



รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงแบบหุงสุกเร็ว

A. ATUDY OF QUICK-COOKING MALI-DANG RICE PROCESS

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2548

จำนวน 252,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสาวสุชา พิมพ์พิไล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

วันที่ 27 มีนาคม 2549

199/49

การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงแบบหุงสุกเร็ว

A STUDY OF QUICK-COOKING MALI-DANG RICE PROCESS

สุธยา พิมพ์พิไล
SUTHAYA PHIMPHILAI

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

ในการศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกลัองหุงสุกเร็ว พบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลลิ่งในเซชันของข้าว คือ ปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณการพองตัวของข้าวในระหว่างการคั่วที่เวลาต่างๆ ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมซิเตรทกับแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ข้าว อุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าว ลักษณะการให้ความร้อน และลักษณะการทำแห้ง จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับในตัวอย่างข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิและข้าวหอมมะลิแดงกลัองหุงสุกเร็ว (7:2) และสามารถแยกความแตกต่างจากชุดควบคุมได้ ในการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกลัองหุงสุกเร็วแบบเกษตรอินทรีย์ มีกรรมวิธีที่ดีที่สุดคือการแช่ข้าวหอมมะลิแดงกลัองในน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้สะเด็ดน้ำประมาณ 15 นาที ผ่านการให้ความร้อนในหม้อหนึ่งความดันที่ 121°C, 15 psi เป็นเวลา 2 นาที และทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 นาที

ABSTRACT

Five main factors were studied on quick-cooking Mali-dang rice process. Mixed soaking solutions of sodium citrate and calcium chloride, soaking temperature, soaking time, heating and drying were significantly affected qualities of the quick-cooking husked Mali-dang rice. Water absorption, rice swelling, rice color, and rice gelatinization were investigated. The best process for quick-cooking husked Mali-dang rice were soaking

the rice in 50°C water for 30 min, then removed excess water. The soaked rice was then cooked under pressure of 15 psi, 121°C for 2 min and dry in a hot air oven (80°C) for an hour. The condition was further proposed for a quick-cooking organic Mali-dang rice production of which no chemical was used. Fifty consumers were used in the sensory evaluation of the rice samples. Combination of the quick-cooking rice with a regular white rice (2:7) was studied comparing to a control. The consumers tended to accept the quick-cooking rice sample as it was softer than the control.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	ii
ABSTRACT	ii
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	xi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	2
2.1 ข้าว	2
2.2 การจำแนกประเภทของข้าว	2
2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและการแปรรูปข้าวเปลือก	3
2.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของข้าว	6
2.5 ข้าวหอมมะลิแดง	8
2.6 ข้าวหุงสุกเร็ว	9
2.7 วิธีหุงข้าวของไทย	12
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	14
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี	14
3.2 วัตถุดิบ	15
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี	15
3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะต่างๆ ของเมล็ดข้าว ในกระบวนการทำข้าวหุงสุกเร็ว	16
3.5 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว	17
3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	19
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี	19
4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะต่างๆ ของเมล็ดข้าว ในกระบวนการทำข้าวหุงสุกเร็ว	20

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การตรวจวิเคราะห์ห้องประกอบพื้นฐานทางเคมี	54
ภาคผนวก ข แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	67
ภาคผนวก ค ข้าวหอมมะลิแดงกล้องทุ่งสุกเร็ว	69

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สัดส่วนโครงสร้างของเมล็ดข้าว
ตารางที่ 2.2	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%
ตารางที่ 2.3	ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จาก การขัดสีที่ความชื้น 14%
ตารางที่ 2.4	คุณค่าทางอาหารของข้าวดิบชนิดต่างๆ
ตารางที่ 2.5	รูปแบบผลิตภัณฑ์ของข้าวหุงสุกเร็ว
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง
ตารางที่ 4.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.3	ปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง ที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัว ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.5	ปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง ที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.6	ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำที่แช่ข้าวหอมมะลิแดงกล้องในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.7	ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของน้ำที่แช่ข้าวหอมมะลิแดงกล้อง ในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.8	ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-สีเหลือง (b^*) ของน้ำที่แช่ข้าวหอมมะลิแดง กล้องในสภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4.9	ผลของการให้ความร้อนลักษณะต่างๆ ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง
ตารางที่ 4.10	ผลของการให้ความร้อนลักษณะต่างๆ ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง
ตารางที่ 4.11	ผลของการให้ความร้อนลักษณะต่างๆ ต่อการเกิดเจลลิตีในเซชัน (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง
ตารางที่ 4.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว
ตารางที่ 4.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	30
ตารางที่ 4.15 ผลของความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	31
ตารางที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	31
ตารางที่ 4.17 ผลของเวลาที่ใช้ในการหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	31
ตารางที่ 4.18 ผลของการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	32
ตารางที่ 4.19 ผลของการทำแห้งในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	33
ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5 นาที	34
ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 10 นาที	35
ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 20 นาที	36
ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 25 นาที	37
ตารางที่ 4.24 ผลของความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการหาค่าปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว ที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	38
ตารางที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	38

