

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	30
4.1 การลดอุณหภูมิภายในถังเก็บของชุดควบคุมอุณหภูมิ	31
4.2 การกระจายของอุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละถัง	33
4.3 การกระจายและการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก ในแต่ละเดือนภายในถังเก็บ	37
4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน	63
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณต้นข้าวและปลายข้าวในแต่ละเดือน	64
4.6 การศึกษาหาจุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน	66
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารในแต่ละเดือน	71
4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสในข้าวสาร	75
4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2 - Acetyl - 1 - pyrroline (2AP) ในข้าวกล้องและข้าวสาร	76
4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดน้ำของข้าวกล้องและข้าวสาร	86
4.11 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการหุงข้าวกล้องและข้าวสาร	88
4.12 ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวสุก (Texture Profile Analysis of Cooked Rice)	90
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	99
เอกสารอ้างอิง	103

	หน้า
ภาคผนวก ก การหาปริมาณอะไมโลส	108
ภาคผนวก ข การสกัดสารหอม 2AP จากเมล็ดข้าวด้วยสารละลายกรด และการวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิค gas chromatography (GC)	110
ภาคผนวก ค การกระจายของอุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละถัง	120
ภาคผนวก ง เส้นความขึ้นสมดุขของข้าวเปลือก	139
ประวัติผู้เขียน	140

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความสูญเสียของข้าวจากการทดลองในสถานีทดลองข้าว 9 แห่ง	6
2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวสารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส	15
4.1 การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน	33
4.2 การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน	34
4.3 การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน	35
4.4 ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยขาเข้าและขาออกจากถังเก็บตลอดระยะเวลา เวลาการเก็บรักษา	62
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2 - Acetyl - 1 - pyrroline (2AP) ในข้าวกล้องและ ข้าวสารในแต่ละเดือน	76
4.6 สหสัมพันธ์ของแต่ละอุณหภูมิการเก็บรักษาของข้าวเปลือก ระหว่างปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลง ไปในแต่ละเดือน	79
4.7 สหสัมพันธ์ของแต่ละอุณหภูมิการเก็บรักษาของข้าวเปลือก ระหว่างปริมาณสาร 2AP ในข้าวสาร ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลง ไปในแต่ละเดือน	80

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา	16
2.3 ผลของ Texture Profile Analysis (TPA) สำหรับอาหารทั่วไป	19
3.1 ชุดการระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม	23
3.2 ชุดอุปกรณ์ทำความเย็น และระบบควบคุมอุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส	24
3.3 การเก็บตัวอย่างที่นำไปวัดความชื้นและวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บ	26
3.4 การเตรียมตัวอย่างขณะทำการวัด จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability)	27
3.5 การเตรียมตัวอย่างขณะทำการวัด Texture Profile Analysis	28
3.6 การสุ่มตัวอย่างอย่างข้าวเปลือกในถังเก็บ	29
4.1 อุณหภูมิและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบริเวณที่วางถังเก็บ	30
4.2 ระยะเวลาการลดอุณหภูมิของถังบรรจุข้าวเปลือกในระดับชั้นต่าง ๆ จนได้อุณหภูมิกายในได้ 10 องศาเซลเซียส	32
4.3 ระยะเวลาการลดอุณหภูมิของถังบรรจุข้าวเปลือกในระดับชั้นต่าง ๆ จนได้อุณหภูมิกายในได้ 15 องศาเซลเซียส	32
4.4 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R1 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน	39
4.5 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน	41
4.6 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R3 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน	43
4.7 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R1 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน	47

ภาพ	หน้า
4.8 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน	49
4.9 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน	51
4.10 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR1 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน	55
4.11 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน	57
4.12 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR3 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน	59
4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	61
4.14 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ในแต่ละเดือน ของข้าวเปลือกโดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ	63
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต้นข้าว กับ ปลายข้าว ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนโดยเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ	65
4.16 จุดแตกหักของข้าวเปลือกโดยเครื่อง Texture analyzer : TA – XT2I	66
4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าแรง ณ จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability)ของข้าวเปลือกและปริมาณต้นข้าวโดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	67
4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าแรง ณ จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) เปลือกและปริมาณต้นข้าวโดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	67
4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าแรง ณ จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) เปลือกและปริมาณต้นข้าวโดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม	68

ภาพ	หน้า
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต้นข้าว (% head rice yield) กับค่าแรง ณ จุดแตกหัก	69
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวหัก (% broken rice yield) กับค่าแรง ณ จุดแตกหัก	70
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือกโดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	72
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวกล้อง เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	73
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสาร เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	74
4.25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ อะไมโลส ในข้าวสาร โดยเก็บข้าวเปลือกที่ อุณหภูมิ ต่าง ๆ	75
4.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นโดยเก็บ ข้าวเปลือกในอุณหภูมิต่างๆ	77
4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP ในข้าวสาร เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้น โดยเก็บ ข้าวเปลือกในอุณหภูมิต่าง ๆ	77
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP กับระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดควบคุมอุณหภูมิ	83
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP กับระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดระบายอากาศด้วยอากาศแวดล้อม	84
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง ความชื้นของข้าวเปลือก และระยะเวลาการเก็บรักษา	85
4.31 การเปลี่ยนแปลงค่า การดูดน้ำของข้าวกล้อง โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ใน แต่ละเดือน	86
4.32 การเปลี่ยนแปลงค่า การดูดน้ำของข้าวสาร โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ใน แต่ละเดือน	87
4.33 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการหุงข้าวกล้อง โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือน	88
4.34 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการหุงข้าวสาร โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือน	89
4.35 ผลการวัด Texture Profile Analysis (TPA) โดยเครื่องมือ Texture analyzer : TA-XT2i	90

ภาพ	หน้า
4.36 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	91
4.37 การเปลี่ยนแปลงค่า Stickiness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	91
4.38 การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	92
4.39 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	92
4.40 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	93
4.41 การเปลี่ยนแปลงค่า Stickiness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	93
4.42 การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	94
4.43 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	94
4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสในข้าว Adhesiveness ของข้าวสุก และระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส	96
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสในข้าว Adhesiveness ของข้าวสุก และระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส	97
4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสในข้าว Adhesiveness ของข้าวสุก และระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม	97

อักษรย่อและสัญลักษณ์

- 10R1 คือ ดั้งเก็บชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึงที่ 1
- 10R2 คือ ดั้งเก็บชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึงที่ 2
- 10R3 คือ ดั้งเก็บชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึงที่ 3
- 15R1 คือ ดั้งเก็บชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ถึงที่ 1
- 15R2 คือ ดั้งเก็บชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ถึงที่ 2
- 15R3 คือ ดั้งเก็บชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ถึงที่ 3
- CR1 คือ ดั้งเก็บชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ถึงที่ 1
- CR2 คือ ดั้งเก็บชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ถึงที่ 2
- CR3 คือ ดั้งเก็บชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ถึงที่ 3
- Γ_{ab} คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร a และ b
- $\Gamma_{ab,c}$ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร a และ b โดย ตัวแปร c คงที่