

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



242950

การผลิตและการเก็บรักษาข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส

สุเมธ ขงเอณี

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554



การผลิตและการเก็บรักษาข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส

สุเมธ สมณี



วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554

การผลิตและการเก็บรักษาข้าวกล้องตัดแปรรูปเนื้อสัมผัส

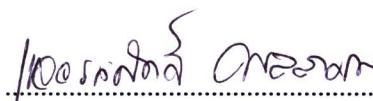
สุเมธ สมณี

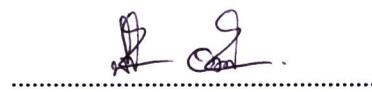
วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

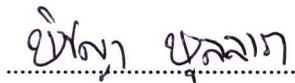
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....กรรมการ

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ พลสงคราม

อาจารย์ ดร.พิไลรัก อินธิปัญญา

.....กรรมการ

อาจารย์ ดร. พิชญา บุญประสม พูลลาภ

.....กรรมการ

อาจารย์ ดร.พิไลรัก อินธิปัญญา

17 มีนาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.พิไลรัก อินธิปัญญา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขกระท้งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ พลสงคราม และอาจารย์ ดร. พิชญา บุญประสม พูลลาภ ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาในการตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณนายสุชีพ สมณี และนางวิมาลา สมณี ผู้เป็นบิดาและมารดา ที่คอยให้การอบรม เลี้ยงดู มอบความรักความห่วงใย อีกทั้งยังเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ผู้เขียนทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย คณะอุตสาหกรรมเกษตร และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกเรื่องแก่ผู้เขียนตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

สุเมธ สมณี

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การผลิตและการเก็บรักษาข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสั้มผัด
ผู้เขียน	นายสุเมธ สมณิ
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร. พิไลรัก อินธิปัญญา

บทคัดย่อ

242950

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องหอมมะลิคัดแปรเนื้อสั้มผัด โดยการใช้เอนไซม์และทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟ และข้าวกล้องหุงสุกเร็ว พร้อมทั้งศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุเพื่อเก็บรักษาข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสั้มผัด โดยใช้ข้าวกล้องปกติเป็นตัวอย่างควบคุม

จากการศึกษาความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสสำหรับการย่อยเส้นใยข้าวกล้องโดยใช้ระดับความเข้มข้น 1.5, 3.5 และ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และระยะเวลาในการย่อยที่ 1, 2 และ 3 นาที โดยใช้สัดส่วนข้าวกล้องต่อสารละลายเอนไซม์เท่ากับ 1:1.5 พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวกล้องมีค่า L, LER, VER และ WUR เพิ่มขึ้น ค่า OCT, T_{gel} , peak viscosity, breakdown viscosity, final viscosity, setback viscosity และความแข็งลดลง ($P \leq 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระและกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส การย่อยข้าวกล้องด้วยเอนไซม์มีผลทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องปกติ โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสั้มผัดและความชอบรวมอยู่ในช่วง 6.1–6.5 ซึ่งมากกว่าคะแนนความชอบสำหรับข้าวกล้องปกติ (5.5–5.9) โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เอนไซม์เพื่อคัดแปรเนื้อสั้มผัด คือ ที่ระดับความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาในการย่อย 3 นาที โดยข้าวกล้องคัดแปรมีค่า L สูงเท่ากับ 65.58 มีค่า LER, VER และ WUR สูงที่สุด เท่ากับ 1.11, 2.07 และ 1.93 ตามลำดับ และมีค่า OCT, T_{gel} และค่าความแข็งน้อยที่สุด เท่ากับ 15.67 นาที, 62.29 องศาเซลเซียส และ 7.89 นิวตันตามลำดับ

242950

เมื่อศึกษาวิธีการตัดแปรรเนื้อสัมผัสข้าวกล้อง โดยวิธีการหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี soak-boil-dry โดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นต้มในน้ำเดือด 7 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งข้าวกล้องมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 วิธี dry heat treatment โดยการอบข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ต้มในน้ำเดือด 8 นาที และนำไปอบจนกระทั่งข้าวกล้องมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 พบว่าในการอบแห้งให้ข้าวมีความชื้นร้อยละ 10 วิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment ใช้เวลา 60 และ 65 นาทีตามลำดับ ซึ่งข้าวกล้องตัดแปรรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี dry heat treatment มีค่า L, a และ b มากกว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของสมบัติด้านเคมี คุณภาพการหุง เนื้อสัมผัส สมบัติการกระจายตัว และการยอมรับทางประสาทสัมผัส แต่การผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment นั้นมีขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี soak-boil-dry