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.26 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	39
ตารางที่ 4.27 ผลของการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	39
ตารางที่ 4.28 ผลของการทำแห้งในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	40
ตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5 นาที	41
ตารางที่ 4.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 10 นาที	42
ตารางที่ 4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 20 นาที	43
ตารางที่ 4.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 25 นาที	44
ตารางที่ 4.33 ผลของความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	45
ตารางที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	45
ตารางที่ 4.35 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	46
ตารางที่ 4.36 ผลของการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้อยหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.37 ผลของการทำแห้งในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณ การพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุก เร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที	47
ตารางที่ 4.38 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อ ข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว	48

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างเมล็ดข้าว 4
ภาพที่ 4.1	ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวแสดงการเกิดเจลลาทีโนเซชันในระดับต่างๆ 27
ภาพภาคผนวก ค.1	ข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) กับข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว (อัตราส่วน 7 ต่อ 2) 69
ภาพภาคผนวก ค.2	ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) กับข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว (อัตราส่วน 7 ต่อ 2) 69
	หลังการหุงเพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันการศึกษาวิจัยทางอุตสาหกรรมเกษตรได้มุ่งเน้นถึงการนำผลิตผลทางการเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ให้มากที่สุด โดยเฉพาะพืชที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ อาทิ ข้าว ยางพารา มันสำปะหลัง ฯลฯ ในด้านข้าวพบว่าประเทศไทยมีความสามารถในการส่งออกข้าวหอมมะลิได้ในอันดับ 1 ของโลก ซึ่งได้รับการยอมรับจากต่างประเทศทั้งในด้านของกลิ่น ความนุ่มและความอร่อยมาเป็นเวลากว่าทศวรรษ อย่างไรก็ตามข้าวที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยนั้นมีมากมายหลายพันธุ์ และปัจจุบันประชาชนทั้งในและต่างประเทศกำลังให้ความสนใจข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ข้าวกล้อง ข้าวแดง ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ และสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ในการส่งเสริมและพัฒนาให้ข้าวเหล่านี้สามารถเป็นสินค้าส่งออกและเป็นที่ยอมรับมากขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งที่ได้รับความสะดวกคือการหุงต้มที่ใช้เวลาที่สั้นลง หรือการทำข้าวหุงสุกเร็ว เพื่อตอบสนองสภาพชีวิตในปัจจุบันที่ต้องการความเร่งด่วน ปัจจุบันได้มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับการทำข้าวหุงสุกเร็ว เช่น ข้าวหอมมะลิสำเร็จรูป (instant Jasmine rice) ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป (instant brown rice) ฯลฯ แต่งานวิจัยดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับข้าวหอมมะลิแดงหรือข้าวมันปุยยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงหุงสุกเร็ว โดยจะศึกษาในข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกเพียงอย่างเดียว (ไม่ผ่านการขัดสี) ซึ่งข้าวดังกล่าวจะมีเยื่อหุ้มเมล็ดที่หนาและอาศัยเวลานานในการหุงต้ม ทั้งนี้คาดว่าเมื่อได้พัฒนาให้ใช้เวลาในการหุงต้มที่สั้นลงแล้ว จะสามารถเพิ่มความต้องการในการบริโภคและการส่งออกได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกไว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดเจลลิตในเซชันของเมล็ดข้าวหอมมะลิแดงกล้อง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านต่างๆ ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการหุงร่วมกับข้าวขาวหอมมะลิทั่วไป

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ คาดว่าจะได้รับประโยชน์ในด้านการรวมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกล้องแบบหุงสุกเร็ว ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มการบริโภคข้าวหอมมะลิแดงกล้อง นอกจากนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตข้าวกล้องพันธุ์อื่นๆ รวมถึงข้าวไร่สายพันธุ์ต่างๆ หรือข้าวที่ปลูกในที่สูงที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดหนา ทั้งนี้คาดว่าจะองค์ความรู้ที่ได้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มมูลค่าการส่งออกข้าวของประเทศไทยได้ต่อไป

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้าว

ข้าวที่ปลูกในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima*) ที่มีการแพร่กระจายเฉพาะบริเวณเขตร้อนของทวีปแอฟริกาตะวันตก และอีกกลุ่มคือข้าวเอเชีย ซึ่งเป็นข้าวลูกผสมของข้าวสายพันธุ์ *Oryza sativa* กับข้าวป่า ปัจจุบันพบว่าการปลูกข้าวเอเชียกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในประเทศอินเดีย บังกลาเทศ รวมถึงในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้าวในกลุ่มดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ *japonica* หรือ *sanica* สายพันธุ์ *indica* และสายพันธุ์ *javanica* หรือพันธุ์ชา ทั้งนี้พบว่าสายพันธุ์ *japonica* ปลูกกันมากในประเทศจีนตอนเหนือและตะวันออก ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศอื่นๆ ที่อยู่ในเขตอบอุ่น ส่วนสายพันธุ์ *indica* จะปลูกในประเทศต่างๆ ที่อยู่ในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์ สำหรับสายพันธุ์ *javanica* จะเป็นข้าวที่ปลูกในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น อย่างไรก็ตามแหล่งที่มีการปลูกข้าวกันมากจะอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 53 องศาเหนือและ 35 องศาใต้

