้าว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความชื้นของข้าวเปลือกลงด้วยทำการแห้ง จากการทำแห้งข้าวด้วยการตากที่อุณหภูมิ $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 28 % R.H. การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการตากดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า ในระยะแรกช่วง 1 ถึง 2 วัน ความชื้นของข้าวเปลือกจะค่อย ๆ ลดลง ต่อมาในช่วง 3 ถึง 9 วัน ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเร็วมาก จนกระทั่งเข้าสู่วันที่ 12 ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มเข้าสู่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลเริ่มคงที่ที่ประมาณ 14 % (d.b.) ซึ่งอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและนำไปขัดสีข้าว



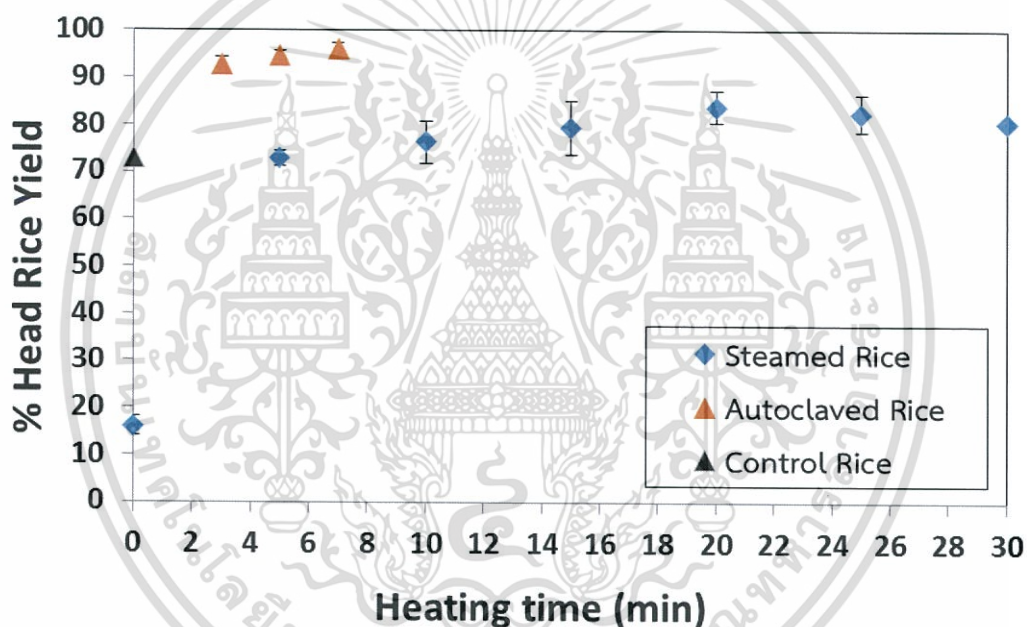
รูปที่ 4.5 ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดที่เวลาต่าง ๆ

4.4 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (% Head Rice Yield)

จากการศึกษาการให้ความร้อนข้าวหนึ่งด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำและการนึ่งด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำพบว่า การให้ความร้อนส่งผลโดยตรงต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวหรือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว โดยข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการทำข้าวหนึ่งมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว 72.89 % ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ข้าวที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 5 ชั่วโมงโดยไม่ผ่านการให้ความร้อน มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว 16.05 % ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทีไนเซชันไม่สมบูรณ์ มีระดับการเกิดเจลาทีไนเซชันเพียง 2.91 % ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเพียงบางส่วน ส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักมากกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการทำข้าวหนึ่ง ทว่าเมื่อข้าวหนึ่งเกิดการเจลาทีไนเซชันอย่างสมบูรณ์ เช่น การให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที และให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ 5 นาที ภายในเมล็ดข้าวโครงสร้างเกิดการเชื่อมติดกันทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น สมานรอยร้าวในเมล็ด (อรอนงค์, 2546) ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 83.90 % และ 94.77 % สำหรับกรณีการนึ่งด้วยไอน้ำและให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ ตามลำดับ ดังนั้น ในการทำข้าวหนึ่งจำเป็นต้องเกิดการเจลาทีไนเซชันอย่างสมบูรณ์ จึงจะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวได้ หากเกิดการเจลาทีไนเซชันไม่สมบูรณ์จะกลับทำให้ข้าวเกิดการแตกหักเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงจากข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งเสียอีก นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับการให้ความร้อนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อลักษณะการแตกหักหรือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวทั้งนี้อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของข้าว ทำให้ข้าวหนึ่งที่ผ่านการให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำซึ่งมีระดับการให้ความร้อนสูงกว่าข้าวหนึ่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงกว่า เนื่องจากแม้จะมีค่า Degree of gelatinization 100 % เท่ากัน แต่การให้ความร้อนสูง เช่น หม้อนึ่งอัดไอน้ำ จะมีโครงสร้างผลึกแบบ V-type ทั้งหมด ในขณะที่การนึ่งด้วยไอน้ำมี โครงสร้างผลึกแบบ type-A และ type-V ผสมกันทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างต่างกัน (อรอนงค์, 2546) ซึ่งทำให้แตกหักได้ง่ายกว่า

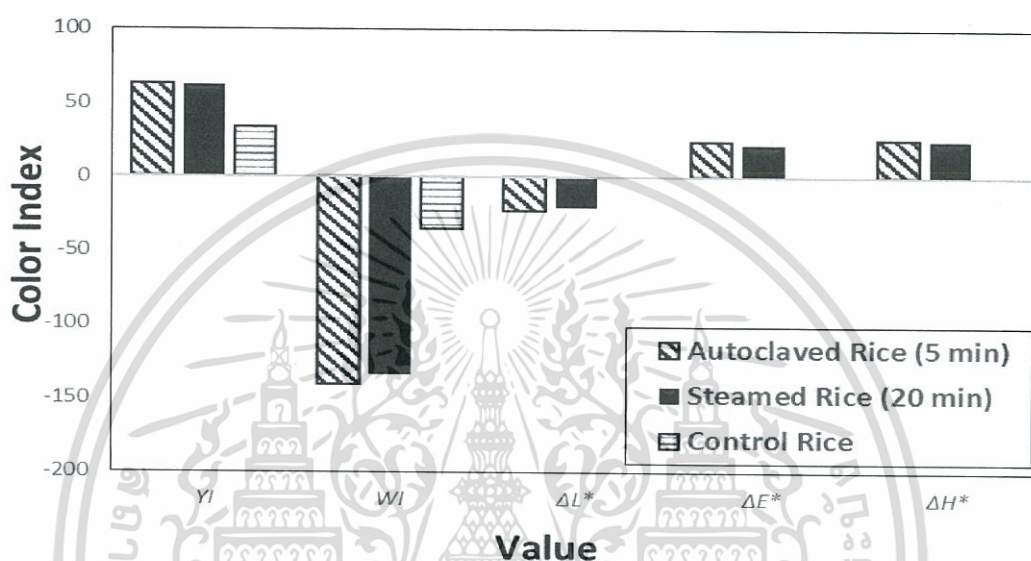


รูปที่ 4.6 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังผ่านกระบวนการขัดสีที่เวลาในการให้ความร้อนต่าง ๆ

4.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของข้าวหนึ่ง

โดยทั่วไปหลังผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง เมล็ดข้าวจะใสขึ้นเนื่องจากเกิดการเจลาทีไนเซชันและมีสีเหลืองเข้มขึ้น เนื่องจากสารสีที่ซึมเข้าไปจากเปลือกข้าวและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากความร้อน ลักษณะสีของข้าวหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและเวลาในการแช่ โดยยิ่งแช่ที่อุณหภูมิสูงและแช่เป็นเวลานาน ค่าความสว่าง (Lightness) หรือค่าดัชนีความขาว (Whiteness index; WI) จะลดลง เนื่องจากเมล็ดข้าวมีความใสมากขึ้นความทึบแสงของโครงสร้างลดลงจากการเกิดเจลาทีไนเซชัน นอกจากนี้การทำให้แบ่งภายในเมล็ดเกิดการสุกและขยายตัวจับเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้ข้าวที่มีเติสขาวภายในเมล็ดลดลง สีเหลืองมากขึ้นสังเกตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากค่าดัชนีความเหลือง (Yellowness Index; YI) ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากข้าวหนึ่งเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซิงซึ่งเกิดจากเอนไซม์ย่อยสลายสตาร์ชในขั้นตอนการแช่ทำปฏิกิริยากับกรดแอมิโน ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด โดยจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉพาะในขั้นตอนการให้ความร้อน ส่งผลให้ข้าวหนึ่งจากการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ (Autoclave) มีสีเหลืองเข้มกว่าข้าวหนึ่งที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Steamed) เพราะมีอุณหภูมิและความดันสูงกว่าทำให้สีเหลืองเข้มกว่า ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าของสีของเมล็ดข้าวหลังผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่สภาวะต่าง ๆ กับข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง Yellowness Index (YI); Whiteness; Index (WI); Total Color Difference (ΔE^*); Difference in lightness and darkness (ΔL^*); and Hue Difference (ΔH^*)

4.6 การศึกษาวิธีการประเมินระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน

4.6.1 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

จากการนำค่าที่ได้จากเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) เป็นค่าเอนทัลปี (ΔH) มาคำนวณระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (Degree of gelatinization, %DG) ดังอธิบายในหัวข้อ 3.5.1 พบว่าข้าวหนึ่งที่เกิดการเจลลาทีโนเซชันอย่างสมบูรณ์จะมีค่าระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันเท่ากับ 100 % ได้แก่การนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลานานกว่า 20 นาที และการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำเป็นเวลานานกว่า 5 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาของการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำและให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

	Time (min)	Temperature			ΔH_1 (J/g)	ΔH_2 (J/g)	% DG
		T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)			
Controlled Rice	0	64.4	72.0	79.3	9.302	10.44	
	0	71.1	77.1	82.3	9.242	9.9	2.91
	10	71.7	78.3	83.7	1.518	2.246	81.09
Steamed Rice	15	73.3	80.1	84.3	1.117	1.305	87.75
	20	0	0	0	0	0	100.00
	30	0	0	0	0	0	100.00
Autoclaved Rice	3	73.8	81.8	84.7	0.646	0.594	93.68
	5	0	0	0	0	0	100.00
	7	0	0	0	0	0	100.00

เมื่อ Time คือ เวลาในการให้ความร้อนข้าวหนึ่งด้วยวิธีต่างๆ T_o คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของสตาร์ชที่เกิดการเจลลาทีโนเซชัน, T_p คือ อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลลาทีโนเซชันสูงสุด, T_c คือ อุณหภูมิสุดท้ายของสตาร์ชที่เกิดการเจลลาทีโนเซชัน, ΔH_1 คือ ค่าเอนทัลปีทั้งหมดที่ใช้ในการเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ชครั้งที่ 1, ΔH_2 คือ ค่าเอนทัลปีทั้งหมดที่ใช้ในการเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ชครั้งที่ 2 และ % DG คือ ระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (Degree of Gelatinization)

4.6.2 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (Alkali Test)

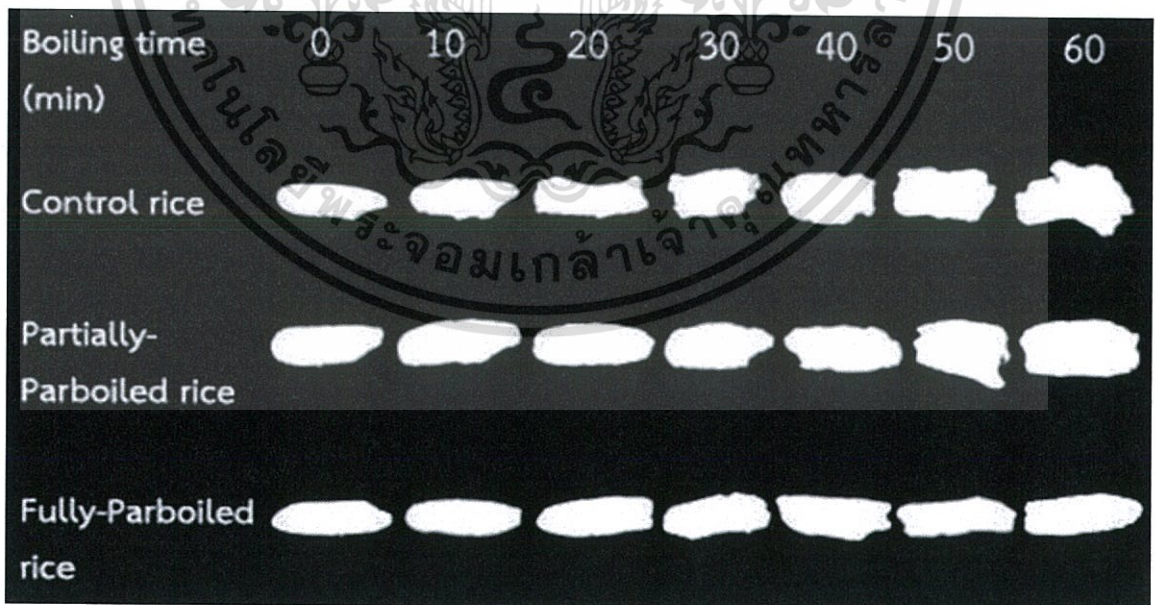
จากการทดลองแช่เมล็ดข้าวภายในสารละลายต่าง ดังอธิบายในหัวข้อ 3.5.2 หากข้าวหนึ่งมีคะแนนสม่ำเสมอในช่วง 6 - 7 คะแนน ทุกเมล็ด แสดงว่าข้าวหนึ่งเกิดการเจลลาทีโนเซชันอย่างสมบูรณ์ จากการศึกษาพบว่า เมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวหนึ่งประเมินระดับการสลายตัวได้ 1 คะแนน ส่วนข้าวหนึ่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ พบว่ามีระดับการให้คะแนนสูงขึ้นตามเวลาและอุณหภูมิการให้ความร้อน โดยข้าวหนึ่งที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเป็นข้าวหนึ่งที่เกิดการเจลลาทีโนเซชันไม่สมบูรณ์ มีระดับการสลายตัว 4 คะแนน ส่วนที่เวลา 20 นาที จึงมีระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน 100 % มีการสลายตัวที่ระดับ 6 คะแนน ในขณะที่ผลการประเมินการสลายตัวในสารละลายต่างของข้าวหนึ่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำซึ่งให้ความร้อนสูงกว่า พบว่าที่เวลา 5 นาที ซึ่งมีระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชัน 100 % เช่นเดียวกัน แต่มีระดับการสลายตัวสูงกว่าคือที่ระดับ 7 คะแนน ดังตารางที่ 4.2 ผลการประเมินเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ซึ่งอาจเป็นเพราะโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันดังอธิบายในหัวข้อ 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลการสลายตัวของข้าวหนึ่งในของเมล็ดข้าวสารละลายต่าง

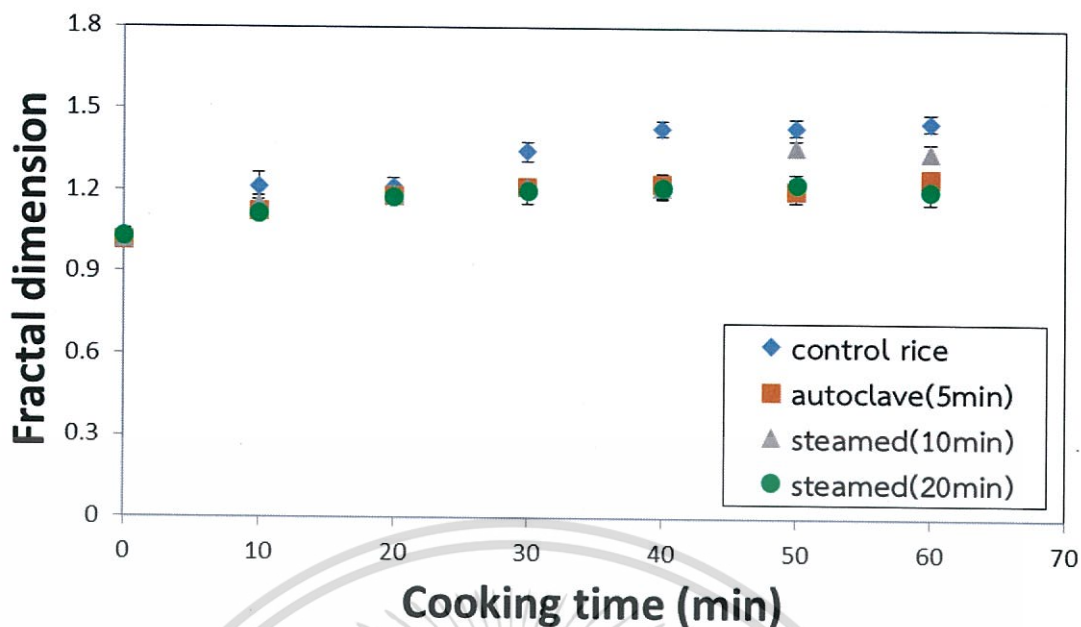
หม้อหนึ่งอัดไอน้ำ				หม้อหนึ่งไอน้ำ					
เวลา (นาท)	3	5	7	5	10	15	20	25	30
คะแนน	5	7	7	1	2	4	6	6	7