การเปรียบเทียบคุณภาพด้านต่าง ๆ ของข้าวกล้องตัดแปรรเนื้อสัมผัส ที่ผลิตโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟและวิธีการหุงสุกเร็วแบบ dry heat treatment พบว่าการผลิตข้าวกล้องตัดแปรรเนื้อสัมผัสโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากได้ข้าวกล้องที่มีสมบัติทางกายภาพ และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าข้าวกล้องตัดแปรรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็วแบบ dry heat treatment การใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟมีการสูญเสียวิตามินบี 1 ในข้าวกล้องน้อยกว่าการหุงสุกเร็วแบบ dry heat treatment

จากการศึกษาการเก็บรักษาข้าวกล้องตัดแปรร ในถุงพอลิเอทิลีนแบบเคลือบอะลูมิเนียมและแบบไม่เคลือบอะลูมิเนียม โดยปิดผนึกแบบธรรมดาและสุญญากาศ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน สุ่มวิเคราะห์คุณภาพทุกเดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องมีค่าความสว่างลดลง กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น สภาวะการเก็บรักษาข้าวกล้องตัดแปรรที่เหมาะสมที่สุด คือ การบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนแบบไม่เคลือบอะลูมิเนียมและเคลือบอะลูมิเนียม ปิดผนึกแบบสุญญากาศ ซึ่งสามารถรักษาการเสื่อมสภาพของข้าวกล้องตัดแปรรได้สูงสุด โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าการบรรจุในสภาวะอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส ($P>0.05$)

Thesis Title Production and Storage of Texture Modified Brown Rice
Author Mr. Sumeth Sommanee
Degree Master of Science (Food Science and Technology)
Thesis Advisor Dr. Pilairuk Intipunya

Abstract

242950

This research was aimed to investigate a suitable condition for processing of texture modified brown rice using enzyme and its stabilization by microwave heating and quick cooking rice. It also includes the study on effects of packaging material and packaging condition on quality changes of the processed brown rice during storage. Normal brown rice was used as a control sample

A study on the effect of enzyme concentration and treatment time was conducted at the concentrations of 1.5, 3.5 and 5.5 mg/mL and treatment time of 1, 2 and 3 minutes. The ratio of rice to enzyme solution was 1:1.5. It was found that when the enzyme concentration and treatment time increased, L value, LER, VER and WUR increased while OCT, T_{gel} , peak viscosity, breakdown, final viscosity, setback viscosity and hardness decreased ($P \leq 0.05$). There was no statistically significant difference ($P > 0.05$) for free fatty acid content and lipase activity among the treatments. The textural and overall acceptance scores were in the range of 6.1-6.5, which were higher than those for untreated brown rice (5.5-5.9). It was found that the optimum condition for texture modification of brown rice was the use of 3.5 mg/mL enzyme concentration and treatment time of 3 min. At this condition, the sample had L value of 65.58, highest LER, VER and WUR of 1.11, 2.07 and 1.93, respectively. OCT and hardness were the lowest at 15.67 min and 7.89 N, respectively.

From the study on quick cooking rice processing by soak-boil-dry method (by soaking in water at room temperature for 5 hr, then cooked in boiled water for 7 min. Finally, dried the treated rice in oven at 100°C until the moisture of rice sample reduced to 10%) and dry heat treatment (by drying in oven at 100°C for 10 min, followed by cooking in boiled water for 8 min and drying in oven at 100°C until the moisture of rice sample reduced to 10%), it was found that

242950

the time used to reduce moisture content to 10% was 60 and 65 min, respectively. The texture modified brown rice produced by dry heat treatment had higher L, a and b values than soak-boil dry method. There was no statistically significant difference ($P>0.05$) for chemical properties, cooking quality, textural properties, pasting properties and sensorial acceptance scores. However, quick-cooking rice by dry heat treatment could be produced with less steps than the soak-boil-dry method.