2.2 การจำแนกประเภทของข้าว

2.2.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด

- ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% ซึ่งในส่วนของแป้งนี้จะประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อะมิโลเปคติน (amylopectin) 60-90% และอะมิโลส (amylose) 10-30%

- ข้าวเหนียว (glutinous rice) ประกอบด้วยอะมิโลเปคตินสูงถึง 95% มีปริมาณอะมิโลสน้อยมากหรือบางครั้งไม่พบเลย

2.2.2 จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก

- ข้าวไร่ (upland rice)
- ข้าวนาส่วน (lowland rice)
- ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (floating rice)

2.2.3 จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว

- ข้าวเบา (early variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน
- ข้าวกลาง (medium variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 100-120 วัน
- ข้าวหนัก (late variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป

2.2.4 จำแนกตามลักษณะความว่องไวต่อช่วงแสง

- ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive variety)
- ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (non-photoperiod sensitive variety)

2.1.5 จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

- ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) ความยาวไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium-long grain) ความยาว 5.51-6.00 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาวมาก (extra long grain) ความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตรขึ้นไป

2.1.6 จำแนกตามฤดูปลูก

- ข้าวนาปีหรือข้าวนาฝน (rained rice)
- ข้าวนาปรัง (off-season rice)

2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและการแปรรูปข้าวเปลือก

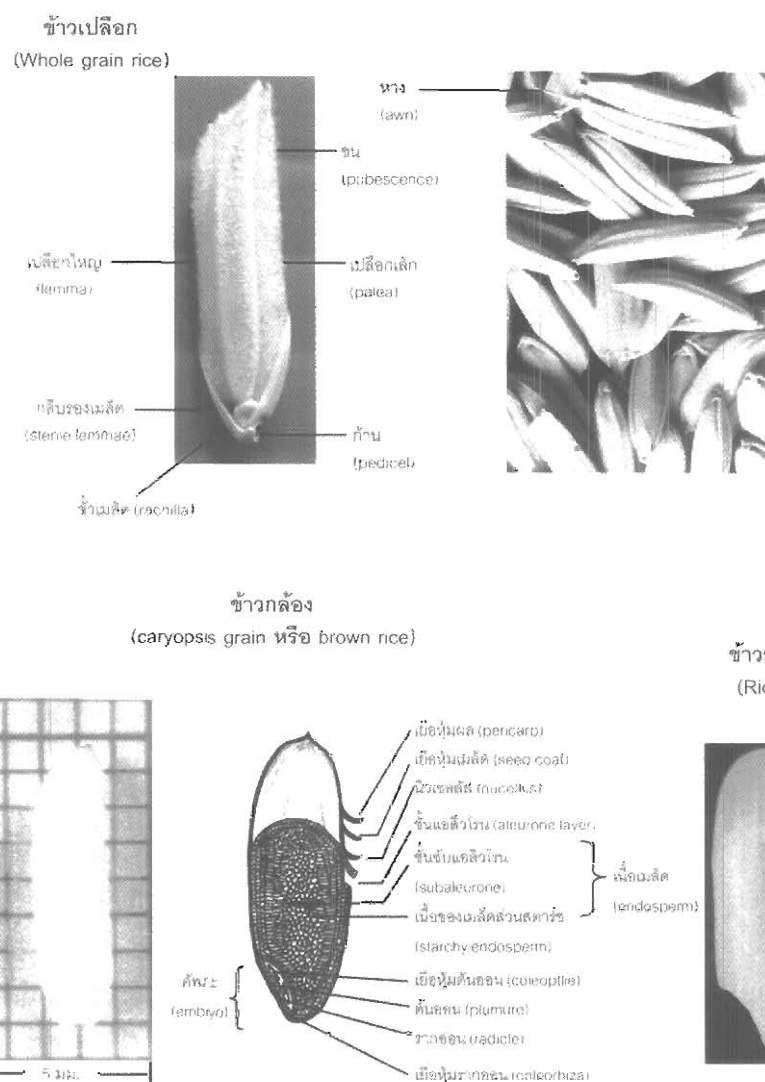
เมล็ดข้าวโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มหรือที่เรียกว่ากลีบ และส่วนที่รับประทานได้หรือส่วนของข้าวกล้อง ในส่วนของข้าวกล้องหรือเนื้อผลนี้จะประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลที่อยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบสำคัญ (ภาพที่ 2.1)

โดยทั่วไปในชั้นเยื่อหุ้มผลนี้สามารถแบ่งย่อยเป็น 3 ชั้นย่อย คือ เอพิการ์พ (epicarp) หรือเอกโซคาร์พ (exocarp) ซึ่งเป็นผิวหรือผนังที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว ถัดเข้าไปเรียกว่าชั้นเมโซคาร์พ (mesocarp) หรือไฮพอเดิร์ม (hypoderm) เป็นผนังผลชั้นกลาง และเยื่อชั้นในสุดเรียกว่าเอนโดคาร์พ (endocarp)