4.6.3 การศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพ

จากการศึกษาระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5.3 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ข้าวหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างระหว่างการหุงต้มข้ากว่าข้าวทั่วไปที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง ระหว่างการต้มในน้ำเดือด ดังแสดงในรูป 4.8 พบว่าข้าวหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงข้ากว่าข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง โดยข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการทำข้าวหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและเสีรูปที่เวลาในการต้ม 30 นาที แต่ข้าวที่เริ่มเกิดการเจลลาทีโนเซชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างช้ากว่า เช่น ข้าวหนึ่งที่เกิดการเจลลาทีโนเซชันบางส่วนจะเริ่มเกิดการเสีรูปที่เวลาในการต้ม 50 นาที ดังแสดงในรูป 4.9 ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสามารถประเมินได้จากค่ามิติแฟร็กทัล (Fractal dimension) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงข้าวหนึ่งระหว่างการต้ม แบ่งออกเป็น 3 ช่วง และสัมพันธ์โดยตรงกับสมบัติในการสลายตัวของข้าว ซึ่งค่ามิติแฟร็กทัลสามารถบ่งชี้ถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเสีรูปของข้าวซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดเจลลาทีโนเซชันในเมล็ดข้าว โดยข้าวที่มีระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันสูงกว่าจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเสีรูปช้ากว่า โดยข้าวหนึ่งที่เกิดการเจลลาทีโนเซชันสมบูรณ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเสีรูปจากการต้มที่ช้ากว่า 60 นาที



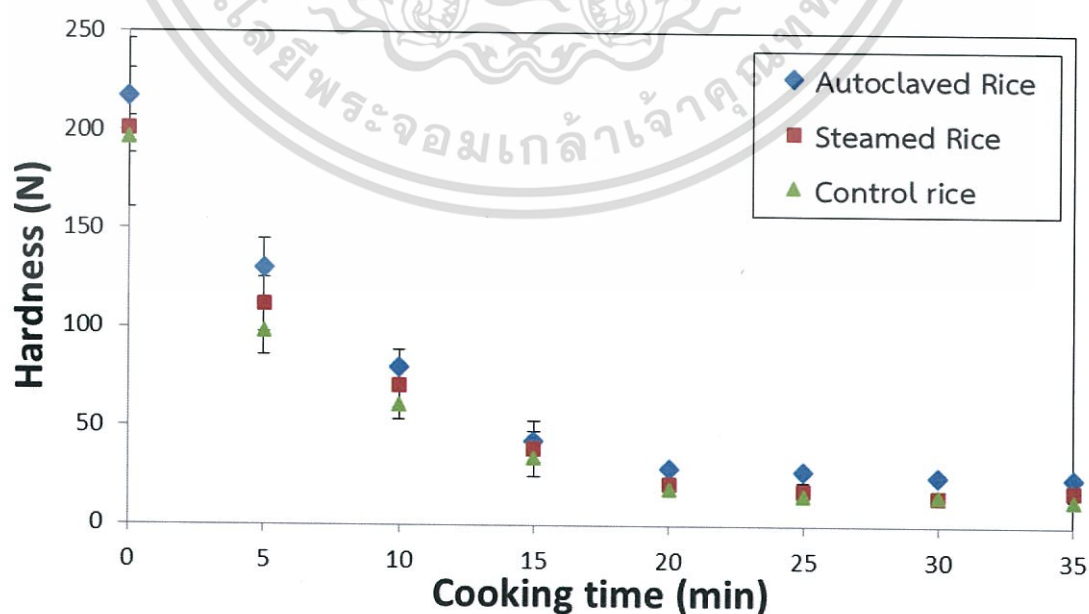
รูปที่ 4.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของข้าวหนึ่งระหว่างการต้มที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.9 ค่ามิติแฟร็กทัลของเมล็ดข้าวระหว่างการต้มที่เวลาต่าง ๆ

4.7 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)

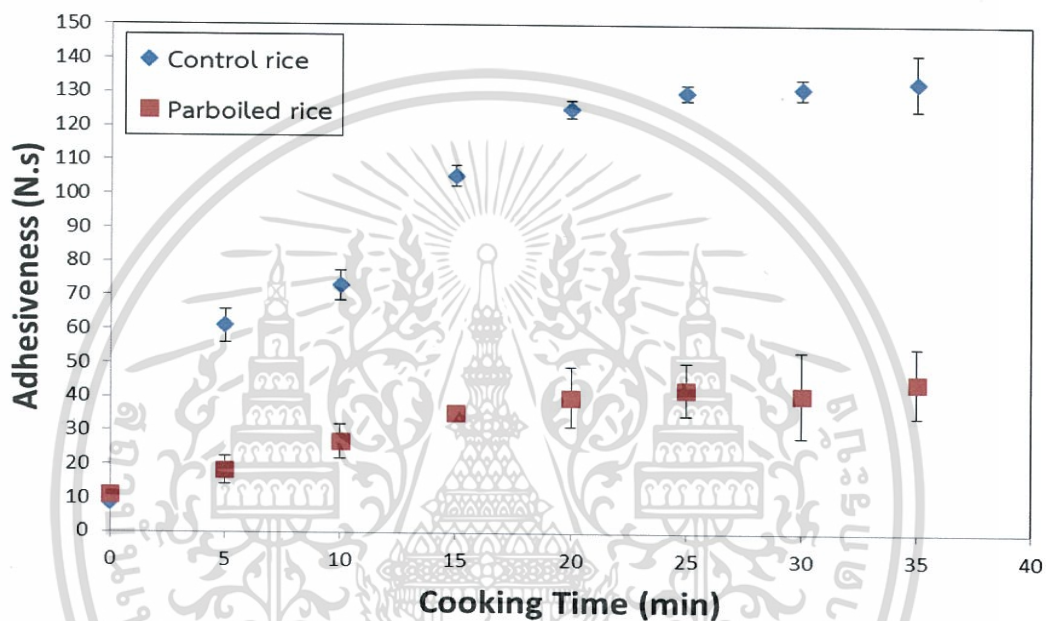
จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหนึ่ง จากการทดสอบแบบกด(Compression Test) พบว่าความแข็งของเมล็ดข้าวหลังผ่านการหุงต้มมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการหุงต้มข้าวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยข้าวหนึ่งจะมีค่าความแข็งสูงขึ้นเล็กน้อยกว่าเมล็ดข้าวควบคุมของพันธุ์เดียวกัน ข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง นอกจากนี้พบว่าข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยการนึ่งในหม้อนึ่งอัตโนมัติ มีค่าความแข็งมากกว่าการให้ความร้อนโดยใช้การนึ่งด้วยไอน้ำสัมผัสพื้นที่กับการแตกหักหรือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ซึ่งอาจเป็นผลจากความแตกต่างของโครงสร้างดังอธิบายในข้อ 4.4



รูปที่ 4.10 ความแข็งของเมล็ดข้าวระหว่างการหุงต้มที่เวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) พบว่าค่าความแข็งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีทดสอบแบบกด ส่วนค่ายึดติด (Adhesiveness) ซึ่งบ่งชี้ความเหนียวนุ่มของข้าว พบว่าในช่วงเวลาการต้มจาก 0 นาที ถึง 20 นาที ค่าความเหนียวนุ่มของข้าวเหนียวและข้าวเหนียวหนึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการหุงต้มข้าวนานขึ้นโดยข้าวเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้นเร็วกว่าข้าวเหนียวหนึ่ง โดยสังเกตจากความชันของกราฟ และความเหนียวนุ่มจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการต้มมากกว่า 20 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งบ่งชี้ว่าข้าวเหนียวมีความเหนียวนุ่มมากกว่าข้าวหนึ่ง เนื่องจากค่า Adhesiveness สูงกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างผลึกของข้าวดังอธิบายในหัวข้อ 4.4