From the comparison of the quality of brown rice processed by the enzyme modification with microwave stabilization and the dry heat treatment, it was found that the first method was the better method. This was because the enzyme modification and microwave stabilization method gave the sample with better physical properties and higher sensorial acceptance score. This method also caused less decrease of vitamin B1 than the dry heat treatment method.

The texture modified and stabilized brown rice was subjected to storage study. The sample was packed in polyethylene bag with and without laminated aluminium. Packaging was done using normal atmosphere and vacuum. The sample was stored for 6 months at room temperature and the quality was evaluated at monthly intervals. It was found that the lightness decreased while lipase activity, free fatty acid content and hardness increased as the storage time increased. Packaging of the texture modified and stabilized brown rice in both aluminium polyethylene bags by vacuum condition were able to minimize quality degradation during storage.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้าว	3
2.1.1 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าว	4
2.1.2 ข้าวกล้อง	6
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว	7
2.1.4 การเสื่อมคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา	12
2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาข้าวกล้อง	16
2.2 การแปรรูปและคุณภาพของข้าวกล้อง	20
2.2.1 เทคโนโลยีการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว	22
2.2.2 การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร	23
2.2.3 เซลลูโลสและเอนไซม์เซลลูเลส	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
3.1 วัตถุประสงค์	26
3.2 สารเคมี	26
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.4 วิธีการศึกษา	28
3.4.1 การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ	28
3.4.2 การหาวิธีการผลิตข้าวหุงสุกเร็วที่เหมาะสม	30
3.4.3 เปรียบเทียบวิธีการคัดแปรเนื้อสัมผัสและวิเคราะห์องค์ประกอบข้าวกล้อง	32
3.4.4 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	32
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	34
4.1 คุณภาพข้าวกล้องตัวอย่างควบคุม	34
4.2 การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ	37
4.2.1 สมบัติทางกายภาพ	37
4.2.2 คุณภาพการหุง	39
4.2.3 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส	46
4.2.4 สมบัติทางเคมี	48
4.2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเมล็ดข้าว	50
4.2.7 ความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาการย่อยที่เหมาะสมในการคัดแปรเนื้อสัมผัสของข้าวกล้อง	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 วิธีการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่เหมาะสม	56
4.3.1 สมบัติทางกายภาพ	57
4.3.2 คุณภาพการหุง	58
4.3.3 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส	60
4.3.4 สมบัติทางเคมี	61
4.3.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้าวกล้อง	62
4.3.6 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส	63
4.3.7 วิธีการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่เหมาะสม	65
4.4 สมบัติของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส ที่ผลิตโดย วิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	65
4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา	71
4.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	71
4.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพการหุง	80
4.5.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัส	96
4.5.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี	113
4.5.5 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส	115
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	124
5.1 สรุปผลการทดลอง	124
5.2 ข้อเสนอแนะ	125
เอกสารอ้างอิง	126

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	134
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลองระหว่างการเก็บรักษา	135
ภาคผนวก ข รูปภาพการทดลอง	142
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพการหุง	145
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	180
ประวัติผู้เขียน	182