ถัดจากเยื่อหุ้มผลจะเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ 2 ชั้น รูปยาว เรียงตามขวาง และมีผนังบางกัน (มีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารสีเช่นเดียวกับในส่วนเยื่อหุ้มผล จึงทำให้ข้าวกล้องมีสี

ชั้นของเซลล์ที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ดเรียกว่านิวเคลลัส (nucellus) แต่พื้นที่ระหว่างนิวเคลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงสามารถแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน ส่วนเยื่อในชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) จะเป็นเยื่อของชั้นที่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น โดยเยื่อนี้ที่อยู่ด้านหลังของเมล็ดจะมีความหนามากกว่าที่อยู่ด้านท้อง และมีความหนาที่แตกต่างกัน ขึ้นกับพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อม-สั้น จะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น

ในส่วนของคัพภะจะอยู่บริเวณโคนเมล็ดในส่วนท้องของเมล็ด มีส่วนประกอบของรากอ่อน (radicle) ต้นอ่อน (plumule) ฯลฯ คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงมีปริมาณโปรตีน และไขมันสูง (อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว
ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ส่วนของเนื้อเมล็ดหรือเนื้อข้าว (endosperm) เป็นส่วนที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชั้นชั้นแอลิวโรน (subaleurone) และ ส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (starchy endosperm) ชั้นชั้นแอลิวโรนประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น ที่อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน มีกลุ่มโปรตีนที่มีลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1-2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5-0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกัน (ขนาด 2-3.5 ไมครอน) แต่ในส่วนสตาร์ชในเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนที่มีลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น และแทรกอยู่ในระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granules) ที่มีขนาด 3-9 ไมครอน

จากการเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวจากน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก จะมีสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งสัดส่วนต่างๆ เหล่านี้จะมีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร (อรอนงค์, 2547)

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนโครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างเมล็ด	% สัดส่วน	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วงของสัดส่วน
ข้าวเปลือก	100	-
แกลบ	20	16-28
ข้าวกล้อง	80	72-84
ข้าวกล้อง	100	-
เยื่อหุ้มผล	1.5	1-2
เยื่อหุ้มเมล็ด	5	4-6
คัพภะ	3	2-3
เนื้อเมล็ด	90.5	89-94
คัพภะ	3	-
รากอ่อน	0.18	-
ต้นอ่อน	0.34	-
เยื่อหุ้มรากอ่อน	0.18	-
ใบเลี้ยง	1.29	1.18-1.40
ท่อน้ำ ท่ออาหาร	0.26	-
อื่นๆ	0.75	-

ที่มา: เครือวัลย์ (2536); Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

ในการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง จะมีการกะเทาะเปลือกออก ซึ่งแรงที่ใช้ในการกะเทาะจะมากหรือน้อยขึ้นกับพันธุ์ข้าว ผิวของข้าวกล้องจะไม่เรียบและยังคงมีส่วนของคัพภะติดอยู่ สำหรับในขั้นตอนการแปรรูปข้าวกล้องเป็นข้าวสารนั้นจะเป็นการขัดสีผิวของข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาว และได้รำข้าว (bran) เป็นผลพลอยได้ ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 10% ของน้ำหนักข้าวกล้องก่อนการขัดสี ในรำข้าวนี้จะประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเคลลัส ชั้นแอลิวโรน และคัพภะ มีสีน้ำตาลเข้ม

หลังจากขั้นตอนการขัดขาวจะเป็นขั้นตอนของการขัดมัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้าวสาร และรำขาว (white bran หรือ pol sh) ในรำขาวนี้จะประกอบด้วยรำข้าวที่หลงเหลือจากการขัดขาว ชั้นชั้นแอลิวโรนบางส่วน และเนื้อเมล็ดบางส่วน มีน้ำหนักรวมประมาณ 2-3% ของน้ำหนักข้าวกล้อง

2.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของข้าว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการกะเทาะเปลือก การขัดขาว และการขัดมัน พบว่าแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ แก้ว คาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร และพลังงานแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2) และมีปริมาณ

ตารางที่ 2.2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%

ส่วนของข้าว	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	เส้นใย หยาบ (g)	แก้ว (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)	เส้นใย อาหาร (g)	พลังงาน (KJ)	(Kcal)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	6.4-7.3	16.4-19.2	1,580	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	1,520-1,610	363-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	1,460-1,560	349-373
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29	670-1,990	399-476
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-54.9	13.2-21.0	22-34	66-74	1,110-1,390	265-332

ที่มา: Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

วิตามินในปริมาณต่างๆ ซึ่งได้แก่ ไทอะมิน (วิตามินบี 1) ไรโบเฟลวิน (วิตามินบี 2) ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) และ α -ทอโคเฟอรอล (วิตามินอี) ส่วนแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสในไฟฟีนหรือไฟตินฟอสเฟต เหล็ก พบว่ามีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละส่วนของข้าวเช่นกัน (ตารางที่ 2.3)

เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ไม่ได้ผ่านการสีเอาคัพพะและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวออก จึงยังคงมีวิตามินและแร่ธาตุที่สมบูรณ์มากกว่าข้าวขาวถึง 3 เท่า และมีปริมาณไขมันสูง มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 7% (ตารางที่ 2.4) มีไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 0.6% มีวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่างๆ หลายชนิด เช่น α -ทอโคเฟอรอลหรือวิตามินอี โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก เส้นใยอาหาร และเลซิทิน ในทางการแพทย์เชื่อว่า ข้าวเป็นยารักษาโรคแบบธรรมชาติในการบำบัดอาการผิดปกติของการย่อยอาหาร เช่น อาหารไม่ย่อย โรคถุงตันที่ลำไส้ใหญ่ (diverticular disease) เป็นต้น นอกจากนี้จากการวิจัยพบว่า การรับประทานข้าวกล้องเป็นประจำจะช่วยลดความเสี่ยงของการเป็นมะเร็งที่ลำไส้ได้ เพราะข้าวกล้องมีใยอาหารสูง นอกจากนี้ยังช่วยเสริมการทำงานของระบบการย่อยอาหารให้ดีขึ้นช่วยลดอาการท้องผูก และยังมีส่วนช่วยในเรื่องโรคเหน็บชาเพราะมีวิตามินบีสูง สำหรับ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%

ส่วนของข้าว	โทอะมิน (mg)	ไรโบฟลาวิน (mg)	ไนอะซิน (mg)	α -ทอโคเฟ อรอล (mg)	แคลเซียม (mg)	ฟอสฟอรัส (g)	ฟิทิน ฟอสเฟต (g)	เหล็ก (mg)	สังกะสี (mg)
ข้าวเปลือก	0.26-0.33	0.06-0.11	2.9-5.6	0.90-2.00	10-80	0.17-0.39	0.18-0.21	1.4-6.0	1.7-3.1
ข้าวกล้อง	0.29-0.61	0.04-0.14	3.5-5.3	0.90-2.50	10-50	0.17-0.43	0.13-0.27	0.2-5.2	0.6-2.8
ข้าวสาร	0.02-0.11	0.02-0.06	1.3-2.1	75-0.30	10-30	0.08-0.15	0.02-0.07	0.2-2.8	0.6-2.3
รำข้าว	1.20-2.40	0.18-0.43	26.7-49.9	2.60-13.3	30-120	1.1-2.5	0.9-2.2	8.6-43.0	4.3-25.8
แกลบ	0.09-0.21	0.05-0.07	1.6-4.2	0	60-130	0.03-0.07	0	3.9-9.5	0.9-4.0

ที่มา: Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางอาหารของข้าวดิบชนิดต่างๆ

คุณค่าทางอาหารของข้าวดิบชนิดต่างๆ (ปริมาณสารอาหารต่อข้าวดิบ 100 กรัม)				
สารอาหาร	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวเหนียว	ข้าวมันญี่ปุ่น
พลังงาน (KJ)	351	347	353	347
โปรตีน (g)	6.7	7.1	6.3	5.8
ไขมัน (g)	0.8	2.0	0.6	2.9
คาร์โบไฮเดรต (g)	79.4	75.1	80.4	72.5
ใยอาหาร (g)	0.7	2.1	0.8	4.0
วิตามิน				
- วิตามินบี 1 (mg)	0.07	0.26	0.09	0.44
- วิตามินบี 2 (mg)	0.02	0.04	0.03	0.18
- ไนอะซิน (mg)	1.79	5.40	1.82	2.14
เกลือแร่				
- โซเดียม (mg)	79	84	-	-
- โพแทสเซียม (mg)	121	144	-	-
- แคลเซียม (mg)	6	9	7	16
- ฟอสฟอรัส (mg)	195	267	61	120
- แมกนีเซียม (mg)	27	60	-	-
- เหล็ก (mg)	1.2	1.3	-	-
- สังกะสี (mg)	0.48	0.49	-	-
- ทองแดง (mg)	0.14	0.11	-	-

ที่มา: มปป. (2544)

แบ่งที่มีอยู่ในข้าวกล้อง พบว่าจะถูกย่อยและถูกดูดซึมได้ช้า ทำให้การปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือดเป็นไปอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ จึงมีส่วนช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานได้ดีขึ้น นอกจากนี้การรับประทานข้าวกล้องยังช่วยให้อิ่มเร็วและอิ่มนาน เพราะใยอาหารจะเข้าไปแทนพื้นที่ในกระเพาะอาหาร และต้องใช้เวลาย่อยนาน จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักมากกว่าการรับประทานข้าวขาว

ข้าวกล้องถือเป็นข้าวเจ้าชนิดหนึ่งที่ไม่มียีสต์ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งในข้าวสาลี จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคซีเลียค (celiac disease) ซึ่งเป็นความผิดปกติของลำไส้เล็กจากการบริโภคกลูเตน