รูปที่ 4.11 ความเหนียวนุ่มของเมล็ดข้าวระหว่างการหุงต้มที่เวลาต่าง ๆ

4.8 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

นำข้าวเหนียวและข้าวหนึ่งไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ตามอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.7 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในข้าวเหนียวและข้าวหนึ่ง หุงสุก

Paired Samples Statistics				
คู่ที่		Mean	N	Std. Deviation
1	สีข้าวเหนียว	7.35	20	1.182
	สีข้าวหนึ่ง	6.30	20	1.129
2	กลิ่นข้าวเหนียว	6.40	20	1.142
	กลิ่นข้าวหนึ่ง	5.60	20	1.353
3	ความเกาะตัวข้าวเหนียว	7.60	20	0.681
	ความเกาะตัวข้าวหนึ่ง	7.85	20	0.745
4	ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวเหนียว	7.20	20	1.005
	ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวหนึ่ง	5.60	20	1.046
5	รสชาติข้าวเหนียว	6.80	20	1.005
	รสชาติข้าวหนึ่ง	6.90	20	0.852
6	ความชอบโดยรวมข้าวเหนียว	6.15	20	0.875
	ความชอบโดยรวมข้าวหนึ่ง	6.35	20	1.137

จากการทดสอบความพึงพอใจทั้ง 6 ด้าน ได้แก่ สี กลิ่น ความเกาะตัวกันของเมล็ด ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่าในด้านสี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัส ข้าวเหนียวได้คะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าข้าวหนึ่ง ในส่วนด้านของความเกาะตัวกันของเมล็ด รสชาติ และความชอบโดยรวม ข้าวหนึ่งได้คะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่า ดังแสดงในตาราง 4.3

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 6 ด้าน ที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียวและข้าวหนึ่ง พบว่าความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างข้าวเหนียวและข้าวหนึ่งนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่ $p < 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านความเกาะตัวกันของเมล็ด รสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่ $p > 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % กล่าวได้ว่าปัจจัยในด้านความเกาะตัวกันของเมล็ด รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า

แม้ว่าข้าวหนึ่งจะมีสีที่เข้มขึ้นเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้น ทำให้ความเกาะตัวลดลง แต่โดยรวมผู้บริโภคยอมรับและข้าวเหนียวหนึ่งมากกว่าข้าวเหนียวธรรมดา ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 6 ด้าน ที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียวและข้าวหนึ่ง

Paired Samples Test									
คู่ที่	Paired Differences					t	df	Sig. p	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
1	สีข้าวเหนียว - สีข้าวหนึ่ง	1.050	1.761	0.394	0.226	1.874	2.666	19	0.015
2	กลิ่นข้าวเหนียว - กลิ่นข้าวหนึ่ง	-0.800	1.576	0.352	-0.062	1.538	2.270	19	0.035
3	ความเกาะตัวของข้าวเหนียว - ความเกาะตัวของข้าวหนึ่ง	-0.250	0.851	0.190	-0.648	0.148	-1.314	19	0.204
4	ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวเหนียว - ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวหนึ่ง	1.600	0.995	0.222	1.134	2.066	7.193	19	0.000
5	รสชาติข้าวเหนียว - รสชาติข้าวหนึ่ง	-0.100	0.912	0.204	-0.527	0.327	-0.490	19	0.629
6	ความชอบโดยรวมข้าวเหนียว - ความชอบโดยรวมข้าวหนึ่ง	-0.200	1.361	0.304	-0.837	0.437	-0.657	19	0.519

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การแปรรูปข้าวหนึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงคุณภาพการขัดสีข้าวทำให้ข้าวหักน้อยลงและเป็นการเพิ่มมูลค่าข้าว ทว่าการแปรรูปข้าวหนึ่งให้มีคุณภาพดีนั้นจำเป็นต้องทราบสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง เนื่องจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีสมบัติทั้งเชิงกายภาพ เชิงเคมี-กายภาพ และสมบัติการหุงต้มที่แตกต่างกัน โดยสมบัติเหล่านี้ส่งผลให้สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแปรรูปข้าวหนึ่งแตกต่างกันอีกด้วย อีกทั้งโดยทั่วไปข้าวหนึ่งนิยมแปรรูปจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง จึงยังไม่ค่อยมีการศึกษาการแปรรูปข้าวหนึ่งจากข้าวพันธุ์เหนียว ปรินญาณีพนธ์นี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปข้าวหนึ่งโดยใช้ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (*Oryza sativa* L. var. Niaw San-pah-tawng) โดยทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเปลือก เวลาในการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ และให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ (Autoclave) พบว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวทั้งเชิงกายภาพ (ขนาด รูปร่าง สี ความชื้น และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว) เชิงเคมี-กายภาพ (ระดับการเกิดเจลาทีโนเซชัน) ตลอดจนสมบัติการหุงต้ม (ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส) รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพเพื่อวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลาทีโนเซชัน

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือก พบว่าการแช่ที่อุณหภูมิสูง สามารถทำให้ระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกสั้นลง เนื่องจากช่วยเร่งอัตราการดูดซึมน้ำ แต่ทว่าการแช่ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทีโนเซชัน (Gelatinization temperature) ของเมล็ดข้าว จะส่งผลให้ข้าวเปลือกเกิดการละลายหรือปริแตกของเปลือกหุ้มเมล็ด โดยอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกคืออุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาสั้นที่สุดที่ทำให้ข้าวมีความชื้นสูงสุดระหว่างการแช่(49 % (d.b.)) และเปลือกข้าวไม่ปริแตก ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อน ซึ่งต้องเป็นสภาวะที่ข้าวเปลือกเกิดการเจลาทีโนเซชันอย่างสมบูรณ์ โดยพิจารณาจากระดับการเกิดเจลาทีโนเซชัน (Degree of gelatinization) มีค่าเท่ากับ 100 % ที่เวลาในการให้ความร้อน 20 นาที และ 5 นาที สำหรับกรณีการนึ่งด้วยไอน้ำและให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ ตามลำดับ ส่วนการทำแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการตาก พบว่า ต้องใช้เวลา 12 วัน ความชื้นข้าวเปลือกจึงจะเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ (ประมาณ 14 % (d.b.)) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและการขัดสีข้าว

นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่เกิดการเจลาทีโนเซชันอย่างสมบูรณ์สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวหรือเพิ่มผลผลิตได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง อีกทั้งพบว่าข้าวหนึ่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระดับสูงกว่า เช่น หม้อนึ่งอัดไอน้ำ มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมากกว่าข้าวหนึ่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระดับต่ำกว่า เช่น การนึ่งด้วยไอน้ำ การทำข้าวหนึ่งส่งผลให้ข้าวมีค่าความแข็งมากกว่าเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง โดยข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่ระดับสูงกว่ามีความแข็งมากกว่า อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวิธีประเมินระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วย วิธีต่างๆ Differential Scanning Calorimeter (DSC) วิธีวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และวิธีวิเคราะห์ภาพ พบว่า เทคนิควิเคราะห์ภาพสามารถนำมาใช้ตรวจสอบการเกิดเจลลาทีโนเซชันของข้าวหนึ่งได้ โดยการพิจารณา การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดข้าวระหว่างการต้มในน้ำเดือดจากค่ามิติแฟร็กทัล ซึ่งพบว่าสามารถ บ่งชี้ระดับการเกิดเจลลาทีโนเซชันอย่างสมบูรณ์ได้โดยผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวิธี Differential Scanning Calorimeter (DSC) และการประเมินด้วยวิธีวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวใน สารละลายต่าง อีกทั้งเทคนิควิเคราะห์ภาพยังเป็นการตรวจสอบที่ใช้เวลาน้อยกว่าและไม่ซับซ้อนเมื่อ เทียบกับอีกสองวิธี อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้โดยง่าย

จากการประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสี กลิ่น และลักษณะ เนื้อสัมผัสระหว่างข้าวเหนียวและข้าวหนึ่งนั้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสมีผลการศึกษาเป็นไปทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ เนื้อสัมผัสซึ่งความแข็งของข้าวเหนียวหนึ่งมากกว่าข้าวเหนียว ส่วนปัจจัยในด้านความเกาะตัวกันของ เมล็ด รสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่โดยรวมแล้ว ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในด้านความชอบโดยรวมของข้าวเหนียวหนึ่งมากกว่าข้าวเหนียว 3.15 %

ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

เนื่องจากการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการแช่ข้าวเปลือกและการให้ความ ร้อนในการผลิตข้าวเหนียวหนึ่งเป็นหลัก ทว่ายังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ที่ ยังไม่ได้ทำการศึกษา เช่น สภาวะที่เหมาะสมการทำแห้งเพื่อการเก็บรักษา โดยการลดเวลาในการทำ แห้งด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถลดเวลาในการทำแห้งข้าวหนึ่งได้ ซึ่ง ปัจจัยดังกล่าวสามารถนำไปศึกษาเพื่อต่อยอดในการพัฒนากระบวนการแปรรูปข้าวหนึ่งจากข้าวเหนียว ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**, 17th edn. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg.
- Bhattacharya, S. 1996. “Kinetics on Colour Changes in Rice due to Parboiling.” **Journal of Food Engineering**. 29: 99-106.
- Buczowski, S., Hildgen, P. and Cartilier, S. 1997. “Measurement of fractal dimension by box-counting: a critical analysis of data scatter.” **Physica A**. 262(1998): 23-24.
- International Rice Research Institute (IRRI). 2010. **Grain Quality**. [Online]. Available: https://www.google.com/url?q=http://www.knowledgebank.irri.org/grainQuality/module_8/trainerNotes/transparencies/ohp_module_05.ppt&sa=U&ved=0ahUKEwj3_uWvj4nRAhVJO48KHeyjASgQFggEMAA&client=internal-uds-cse&usq=AFQjCNFyMAcbG2ytuBIKqr7lgc3vJNOLVQ
- International Rice Research Institute (IRRI). 2010. **Measuring white rice quality**. [Online]. Available: http://www.knowledgebank.irri.org/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=1131&Itemid=822
- International Rice Research Institute (IRRI). 2010. **Rice Quality**. [Online]. Available: http://www.knowledgebank.irri.org/ericproduction/quality_01.htm
- Japan International Cooperation Agency (JICA) and Post-harvest Technology Expert. 2013. “**Rice Quality**.”
- International Rice Research Institute (IRRI) 2010. **Measuring white rice quality**. [Online] Available: http://www.knowledgebank.irri.org/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=1131&Itemid=822 (8 October 2016)
- Jinorose. M. et al. “A novel image-analysis based approach to evaluate some physicochemical and cooking property of rice kernels” **Journal of Food Engineering**. 124(2014); 184-190
- Juliano. B.O. 1985. **Rice: Chemistry and Technology**. The American Association of Cereal Chemist Inc. St.paul Minnesota.
- Sareepuang, K. et al. 2008. “**Effect of Soaking Temperature on Physical, Chemical and Cooking Properties of Parboiled Fragrant Rice**.” **World Journal of Agricultural Sciences**. 4(4); 409-415.
- American Society for Testing and Materials. 2015. **Standard Practice for calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates**. Available: <https://compass.astm.org/download/E313.35117.pdf> (8 October 2016)

- Taghinezhad, E. et al. 2016. "Relationship Between Degree of Starch Gelatinization and Quality Attributes of Parboiled Rice During Steaming." *Rice Science*. 23(6) : 339-344.
- Wahl. 2014. **Fractal dimension**. [Online]. Available; http://www.wahl.org/fe/HTML_version/link/content.htm. (21 March 2560)
- กนกกาญจน์ ปานจันทร์. 2558. **ข้าวนี้**. กรมวิทยาศาสตร์บริการ [Online] Available: http://lib3.dss.go.th/fulltext/ST-articles/bio_7_2558_Parboiled-rice.pdf
- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2559. **การส่งออกข้าว เดือน ธันวาคม 2558**. [Online] Available: [http://www.ditp.go.th/ditp_pdf.php?filename=contents_attach/142212/142212.pdf](http://www.ditp.go.th/ditp_pdf.php?filename=contents_attach/142212/142212.pdf&title=142212) &title=142212 (สืบค้นข้อมูลวันที่ 14 พฤศจิกายน 2560)
- กองมาตรฐานสินค้านำเข้าส่งออก กรมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2559. **รวมมาตรฐานสินค้าข้าวไทย**. [Online] Available: <http://ocs.dft.go.th/> (20 มกราคม 2560)
- นิธยา รัตนาปนนท์. 2558. **เคมีอาหาร**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
- ปราณี อ่านเปรื่อง. 2551. **หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธยา รัตนาปนนท์. 2558. **Gelatinization temperature** [Online] Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1009/> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 พฤศจิกายน 2559)
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. **การประเมินทางประสาทสัมผัส**. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2560)
- มูลนิธิข้าวไทย. 2559. **ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวไทย**. [Online] Available: <http://www.thairiceforlife.com/strains/kawneaw>
- สุนีย์ สหัสโพธิ์. "ดัชนีน้ำตาลในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองโดยใช้วิธีการเลียนแบบการย่อย การดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง" *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. ปีที่ 20 (ฉบับที่ 2) กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2558.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตัวแปร เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
0	15.0106	11.4235	31.4011	15.0485	11.4950	30.9134	15.1584	11.5665	31.4028	31.2391	0.0697
1	15.1931	11.5256	32.9675	15.1997	11.6854	32.5534	15.0587	11.4974	32.7178	32.7462	0.2085
2	15.2255	11.5198	37.5588	15.0896	11.4684	38.4805	15.0775	11.4035	36.7256	37.5883	0.8778
3	15.2692	11.5020	39.5931	15.0635	11.2214	42.5410	15.1674	11.1145	40.3491	40.8277	1.5311
4	15.1069	11.3236	42.2569	15.0657	11.2793	44.5232	15.0229	11.3077	41.3692	42.7164	1.6264
5	15.2370	11.3808	43.3502	15.0804	11.2825	43.6933	15.0789	11.2945	44.7492	43.9309	0.7291
6	15.1511	11.4513	45.3852	15.1917	11.1546	45.6682	15.1347	11.0995	46.3796	45.8110	0.5123
7	15.1594	11.4354	45.9276	15.2139	11.1035	47.0212	15.1687	11.1367	46.9753	46.6414	0.6186
8	15.2026	11.3894	46.6162	15.2875	10.9829	47.4237	15.1446	10.9838	47.2550	47.0983	0.4259

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตัวแปร เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
0	15.7768	12.0730	30.6784	15.3584	11.6914	31.3649	15.0874	11.7068	32.9005	31.6479	0.0697
1	15.1088	11.2754	35.6280	15.0202	11.3151	35.4464	15.0313	11.5128	34.4547	35.1764	0.6315
2	15.5540	11.6952	41.3306	15.0231	11.0346	42.6939	15.0674	11.1229	40.2314	41.4186	1.2336
3	15.3722	11.6003	43.6920	15.2816	11.4052	43.8572	15.0572	11.2699	46.3607	44.6366	1.4954
4	15.4616	11.6902	47.7426	15.0308	10.8023	46.1004	15.0691	10.8755	47.9233	47.2554	1.0044
5	15.0128	11.4022	49.9597	15.2501	11.5489	48.2011	15.0744	10.9889	49.4754	49.2121	0.9084
6	15.2999	11.4899	50.9169	15.0313	11.0166	48.7619	15.0296	11.1131	49.9339	49.8709	1.0789
7	15.4153	11.5321	51.4052	15.0245	11.0092	49.4105	15.0974	10.9996	50.5800	50.4652	1.0023
8	15.3360	11.4485	52.2933	15.1597	10.7870	51.6214	15.0687	10.7589	53.1328	52.3492	0.7572

