

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช

บทที่

1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์.....	3
	1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
	1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
	2.1 ข้าว.....	5
	2.1.1 ชนิดของข้าว.....	5
	2.1.2 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว.....	7
	2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	11
	2.2 การลดความชื้นและการเก็บรักษาข้าวเปลือก.....	17
	2.2.1 หลักการลดความชื้นในเมล็ดข้าว.....	17
	2.2.2 การแตกร้าวในเมล็ดข้าว.....	19
	2.2.3 ความแตกต่างของความชื้นในเมล็ดข้าว.....	20
	2.2.4 วิธีการลดความชื้นข้าว.....	21
	2.3 การสีข้าวและการประเมินคุณภาพการสี.....	38
	2.3.1 เทคโนโลยีการสีข้าวเปลือกในประเทศไทย.....	38
	2.3.2 คุณภาพการสีข้าวเบื้องต้น.....	39
	2.3.3 วิวัฒนาการของเครื่องจักรสีข้าว.....	43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.3.4 การทำความสะอาดข้าวเปลือก.....	45
	2.3.5 การกะเทาะข้าวเปลือก.....	47
	2.3.6 การคัดขนาด.....	49
	2.4 กลาสทรานซิชั่น.....	52
	2.5 ไดอะแกรมสถานะ.....	56
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	59
	3.1 วัตถุประสงค์.....	59
	3.2 อุปกรณ์.....	59
	3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	60
	3.3.1 ศึกษาและจัดทำไดอะแกรมสถานะของข้าวพันธุ์สันป่าตอง และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2.....	60
	3.3.2 ทดสอบคุณภาพการสีปริมาณข้าวต้นของข้าวพันธุ์สันป่าตอง และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2.....	62
	3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	62
	3.5 ระยะเวลาในการทดลอง.....	62
4	ผลและวิจารณ์ผลการดำเนินการวิจัย.....	63
	4.1 ไดอะแกรมสถานะของข้าว.....	63
	4.1.1 กราฟของจุดเยือกแข็งหรือจุดหลอมเหลว.....	63
	4.1.2 กราฟของกลาสทรานซิชั่น.....	69
	4.1.3 ไดอะแกรมสถานะของตัวอย่างข้าว.....	73
	4.2 ผลการทดสอบการสี.....	77
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	86
	5.1 สรุปผล.....	86
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
	5.2.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม.....	87
	5.2.2 ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ.....	88

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้วิจัย.....	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สัดส่วนโครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	11
2	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวในส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็นร้อยละ).....	12
3	วิตามินในข้าวส่วนต่าง ๆ (หน่วยเป็น $\mu\text{g/g}$ ที่ความชื้นร้อยละ 14).....	13
4	แร่ธาตุในข้าวส่วนต่าง ๆ (ที่ความชื้นร้อยละ 14).....	14
5	คุณลักษณะที่ใช้ในการประเมินคุณภาพการสี.....	40
6	รูปร่างของข้าวเปลือกตามมาตรฐานสากล.....	43
7	อัตราการสีและข้าวตันที่ได้จากการสีโดยทั่วไป.....	43
8	ผลการวิเคราะห์จุดเยือกแข็งแสดงอุณหภูมิ T_m , T_f และ T_p ของตัวอย่างข้าวเหนียว.....	65
9	ผลการวิเคราะห์จุดเยือกแข็งแสดงอุณหภูมิ T_m , T_f และ T_p ของตัวอย่างข้าวเจ้า.....	65
10	อุณหภูมิกลาสทรานซิชันแสดงค่า onset (T_{gi}), mid (T_{gm}) และ end-point (T_{go}) ของตัวอย่างข้าวเหนียว.....	72
11	อุณหภูมิกลาสทรานซิชันแสดงค่า onset (T_{gi}), mid (T_{gm}) และ end-point (T_{go}) ของตัวอย่างข้าวเจ้า.....	72
12	ปริมาณข้าวตันของข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 4 ระดับ.....	77
13	ปริมาณข้าวตันของข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2 เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 4 ระดับ.....	78
14	ค่าคงที่ต่าง ๆ จากสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (k) จากการพลอตค่า $\ln(HRY)$ กับ ระยะเวลาการเก็บรักษาของตัวอย่างข้าวที่ความชื้นร้อยละ 10 (ค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.94).....	81

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างหลักของเมล็ดข้าว A เป็นข้าวเมล็ดสั้น และ B เป็นข้าวเมล็ดยาว โดย C = caryopsis, E = embryo, L = lemma, lg = lower glume, P = palea, R = rachilla, ug = upper glume.....	7
2	ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าว และส่วนประกอบของเมล็ดข้าว.....	10
3	โครงสร้างของผนังด้านนอกของเมล็ดข้าว.....	10
4	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นลักษณะเม็ดสตาร์ชข้าว (กำลังขยาย 1,000 เท่า).....	15
5	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นลักษณะสตาร์ชข้าวตามธรรมชาติที่มีโปรตีนห่อหุ้ม (กำลังขยาย 4,000 เท่า).....	15
6	โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน.....	16
7	โครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชที่มีอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจัดเรียงตัวกันแน่น.....	16
8	กราฟการทำแห้งแสดงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไประหว่างการทำแห้ง.....	18
9	การเกิดแรงดึง และแรงกดในเมล็ดข้าวที่ผ่านการลดความชื้น.....	19
10	การแตกร้าวของเมล็ดข้าวซึ่งสังเกตได้จากการส่องแสงผ่านเมล็ดข้าวจากด้านล่าง.....	20
11	ตัวอย่างเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์.....	24
12	ตัวอย่างเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบง่าย.....	24
13	ชุดเก็บความร้อนจากแสงแดด.....	26
14	เครื่องลดความชื้นแบบถังหรือกระบะ.....	27
15	เครื่องลดความชื้นแบบถังชนิดมีท่อลมภายใน.....	27
16	เครื่องลดความชื้นแบบถังที่ติดตั้งอุปกรณ์ลำเลียงทั้งในรูปแบบของแบบทซ์และต่อเนื่อง.....	28
17	เครื่องลดความชื้นแบบถังหมุนเวียน ก) แบบไม่มีการผสม และ ข) แบบมีการผสม.....	29
18	เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ ก) ชนิดเมล็ดพืชไม่ไหลลลुकเกล้า และ ข) ชนิดเมล็ดพืชไหลลลुकเกล้า.....	30