2.5 ข้าวหอมมะลิแดง

2.5.1 ความรู้ทั่วไปของข้าวหอมมะลิแดง

โดยทั่วไปข้าวแดงหมายถึงข้าวที่มีเยื่อหุ้มผล (pericarp) เป็นสีแดง แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- ข้าวป่า จัดเป็นวัชพืชที่ร้ายแรง ซึ่งมักขึ้นปะปนกับข้าวที่ปลูกในนา ลักษณะของข้าวเปลือกจะมีสีฟางหรือสีน้ำตาลดำทางยาว เมล็ดมีขนาดเล็กและแข็ง

- ข้าวแดงที่ใช้บริโภค จัดเป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกเพื่อการบริโภคและจำหน่าย เช่น ข้าวมัน ในภาคกลาง ข้าวกริ๊บในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และข้าวสังข์หยดในภาคใต้ เป็นต้นปกตินิยมบริโภคข้าวแดงในรูปของข้าวกล้องหรือใช้ผสมกับข้าวขาวเพื่อให้ได้รสชาติที่ดีขึ้น (สถาบันวิจัยข้าว, 2542)

ข้าวหอมมะลิแดงหรือที่รู้จักในชื่อของข้าวมันปู เป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวเจ้า (ข้าวขาว) แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมในการบริโภค เนื่องจากมีสีชมพูแดงจนถึงแดงเข้ม ไม่ขาวสวยเหมือนในข้าวเจ้าที่สุกแล้ว แต่เมื่อพิจารณาคุณค่าทางอาหารแล้ว พบว่า ข้าวหอมมะลิแดงจะมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านปริมาณของ ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ทองแดง วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินซี

อังค์วรา (2542) กล่าวว่าข้าวหอมมะลิแดงมีคุณสมบัติในการป้องกันโรคหัวใจ ป้องกันโรคเบาหวาน ไม่มีแรง รักษามือเท้าที่บวมและมีผื่นขึ้น ป้องกันโรคนอนไม่หลับ และรักษาระบบย่อยอาหารที่ไม่ปกติ (มีลมในท้องและลำไส้) ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้สูงอายุ ดังนั้นการรับประทานข้าวหอมมะลิแดงจะส่งผลให้มีสุขภาพที่ดี แข็งแรง ไม่เจ็บป่วยง่ายและปราศจากโรคแทรกซ้อนอื่นๆ ได้

2.5.2 การพัฒนาพันธุ์ข้าวหอมมะลิแดง (สถาบันวิจัยข้าว, 2542)

จากการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พ.ศ. 2525-2527) ที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ โดยนายบุญโฮม ชำนาญกุล เป็นผู้อำนวยการสถานี พบว่าในรวงข้าวจำนวนหนึ่งมีเมล็ดที่เป็นข้าวเหนียวปนอยู่ด้วย ซึ่งเข้าใจว่าเกิดจากการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติที่มักพบอยู่เสมอ และจากการนำเมล็ดข้าวปนไปปลูก พบว่าในกอหนึ่งให้เมล็ดที่มีเยื่อหุ้มเป็นสีแดงเรื่อๆ ทั้งในชนิดที่เป็นข้าวเหนียวและข้าวเจ้า หลังจากนั้นได้มีการนำเฉพาะเมล็ดข้าวเจ้าที่มีเยื่อหุ้มสีแดงมาปลูกที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกเพื่อการคัดเลือกสายพันธุ์ (พ.ศ. 2529-2533) จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2533 เกิดโรคระบาดของรุนแรงของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล แต่พบว่ามีสายพันธุ์ที่ไม่ถูกทำลาย จึงได้คัดสายพันธุ์ข้าวเบาและข้าวหนักดีเด่นที่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลไว้

ในปี พ.ศ. 2535 เกษตรกรที่อยู่ใกล้ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ได้นำเมล็ดพันธุ์ข้าวสายพันธุ์ดีเด่นไปปลูกและแปรรูปผลผลิตได้ข้าวกล้องแดงออกจำหน่าย และในปีถัดมา (พ.ศ. 2536) พบว่า อายุสุกที่

เก็บเกี่ยวได้ของข้าวหอมมะลิแดงในแปลงเกษตรกรยังมีการกระจายตัว ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกจึงนำสายพันธุ์ข้าวเบาและข้าวหนักมาคัดเลือกใหม่ และได้สายพันธุ์ KDML105RPL-E-14 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวทั่วไปที่ใช้ชื่อว่า “ข้าวหอมแดง (Red Hawn Rice)” ในปี พ.ศ. 2538

ข้าวหอมแดงหรือข้าวหอมมะลิแดงเป็นสายพันธุ์ที่มีต้นข้าวสูง ไวต่อช่วงแสง และทางสถาบันวิจัยข้าวได้ขอขึ้นทะเบียนเป็นพันธุ์ข้าวทั่วไปแล้ว อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาพันธุ์ต่อโดยนายสมเดช อิ่มมาก นักวิชาการเกษตรศูนย์วิจัยข้าวแพร่ โดยนำสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิแดง KDML105R-PRE-5 เป็นพันธุ์แม่ผสมกับ IR64 และผสมย้อนกลับ (back cross) ไปหาพันธุ์แม่รวม 3 ครั้ง และได้นำสายพันธุ์ผสมมาปลูกคัดเลือกต่อศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกจนได้สายพันธุ์ดีเด่น PRE90020-R36-PSL-8-3-14-3 ซึ่งได้มีผู้เสนอให้ใช้ชื่อพันธุ์ว่า “ข้าวหอมกุหลาบแดง (Red rose rice)” โดยมีลักษณะเป็นข้าวต้นเตี้ย ไม่ไวแสง เมล็ดยาวเรียว มีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกลี้ยงสีแดง มีคุณภาพการหุงต้มดี มีกลิ่นหอม ซึ่งสถาบันวิจัยข้าวได้ขึ้นทะเบียนเป็นพันธุ์ข้าวทั่วไปอีกพันธุ์หนึ่งเช่นเดียวกับข้าวหอมแดง