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ตัวแปร เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
0	15.0281	11.3199	32.7582	15.5598	11.7991	31.8728	15.0985	11.8961	32.7948	32.4753	0.0697
1	15.2647	11.2160	39.0986	15.5514	10.9669	39.7022	15.1151	11.0816	38.6325	39.1444	0.5363
2	15.3610	11.2426	43.7150	15.2561	11.1150	46.8970	15.0187	11.3926	45.4901	45.3674	1.5945
3	15.4663	10.6858	53.4476	15.1389	10.9667	47.0871	15.1174	11.2709	49.3279	49.9542	3.2262
4	15.2231	10.9204	54.4376	15.9203	11.6693	52.3125	15.0887	10.9512	53.0627	53.2709	1.0777
5	15.3620	11.1585	55.5648	15.7916	11.1820	59.2595	15.2791	11.0725	57.1316	57.3186	1.8544
6	15.3508	10.5630	67.4467	15.2438	11.0350	68.0390	15.2178	10.9771	69.5466	68.3441	1.0827
7	15.3236	10.6835	75.1551	15.4202	10.7404	77.7373	15.2374	10.7176	75.7352	76.2092	1.3548
8	15.5419	10.6729	89.7460	15.6119	10.8331	83.5061	15.2445	10.7118	85.5346	86.2622	3.1830

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ

ตัวแปร เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
เริ่มต้น	5.1789	3.2987	56.9982	5.8744	3.6771	59.7563	5.1096	3.2274	58.3194	58.3580	1.3795
5	5.9633	4.0872	45.9018	6.2485	4.3134	44.8625	5.0351	3.4422	46.2756	45.6800	0.7322
10	6.0860	4.1379	47.0794	5.3321	3.6470	46.2051	5.0949	3.4400	48.1076	47.1307	0.9523
15	6.2912	4.2141	49.2893	5.1926	3.4962	48.5213	5.1304	3.4220	49.9240	49.2449	0.7024
20	6.4278	4.2581	50.9547	5.4358	3.6084	50.6429	5.1647	3.4257	50.7633	50.7870	0.1572
25	6.0156	3.9282	53.1388	5.4865	3.5897	52.8401	5.2408	3.4036	53.9781	53.3190	0.5900
30	5.8148	3.7474	55.1689	5.1584	3.3587	53.5832	5.2291	3.3781	54.7941	54.5154	0.8288

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ

ตัวแปร เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
เริ่มต้น	5.1789	3.2987	56.9982	5.8744	3.6771	59.7563	5.1096	3.2274	58.3194	58.3580	1.3795
3	6.3342	4.3383	46.0065	5.2895	3.6520	44.8384	5.1774	3.5454	46.0315	45.6255	0.6817
5	5.2473	3.5142	49.3171	5.1056	3.5196	45.0619	5.1248	3.4588	48.1670	47.5153	2.2012
7	5.3290	3.4915	52.6278	5.1864	3.4474	50.4438	5.0205	3.3633	49.2730	50.7815	1.7027

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการทำแห้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ

ตัวแปร เวลา (วัน)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
เริ่มต้น	6.4278	4.2581	50.9547	5.4358	3.6084	50.6429	5.1647	3.4257	50.7633	50.7870	0.1572
1	3.1542	2.1211	48.7059	3.5215	2.3525	49.6918	3.2262	2.1855	47.6184	48.6720	1.0371
2	3.2897	2.2458	46.4823	3.4268	2.3429	46.2632	3.1532	2.1544	46.3609	46.3688	0.1098
3	3.3418	2.3413	42.7327	3.2149	2.2353	43.8241	3.2573	2.2878	42.3770	42.9779	0.7541
4	3.2484	2.3345	39.1476	3.2083	2.3174	38.4439	3.3151	2.3871	38.8756	38.8224	0.3548
5	3.0871	2.2742	35.7444	3.2455	2.4134	34.4783	3.2324	2.4085	34.2080	34.8103	0.8202
6	3.2452	2.4768	31.0239	3.2935	2.5288	30.2396	3.2356	2.4756	30.6996	30.6544	0.3941
7	3.0527	2.4024	27.0688	3.2081	2.5402	26.2932	3.2662	2.5768	26.7541	26.7054	0.3901
8	3.0145	2.4836	21.3762	3.1357	2.5672	22.1447	3.2932	2.6782	22.9632	22.1614	0.7936
9	3.1661	2.6803	18.1248	3.3522	2.8264	18.6032	3.1665	2.6785	18.2192	18.3157	0.2534
10	3.2210	2.7586	16.7621	3.2471	2.7916	16.3168	3.1633	2.7012	17.1072	16.7287	0.3963
11	3.1423	2.7924	12.5304	3.2811	2.8956	13.3133	3.1589	2.7817	13.5601	13.1346	0.5376
12	3.4712	3.0924	12.2494	3.2582	2.8892	12.7717	3.1456	2.8022	12.2547	12.4252	0.3000
13	3.3341	2.9732	12.1384	3.2253	2.8684	12.4425	3.1553	2.8128	12.1765	12.2525	0.1657
14	3.1883	2.8445	12.0865	3.2113	2.8743	11.7246	3.1825	2.8386	12.1151	11.9754	0.2177

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองระหว่างกระบวนการทำแห้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ

ตัวแปร เวลา (วัน)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			%ความชื้น เฉลี่ย (kg H ₂ O/kg dry matter)	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% ความชื้น (kg H ₂ O/kg dry matter)		
เริ่มต้น	5.2473	3.5142	49.3171	5.1056	3.4167	49.4307	5.1248	3.4588	48.1670	48.9716	0.6991
1	4.3558	2.9883	45.7618	4.2522	2.9333	44.9630	3.5233	2.4245	45.3207	45.3485	0.4001
2	3.6553	2.5629	42.6236	3.5832	2.4938	43.6843	3.3652	2.3622	42.4604	42.9228	0.6646
3	3.4262	2.4522	39.7194	3.3676	2.4202	39.1455	3.2511	2.3396	38.9597	39.2749	0.3961
4	3.4143	2.5147	35.7737	3.3181	2.4635	34.6905	3.2291	2.3857	35.3523	35.2721	0.5460
5	3.5429	2.6857	31.9172	3.2515	2.5135	29.3614	3.3194	2.5228	31.5760	30.9516	1.3876
6	3.2675	2.5381	28.7380	3.2643	2.5699	27.0205	3.1511	2.4815	26.9837	27.5807	1.0024
7	3.5256	2.8427	24.0229	3.2423	2.6335	23.1175	3.1634	2.5580	23.6669	23.6025	0.4561
8	3.6434	3.0297	20.2561	3.2331	2.7082	19.3819	3.1823	2.6741	19.0045	19.5475	0.6420
9	3.3176	2.8178	17.7372	3.2714	2.7912	17.2041	3.1563	2.7069	16.6020	17.1811	0.5680
10	3.2679	2.8183	15.9529	3.2479	2.7842	16.6547	3.1424	2.7056	16.1443	16.2506	0.3628
11	3.2491	2.8351	14.6027	3.2144	2.8232	13.8566	3.1242	2.7316	14.3725	14.2773	0.3820
12	3.2692	2.8978	12.8166	3.2552	2.8811	12.9846	3.2703	2.8982	12.8390	12.8801	0.0912
13	3.4356	3.0496	12.6574	3.1488	2.7932	12.7309	3.2623	2.9027	12.3885	12.5923	0.1803
14	3.2145	2.8662	12.1520	3.1266	2.7825	12.3666	3.2521	2.9003	12.1298	12.2161	0.1308

ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวควบคุมและข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ

วิธีการให้ความร้อน	ข้าวควบคุม						หม้อนึ่งอัดไอน้ำ			
	ตัวแปร	WhitePlate	3 นาที				ค่าสีเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4					
X	81.16	50.95	49.44	49.43	49.60	49.49	19.68	19.52	19.52	19.57
Y	86.27	53.71	52.26	52.26	52.44	52.32	20.05	19.89	19.90	19.95
Z	92.08	41.89	40.92	40.92	41.14	40.99	10.84	10.80	10.80	10.81
L^*	94.43	78.29	77.44	77.43	77.54	77.47	51.90	51.71	51.72	51.78
a^*	-1.25	0.07	-0.30	-0.31	-0.33	-0.31	3.38	3.36	3.36	3.37
b^*	0.34	16.40	16.07	16.06	15.99	16.04	23.92	23.73	23.73	23.79
WI E313 [D65/10]	84.69	-33.70	-34.25	-34.23	-33.58	-34.02	-151.61	-150.91	-150.91	-151.14
YI E313 [D65/10]	-0.31	33.77	33.07	33.06	32.88	33.00	65.56	65.29	65.28	65.38
H^*	-0.27	1.57	-1.55	-1.55	-1.55	-1.55	1.43	1.43	1.43	1.43