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	เครื่องลดความชื้นแบบเมล็ดไพลคลุกเคล้าแบบแอลเอสยู.....	31
20	เครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไดซ์-เบด สำหรับข้าว.....	33
21	ระบบการอบแห้งข้าวเปลือกของโรงสีเชิงพาณิชย์.....	36
22	ระบบการอบแห้งข้าวเปลือกของโรงสีเชิงพาณิชย์ โดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์-เบด ทั้งสองขั้นตอน.....	37
23	เครื่องสีข้าวแบบเอนเจลเบิร์ก.....	44
24	เครื่องสีข้าวแบบหมุนเหวี่ยง.....	44
25	เครื่องทำความสะอาดด้วยลมเป่าและตะแกรงโยก.....	46
26	เครื่องทำความสะอาดด้วยลมเป่าและตะแกรงทรงกระบอกหมุน.....	46
27	ลักษณะการกะเทาะข้าวเปลือกแบบการใช้ลูกเหล็ก.....	47
28	ลักษณะการกะเทาะข้าวเปลือกโดยใช้จานหมุน.....	48
29	ลักษณะการกะเทาะข้าวเปลือกโดยใช้ลูกกลิ้งยาง และลักษณะของลูกกลิ้งยางที่ใช้ในโรงสีขนาดกำลังการผลิต 2 ตันต่อชั่วโมง.....	49
30	ลักษณะการออกแบบลูกกลิ้งยางหรือสายพานยางแบบต่าง ๆ.....	49
31	การแบ่งสัดส่วนข้าวตัน และข้าวหักโดยทั่วไป.....	50
32	การแบ่งสัดส่วนข้าวตัน และข้าวหักตามมาตรฐานข้าวไทย ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ (2540).....	50
33	เครื่องคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงแบบลูกกลิ้ง.....	51
34	เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงโยก.....	51
35	อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณค่าชื้น (สัดส่วนของแข็ง) ต่าง ๆ.....	52
36	ตัวอย่างกราฟเทอร์โมแกรมของ DSC แสดงสัญญาณการเปลี่ยนแปลงความร้อนแบบผันกลับได้ (reversible heat flow) ความร้อนทั้งหมด (total heat flow) ความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ (non-reversible heat flow).....	54
37	การวัดค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันด้วย DMTA แสดงจุดสูงสุดของกราฟ $\tan \delta$ ซึ่งเป็นจุดค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน.....	55
38	ลักษณะของไดอะแกรมสถานะของอาหารที่มีความสมบูรณ์.....	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
39	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของข้าวสองพันธุ์ (Drew และ Bengal) และค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของข้าวในสภาพของเมล็ดข้าวกล้อง และสภาพของแป้ง.....	57
40	ไดอะแกรมสถานะของข้าวแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างการลดความชื้น.....	58
41	การเตรียมตัวอย่าง และวิธีการตรวจวิเคราะห์จุดเยือกแข็ง.....	60
42	การเตรียมตัวอย่าง และวิธีการตรวจวิเคราะห์การเกิดกลาสทรานซิชัน.....	61
43	เทอร์โมแกรมแสดงค่าการไหลของพลังงานความร้อนทั้งหมด เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC ของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2.....	64
44	ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดเยือกแข็งของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2 (เส้นในแนวตั้งแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน).....	67
45	ค่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะหรือเอนทัลปีของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2.....	68
46	ลักษณะของ DSC เทอร์โมแกรมแสดงพีคของสัญญาณการส่งผ่านความร้อนแบบย้อนกลับได้ ซึ่งแสดงให้เห็นจุดที่เกิดอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2.....	71
47	ไดอะแกรมสถานะของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2.....	74
48	เส้นกราฟกลาสทรานซิชันของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2.....	76
49	ปริมาณข้าวตันของตัวอย่าง (a) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง และ (b) ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2 เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 4 ระดับ.....	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	กราฟอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณข้าวต้น ln (HRV) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยยกตัวอย่างการเก็บรักษาที่ (a) 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชั่น และ (b) 45 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชั่น.....	82
51	กราฟแสดงค่าคงที่อัตราอันดับหนึ่งหรือความชันของสมการ (a) ข้าวเหนียว และ (b) ข้าวเจ้า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25 องศาเซลเซียส (ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชั่น) และ 35, 45 องศาเซลเซียส (สูงกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชั่น).....	83