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ประเทศผู้ผลิตข้าวที่มีผลผลิตรวมเป็น 10 อันดับแรกของโลก ปี พ.ศ. 2552-2553	3
2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว	6
2.3 การจำแนกลักษณะข้าวสุกตามปริมาณอะไมโลส	7
2.4 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวกล้อง ที่ความชื้นร้อยละ 14	11
2.5 ชนิดและความหนาแน่นของฟิล์มพอลิเอทิลีน	18
2.6 วัตถุประสงค์ในการใช้ถุงฟิล์มลามิเนตและชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิต	19
2.7 เปรียบเทียบสมบัติของอะลูมิเนียมและฟิล์มชนิดต่างๆ	20
4.1 สมบัติทางเคมี กายภาพ และคุณภาพการหุงของข้าวกล้อง	36
4.2 ค่าสีของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	38
4.3 คุณภาพการหุงของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	41
4.4 อุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	42
4.5 สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	44
4.6 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	47
4.7 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	49
4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่ผ่านการย่อยด้วย เอนไซม์เซลลูโลส	54
4.9 ค่าสีของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment	58
4.10 คุณภาพการหุงของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment	59
4.11 สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการ หุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.12 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการ หุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment	61
4.13 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment	62
4.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่ผ่านกระบวนการผลิต ด้วยวิธีหุงสุกเร็วเปรียบเทียบกับข้าวกล้องควบคุม	64
4.15 สมบัติทางกายภาพและคุณภาพการหุงของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส โดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	66
4.16 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสและความหนืดของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส โดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	66
4.17 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับ ไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	67
4.18 สมบัติด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	68
4.19 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องควบคุมของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส โดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	69
4.20 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องควบคุมของข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัส โดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	69
4.21 ค่า L ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	74
4.22 ค่า L ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	75
4.23 ค่าสี a ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	76
4.24 ค่าสี a ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	77
4.25 ค่าสี b ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.26 ค่า b ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	79
4.27 ค่า optimum cooking time ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	81
4.28 ค่า optimum cooking time ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	82
4.29 ค่า water uptake ratio ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	83
4.30 ค่า water uptake ratio ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	84
4.31 ค่า length expansion ratio ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	86
4.32 ค่า length expansion ratio ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	87
4.33 ค่า volume expansion ratio ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	88
4.34 ค่า volume expansion ratio ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	89
4.35 ค่า hardness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	90
4.36 ค่า hardness ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	91
4.37 ค่า adhesiveness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	92
4.38 ค่า adhesiveness ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.39 ค่า cohesiveness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	94
4.40 ค่า cohesiveness ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	95
4.41 ค่า peak viscosity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	98
4.42 ค่า peak viscosity ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	99
4.43 ค่า breakdown ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	100
4.44 ค่า breakdown ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	101
4.45 ค่า final viscosity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	102
4.46 ค่า final viscosity ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	103
4.47 ค่า setback ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	104
4.48 ค่า setback ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	105
4.49 lipase activity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	109
4.50 lipase activity ของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	110
4.51 ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	111
4.52 ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	112
ก-1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวกล้องหุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา	136
ก-2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องหุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา	137
ก-3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของข้าวกล้องหุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา	138
ก-4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของข้าวกล้องหุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก-5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา	140
ก-6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของข้าวกล้องหุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา	141

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลส	8
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกติน	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์ออกไซด์ของไขมันกับเวลา ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	16
2.5 การเกิดปฏิกิริยาสลายเซลลูโลสด้วยเซลลูเลส	25
3.1 กระบวนการผลิตข้าวกล้องคัดแปรเนื้อสัมผัสและทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟ	33
4.1 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวกล้อง	34
4.2 ตัวอย่างลักษณะ texture profile ของข้าวกล้องหุงสุก	35
4.3 ตัวอย่างกราฟการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชข้าวกล้องหุงสุก	35
4.4 ลักษณะผิวของเมล็ดข้าวกล้องเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์	51
4.5 กราฟการลดความชื้น (moisture reduction curve) ของข้าวกล้องที่ผ่าน กระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry	56
4.6 กราฟการลดความชื้น (moisture reduction curve) ของข้าวกล้องที่ผ่าน กระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment	57
4.7 ลักษณะผิวของเมล็ดข้าวกล้องหุงสุกเร็ว	
4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส หุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	115
4.9 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแปรเนื้อสัมผัส หุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	116
4.10 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องที่ไม่ผ่าน การคัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	117
4.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องที่ผ่าน การคัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	118
4.13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	118
4.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	119
4.15 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	120
4.16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	121
4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	121
4.18 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	122
4.19 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา	123
ข-1 ข้าวกล้องหลังการกะเทาะเปลือก	143
ข-2 การย่อยข้าวกล้องด้วยเอนไซม์เซลลูเลส	143
ข-3 การทำให้ข้าวกล้องตัดแปรเนื้อสัมผัสคงตัวด้วยไมโครเวฟ	143
ข-4 ข้าวกล้องตัดแปรเนื้อสัมผัสและผ่านการทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟ	144
ข-5 ข้าวกล้องตัดแปรเนื้อสัมผัส บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	144
ข-6 ข้าวกล้องตัดแปรเนื้อสัมผัส บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	144
ค-1 ตัวอย่างลักษณะ texture profile	147
ค-2 แสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	178