X = แสงสีแดง (R), Y = แสงสีเขียว (G), Z = แสงสีน้ำเงิน (E), L^* = ความสว่าง (lightness) จาก [0 100] [มืด สว่าง] เทียบได้กับ Y ของ CIE XYZ,

a^* = สีแดงหรือเขียว [- +] [เขียว แดง], b^* = สีเหลืองหรือน้ำเงิน [- +] [น้ำเงิน เหลือง], WI = Whiteness Index, YI = Yellowness Index และ

H^* = Hue Difference

ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ

วิธีการให้ความร้อน	หม้อนึ่งอัดไอน้ำ				หม้อนึ่งอัดไอน้ำ			
	5 นาที				7 นาที			
ตัวแปร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
<i>X</i>	22.07	22.07	22.03	22.06	20.41	20.21	20.26	20.29
<i>Y</i>	22.62	22.63	22.58	22.61	20.92	20.71	20.77	20.80
<i>Z</i>	12.78	12.81	12.75	12.78	11.84	11.73	11.78	11.78
<i>L</i> *	54.68	54.69	54.64	54.67	52.86	52.63	52.70	52.73
<i>a</i> *	2.89	2.86	2.91	2.89	2.84	2.86	2.82	2.84
<i>b</i> *	23.47	23.40	23.47	23.45	22.81	22.71	22.68	22.73
<i>WI</i> E313 [D65/10]	-140.08	-139.61	-140.19	-139.96	-141.33	-141.39	-141.00	-141.24
<i>YI</i> E313 [D65/10]	61.99	61.81	62.05	61.95	61.89	61.88	61.73	61.83
<i>H</i> *	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

X = แสงสีแดง (R), *Y* = แสงสีเขียว (G), *Z* = แสงสีน้ำเงิน (E), *L** = ความสว่าง (lightness) จาก [0 100] [มืด สว่าง] เทียบได้กับ Y ของ CIE XYZ,

*a** = สีแดงหรือเขียว [- +] [เขียว แดง], *b** = สีเหลืองหรือน้ำเงิน [- +] [น้ำเงิน เหลือง], *WI* = Whiteness Index, *YI* = Yellowness Index และ

*H** = Hue Difference

ตารางที่ ก.10 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ

วิธีการให้ความร้อน	หม้อหนึ่งไอน้ำ				หม้อหนึ่งไอน้ำ			
	5 นาที				10 นาที			
ตัวแปร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
X	24.67	24.56	24.29	24.51	23.28	23.27	23.27	23.27
Y	25.19	25.07	24.81	25.02	23.91	23.91	23.90	23.91
Z	14.48	14.40	14.27	14.38	14.17	14.17	14.17	14.17
L^*	57.26	57.15	56.89	57.10	56.00	56.00	55.99	56.00
a^*	3.43	3.42	3.39	3.41	2.73	2.74	2.75	2.74
b^*	23.73	23.73	23.57	23.68	22.30	22.28	22.28	22.29
WI E313 [D65/10]	-133.41	-133.76	-133.53	-133.57	-128.39	-128.28	-128.27	-128.31
YI E313 [D65/10]	61.36	61.43	61.25	61.35	58.55	58.53	58.53	58.54
H^*	1.43	1.43	1.43	1.43	1.45	1.45	1.45	1.45

X = แสงสีแดง (R), Y = แสงสีเขียว (G), Z = แสงสีน้ำเงิน (E), L^* = ความสว่าง (lightness) จาก [0 100] [มืด สว่าง] เทียบได้กับ Y ของ CIE XYZ,

a^* = สีแดงหรือเขียว [- +] [เขียว แดง], b^* = สีเหลืองหรือน้ำเงิน [- +] [น้ำเงิน เหลือง], WI = Whiteness Index, YI = Yellowness Index และ

H^* = Hue Difference

ตารางที่ ก.11 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ

วิธีการให้ความร้อน	หม้อหนึ่งไอน้ำ				หม้อหนึ่งไอน้ำ			
	15 นาที				20 นาที			
ตัวแปร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
X	21.63	21.63	21.63	21.63	23.5	23.51	23.5	23.50
Y	22.42	22.41	22.41	22.41	24.1	24.11	24.1	24.10
Z	13.84	13.84	13.84	13.84	13.95	13.95	13.95	13.95
L^*	54.47	54.46	54.46	54.46	56.19	56.19	56.19	56.19
a^*	1.8	1.79	1.8	1.80	2.93	2.92	2.92	2.92
b^*	20.45	20.44	20.42	20.44	23.16	23.15	23.14	23.15
WI E313 [D65/10]	-121.12	-121.05	-120.96	-121.04	-133.31	-133.22	-133.19	-133.24
YI E313 [D65/10]	54.61	54.58	54.56	54.58	60.37	60.33	60.32	60.34
H^*	1.48	1.48	1.48	1.48	1.44	1.45	1.45	1.45

X = แสงสีแดง (R), Y = แสงสีเขียว (G), Z = แสงสีน้ำเงิน (E), L^* = ความสว่าง (lightness) จาก [0 100] [มืด สว่าง] เทียบได้กับ Y ของ CIE XYZ,

a^* = สีแดงหรือเขียว [- +] [เขียว แดง], b^* = สีเหลืองหรือน้ำเงิน [- +] [น้ำเงิน เหลือง], WI = Whiteness Index, YI = Yellowness Index และ

H^* = Hue Difference

ตารางที่ ก.12 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวหนึ่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ

วิธีการให้ความร้อน	หม้อหนึ่งไอน้ำ				หม้อหนึ่งไอน้ำ			
	25 นาที				30 นาที			
ตัวแปร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าสีเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าสีเฉลี่ย
<i>X</i>	24.33	24.33	24.32	24.33	23.5	23.49	23.21	23.4
<i>Y</i>	24.97	24.97	24.96	24.97	24.14	24.14	23.83	24.04
<i>Z</i>	14.22	14.22	14.21	14.22	13.78	13.78	13.6	13.72
<i>L</i> *	57.05	57.05	57.04	57.05	56.23	56.23	55.92	56.13
<i>a</i> *	2.87	2.85	2.86	2.86	2.71	2.71	2.77	2.73
<i>b</i> *	23.97	23.98	23.97	23.97	23.64	23.63	23.53	23.6
<i>WI</i> E313 [D65/10]	-135.93	-136.04	-136	-135.99	-136.44	-136.41	-136.66	-136.50
<i>YI</i> E313 [D65/10]	61.29	61.3	61.3	61.30	61.02	61	61.09	61.04
<i>H</i> *	1.45	1.45	1.45	1.45	1.46	1.46	1.45	1.46

X = แสงสีแดง (R), *Y* = แสงสีเขียว (G), *Z* = แสงสีน้ำเงิน (E), *L** = ความสว่าง (lightness) จาก [0 100] [มืด สว่าง] เทียบได้กับ Y ของ CIE XYZ,

*a** = สีแดงหรือเขียว [- +] [เขียว แดง], *b** = สีเหลืองหรือน้ำเงิน [- +] [น้ำเงิน เหลือง], *WI* = Whiteness Index, *YI* = Yellowness Index และ

*H** = Hue Difference

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ระหว่างการขัดสี

ตัวแปร เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			% Head Rice Yield เฉลี่ย	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% Head Rice Yield	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% Head Rice Yield	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% Head Rice Yield		
เริ่มต้น	27.42	4.85	17.69	27.28	4.52	16.57	28.57	3.97	13.90	16.05	1.9471
5	24.83	18.54	74.67	23.81	17.07	71.69	27.91	20.11	72.05	72.80	1.6266
10	24.74	19.69	79.59	26.86	21.02	78.26	30.26	21.50	71.05	76.30	4.5950
15	24.56	19.22	78.26	27.17	23.25	85.57	31.62	23.50	74.32	79.38	5.7085
20	25.81	20.79	80.55	27.21	22.84	83.94	30.73	26.80	87.21	83.90	3.3302
25	26.22	20.98	80.02	26.97	21.67	80.35	28.64	24.93	87.05	82.47	3.9669
30	26.87	21.56	80.24	25.55	20.68	80.94	29.43	23.68	80.46	80.55	0.3580

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้ออัดไอน้ำ ระหว่างกระบวนการขัดสี