ข้าวหอมมะลิแดงหรือที่รู้จักกันในชื่อของ “ข้าวมันปู” เป็นข้าวพันธุ์หนึ่งที่มีสีน้ำตาลแดง มีปริมาณไขมันใกล้เคียงกับในข้าวกล้อง แต่สูงกว่าในข้าวขัดสีประมาณหนึ่งเท่าตัว มีสารสีจำพวกแคโรทีนอยด์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกาย ซึ่งมีในปริมาณที่สูงกว่าข้าวขัดสี (อุตสาหกรรมสาร, 2546) ในปัจจุบันมีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกันมากขึ้นทั้งนี้กรรมวิธีการขัดสีจะแตกต่างกันไปตามสถานที่ผลิต ซึ่งจะส่งผลให้กรรมวิธีการหุงต้มและข้าวที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ข้าวหอมมะลิแดงบางชนิดสามารถหุงพร้อมกับข้าวขัดขาวได้ แต่บางชนิดต้องผ่านการแช่น้ำก่อนเพื่อเพิ่มความนุ่มให้กับข้าว

2.6 ข้าวหุงสุกเร็ว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ข้าวหุงสุกเร็ว อาจเรียกว่าข้าวหุงสุกไว หรือข้าวกึ่งสำเร็จรูป (quick-cooking rice หรือ instant rice) เป็นข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการทำให้ข้าวสุกก่อนในระดับหนึ่งก่อนการนำมาทำแห้ง ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้องและใช้เวลาในการคั่วสั้นกว่าการหุงข้าวสุกธรรมดา อย่างไรก็ตามรูปแบบของการคั่วข้าว เวลาที่ใช้ในการคั่ว ตลอดจนคุณภาพเมล็ดข้าวที่ได้จะขึ้นกับวัตถุดิบและวิธีการในการแปรรูป ปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตมากมายที่ผลิตข้าวหุงสุกเร็วออกจำหน่าย (ตารางที่ 2.5) ซึ่งนอกจากจะช่วยให้มีความสะดวกในการบริโภคแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากข้าวอีกด้วย กรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็วมีหลายวิธีนับตั้งแต่ปี 1948 เป็นต้นมา ปัจจุบันก็ยังมีกลุ่มนักวิจัยที่พยายามพัฒนาและปรับปรุงกรรมวิธีการแปรรูป เพื่อให้ปริมาณผลผลิตที่สูงขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ และพลังงาน และได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่คั่วรูปด้วยเวลาที่สั้นขึ้น เพื่อความสะดวกรวดเร็ว ตามที่ผู้บริโภคต้องการต่อไป

จากการคิดค้นและพัฒนาวิธีการแปรรูปข้าวสารเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว พบว่าในปัจจุบันได้มีการจดสิทธิบัตรไว้มากมาย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนและกรรมวิธีต่างๆ ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ออกแบบและดัดแปลงให้เหมาะสมต่อกรรมวิธีการแปรรูป อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำไปประยุกต์ใช้ในทางการค้ามีอยู่หลายกรรมวิธี ดังนี้

ตารางที่ 2.5 รูปแบบผลิตภัณฑ์ของข้าวหุงสุกเร็ว

รูปแบบ	วิธีการเตรียมก่อนบริโภค	บริษัทผู้ผลิต
ถ้วย	เติมน้ำร้อนหรือน้ำเดือดลงในถ้วยบรรจุข้าวหุงสุกเร็ว ทิ้งให้คืนรูป 1-5 นาที	Nissin' Cup Rice
ทิ้งให้คืนรูป	ต้มน้ำเดือด ใส่ข้าวหุงสุกเร็วคนให้เข้ากัน ปิดฝาหม้อ ยกจากเตา ทิ้งให้คืนรูป 5-7 นาที	Kraft-General Foods' Minute Rice
อุ่นให้คืนรูป	ต้มข้าวหุงสุกเร็วกับน้ำเดือด ลดความร้อนของเตา อุ่นโดยปิดหรือเปิดฝาหม้อข้าว 5-10 นาที	Lipton's Rice & Sauce and Uncle Ben's Products
ตุ๋นและอุ่นให้ คืนรูป	ต้มข้าวหุงสุกเร็วด้วยไฟอ่อน โดยใส่เนยสด มาร์การีน หรือน้ำมันจนเคลือบข้าวหมด แล้วเติมน้ำ ต้มให้ เดือด ปิดฝาและอุ่นอีก 10 นาที	Uncle Ben's Suzi Wan Products
ต้มในถุง	ต้มข้าวหุงสุกเร็ว (ที่บรรจุในถุงที่มีรูพรุน) ในน้ำเป็น เวลา 10 นาที	Riviana's Success Products
คืนรูปด้วย ไมโครเวฟ	ใส่ข้าวหุงสุกเร็วลงในถ้วยที่มีน้ำในปริมาณเหมาะสม ให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 5-10 นาที	MJB's Kraft-General Foods' microwave products

