

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
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 เปรียบเทียบวิธีการตัดแปรเนื้อสัมผัสและวิเคราะห์องค์ประกอบข้าวกล้อง	32
3.4.4 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	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 ความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาการย่อยที่เหมาะสมในการตัดแปรเนื้อสัมผัสของข้าวกล้อง	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 สมบัติของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัส ที่ผลิตโดย วิธีการใช้ไอ้ร้อนไ้ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	65
4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา	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)

ภาคผนวก	หน้า
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลองระหว่างการเก็บรักษา	134
ภาคผนวก ข รูปภาพการทดลอง	135
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพการหุง	142
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	145
ประวัติผู้เขียน	180
	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 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูโลส	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 ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	79
4.27 ค่า optimum cooking time ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	81
4.28 ค่า optimum cooking time ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	82
4.29 ค่า water uptake ratio ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	83
4.30 ค่า water uptake ratio ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	84
4.31 ค่า length expansion ratio ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	86
4.32 ค่า length expansion ratio ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	87
4.33 ค่า volume expansion ratio ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	88
4.34 ค่า volume expansion ratio ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	89
4.35 ค่า hardness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	90
4.36 ค่า hardness ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	91
4.37 ค่า adhesiveness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	92
4.38 ค่า adhesiveness ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.39 ค่า cohesiveness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	94
4.40 ค่า cohesiveness ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	95
4.41 ค่า peak viscosity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	98
4.42 ค่า peak viscosity ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	99
4.43 ค่า breakdown ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	100
4.44 ค่า breakdown ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	101
4.45 ค่า final viscosity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	102
4.46 ค่า final viscosity ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	103
4.47 ค่า setback ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	104
4.48 ค่า setback ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	105
4.49 lipase activity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	109
4.50 lipase activity ของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา	110
4.51 ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษา	111
4.52 ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรเนื้อสัมผัส 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 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวกล้อง	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 บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนไม่เคลือบอะลูมิเนียม	144
ข-6 ข้าวกล้องตัดแปรเนื้อสัมผัส บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนไม่เคลือบอะลูมิเนียม	144
ค-1 ตัวอย่างลักษณะ texture profile	147
ค-2 แสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	178