ตัวแปร เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			% Head Rice Yield เฉลี่ย	ค่าความ แปรปรวน
	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% Head Rice Yield	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% Head Rice Yield	น้ำหนัก เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	% Head Rice Yield		
เริ่มต้น	27.42	4.85	17.69	27.28	4.52	16.57	28.57	3.97	13.90	16.05	1.9471
3	32.03	29.25	91.32	25.70	23.78	92.53	31.67	29.88	94.35	92.73	1.5252
5	31.78	29.75	93.61	27.89	26.58	95.30	30.60	29.19	95.39	94.77	1.0027
7	27.71	26.41	95.31	26.74	26.07	97.49	30.05	28.57	95.07	95.96	1.3333

ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าว Control Rice

เวลา (นาทีก)	ตัวแปร	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 1	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 2	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 3	ค่า Fractal dimension เฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
เริ่มต้น		1.0152	1.0385	1.0654	1.0278	0.0296
5		1.1720	1.1434	1.1627	1.2140	0.0495
10		1.2333	1.1751	1.2166	1.2151	0.0314
15		1.3296	1.3922	1.3068	1.3445	0.0342
20		1.4606	1.4760	1.4036	1.4315	0.0278
25		1.4157	1.4068	1.4197	1.4365	0.0316
30		1.4087	1.4096	1.4405	1.4565	0.0312

ตารางที่ ก.16 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ 10 นาที

เวลา (นาที)	ตัวแปร	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 1	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 2	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 3	ค่า Fractal dimension เฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
เริ่มต้น		0.9881	1.0033	1.0869	1.0201	0.0355
5		1.1904	1.1631	1.1356	1.1545	0.0249
10		1.1940	1.2446	1.1496	1.1834	0.0299
15		1.2132	1.2022	1.1733	1.2122	0.0294
20		1.1777	1.2175	1.2423	1.2150	0.0379
25		1.3514	1.3978	1.3983	1.3628	0.0241
30		1.3216	1.3260	1.3699	1.3477	0.0326

ตารางที่ ก.17 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ 20 นาที

เวลา (นาที)	ตัวแปร	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 1	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 2	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 3	ค่า Fractal dimension เฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
เริ่มต้น		1.0460	1.0368	1.0419	1.0323	0.0208
5		1.1164	1.0986	1.1114	1.1174	0.0226
10		1.1778	1.1663	1.1564	1.1769	0.0196
15		1.2270	1.1616	1.1773	1.2002	0.0467
20		1.1371	1.1818	1.2573	1.2140	0.0429
25		1.2697	1.2797	1.1826	1.2292	0.0379
30		1.2143	1.1686	1.2313	1.2067	0.0479

ตารางที่ ก.18 ผลการทดลองหาค่า Fractal dimension ของข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยหม้ออัดไอน้ำที่ 5 นาที

เวลา (นาที)	ตัวแปร	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 1	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 2	ค่า Fractal dimension ครั้งที่ 3	ค่า Fractal dimension เฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
เริ่มต้น		0.9826	0.9878	1.0094	1.0160	0.0262
5		1.1348	1.1463	1.1222	1.1230	0.0183
10		1.2120	1.2061	1.1770	1.1811	0.0225
15		1.1971	1.2139	1.1965	1.2116	0.0270
20		1.2265	1.3146	1.1965	1.2278	0.0368
25		1.1634	1.2371	1.2008	1.2047	0.0429
30		1.2735	1.2741	1.2305	1.2495	0.0357

ตารางที่ ก.19 ผลการทดลองหาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยการทดสอบแบบกด

เวลา (นาที)	ตัวแปร	control rice		Autoclaved rice		Steamed rice	
		Force (N)	ค่าความแปรปรวน	Force (N)	ค่าความแปรปรวน	Force (N)	ค่าความแปรปรวน
เริ่มต้น		196.0152	35.5094	217.2143	29.1952	200.6436	6.3592
5		98.5427	12.5429	130.1862	15.0437	111.6468	13.5770
10		60.8931	7.2352	80.0721	8.6268	70.7992	11.6009
15		34.4391	9.5346	42.4742	10.5260	38.7601	8.4958
20		18.5217	1.2463	29.2216	1.4730	21.4260	1.4257
25		15.5261	2.2335	27.8056	0.6464	18.0330	3.9380
30		15.2462	3.1261	24.9105	1.5036	14.6187	2.9481
35		13.4365	3.1562	24.1983	0.4712	17.8859	4.5541

ตารางที่ ก.20 ผลการทดลองหาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีทดสอบ Texture Profile Analysis

เวลา (นาที)	ตัวแปร	control rice		Parboiled rice	
		Adhesiveness เฉลี่ย (N.s)	ค่าความแปรปรวน	Adhesiveness เฉลี่ย (N.s)	ค่าความแปรปรวน
เริ่มต้น		8.5198	1.0105	10.9720	2.0211
5		60.9701	4.8551	18.2960	4.1976
10		73.0800	1.3887	26.8939	5.0527
15		105.4204	3.0777	35.5852	1.8656
20		125.2005	2.5441	40.0935	8.9104
25		130.0906	2.2332	42.4300	7.8511
30		131.2006	3.0777	41.0211	12.5929
35		133.2555	8.1555	44.6605	10.3057

ตารางที่ ก.21 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 6 ปัจจัย

ตัวแปร คนที่	สีข้าว เหนียว	สีข้าว นึ่ง	กลิ่นข้าว เหนียว	กลิ่นข้าว นึ่ง	ความเกาะ ตัวข้าว เหนียว	ความเกาะ ตัวข้าว นึ่ง	ลักษณะ เนื้อสัมผัส ข้าวเหนียว	ลักษณะ เนื้อสัมผัส ข้าว นึ่ง	รสชาติ ข้าว เหนียว	รสชาติ ข้าว นึ่ง	ความชอบ โดยรวม ข้าว เหนียว	ความชอบ โดยรวม ข้าว นึ่ง
1	8	6	5	4	8	8	6	4	6	6	7	6
2	7	6	6	5	8	8	7	5	7	6	6	7
3	8	8	7	6	7	9	5	5	8	7	6	7
4	9	6	6	7	8	9	8	6	8	8	7	8
5	8	8	7	6	9	8	7	5	7	7	5	7
6	5	7	5	5	6	7	6	6	6	7	6	8
7	6	6	5	4	7	6	9	7	5	7	6	7
8	7	5	7	8	8	9	6	5	7	6	7	6
9	8	6	5	6	7	8	8	7	6	6	5	6
10	7	5	6	5	8	7	8	7	8	7	6	7
11	6	6	7	7	8	8	7	5	8	9	5	4
12	7	7	8	6	7	8	8	6	7	6	7	5
13	9	4	5	6	7	8	8	4	5	6	8	6
14	9	8	9	7	7	8	7	5	6	6	5	7
15	7	6	8	2	8	8	8	6	8	7	6	5
16	8	5	6	5	8	8	7	5	7	8	7	5
17	5	8	7	7	8	7	8	7	6	7	6	7
18	8	6	6	6	7	7	8	7	8	8	5	5

ตารางที่ ก.21 (ต่อ) ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาธสัมพันธ์ของผู้บริโภคทั้ง 6 ปัจจัย

19	7	6	7	5	8	8	7	4	7	7	6	6
20	8	7	6	5	8	8	6	6	6	7	7	8





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินผลการทดลองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพันธุ์เหนียวหุงสุก

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

คำแนะนำ

กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวพันธุ์เหนียวหุงสุกทั้งหมด 2 ตัวอย่าง

โดยในระหว่างการเปลี่ยนตัวอย่างควรเติมน้ำเพื่อล้างปากก่อนชิมตัวอย่างต่อไป แล้วให้คะแนนตามลำดับความชอบ

1-9 ดังนี้

1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

2 คือ ไม่ชอบมาก

3 คือ ไม่ชอบปานกลาง

4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย

5 คือ เฉยๆ

6 คือ ชอบเล็กน้อย

7 คือ ชอบปานกลาง

8 คือ ชอบมาก

9 คือ ชอบมากที่สุด

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ตัวอย่าง	
	รหัสตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง
1) สี		
2) กลิ่น		
3) ความเกาะตัวกันของเมล็ด		
4) เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความนุ่ม เหนียว		
5) รสชาติ		
6) ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้