ที่มา: Luh et al. (1991) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

2.6.1 การแช่น้ำ-ต้ม-ไอน้ำ-ทำแห้ง

Ozai-Durrani (1948) ได้ศึกษาค้นคว้าวิธีนี้และประยุกต์ใช้ในการผลิตของบริษัท General Foods ซึ่งมีขั้นตอนคือ นำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง จนข้าวสารมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 30% จากนั้นนำมาต้มในน้ำเดือดนาน 8-10 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 65-70% หลังจากเทน้ำทิ้ง ทำให้เย็น และล้างด้วยน้ำเย็น 1-2 นาทีแล้ว ให้เกลี่ยข้าวหุงสุกบนตะแกรง และผึ่งให้แห้งในตู้ที่มีลมร้อนอุณหภูมิ 140°C เป่าผ่านข้าวหุงสุกด้วยความเร็ว 200 ฟุต/นาที เพื่อให้ข้าวหุงสุกแห้งและมีความชื้นลดลงเป็น 8-14% สภาวะในการทำแห้งนั้นมีจุดวิกฤตอยู่ที่อุณหภูมิร้อนที่ต้องสูงเพียงพอ ที่จะทำให้ความชื้นระเหยจากผิวเมล็ดข้าวหุงสุก ในอัตราที่เร็วกว่าการที่ความชื้นจะเคลื่อนจากภายในเมล็ดข้าวหุงสุกออกสู่บรรยากาศภายนอก เพื่อให้เนื้อเมล็ดข้าวหุงสุกมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจะได้คืนรูปได้เร็ว หรืออาจจะให้ความร้อนเป็นระยะ 2 ครั้ง หรือมากกว่า โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นระยะ จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกขยายปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และคืนรูปเป็นข้าวหุงสุกปกติได้ภายใน 10-13 นาที

2.6.2 การทำให้เมล็ดข้าวพองตัวและเจลาทิไนซ์

ในสิทธิบัตรที่ทำการจดโดย Robert (1955) จะเป็นการนำข้าวสารมาแช่น้ำให้ข้าวมีความชื้นเป็น 30% จากนั้นนำข้าวไปนึ่งด้วยไอน้ำภายใต้ความดันประมาณ 10-15 psi เป็นเวลา 5-20 นาที แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำจนมีความชื้นประมาณ 8-14% เมล็ดข้าวจะหดตัวและมีลักษณะใส หรือใช้วิธีทำแห้งเมล็ดข้าวด้วยความร้อนสูงก็จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกมีรูพรุน ต่อมาจึงนำข้าวหุงสุกที่ทำแห้งไปทำให้

พองตัวด้วยไอน้ำและลมร้อนที่ 200-260°C ทั้งนี้อัตราความเร็วลมจากไอน้ำจะต้องเหมาะสมที่จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกพองขึ้น ซึ่งในการคั้นรูปข้าวหุงสุกที่ผ่านกรรมวิธีนี้จะใช้เวลาเพียง 2-3 นาทีเท่านั้น

2.3.3 การกดหรือบดข้าวหุงสุก

Ozai-Durrani (1948; 1956a; 1956b) ได้จดสิทธิบัตรการผลิตข้าวหุงสุกเร็วอีกวิธีหนึ่ง นอกเหนือจากวิธีการแช่น้ำ-ต้ม-ไอน้ำ-ทำแห้ง ในสิทธิบัตรฉบับนี้จะใช้ข้าวหนึ่งหรือข้าวที่สุกแล้วระดับหนึ่งมาแช่น้ำ ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ หรือทั้งแช่น้ำและนึ่งด้วยไอน้ำพร้อมกัน เพื่อให้ข้าวมีความชื้น 40% จากนั้นนำมากดหรือบดให้แบนลงประมาณ 30-80% ของความหนาเดิม และทำแห้งให้เหลือความชื้น 10-14% ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ข้าวมีรูพรุนมาก

2.3.4 การใช้ความร้อนแห้ง

ในการลดความชื้นข้าวสารและข้าวกล้องจากเดิม 3-4% Alexander (1954) กล่าวว่าสามารถใช้ความร้อนแห้งที่ 52-82°C ความเร็ว 30-60 ลบ.ฟุต/นาทีก เป็นเวลา 10-30 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวหุงสุกได้ภายใน 10 นาที เนื่องจากความร้อนทำให้ผิวข้าวเป็นรอยร้าว จึงดูดซึมน้ำขณะหุงต้มได้เร็วขึ้น

2.3.5 การใช้การระเหิดจากจุดเยือกแข็ง

จากการศึกษาของ Keneaster and Newtin (1957) พบว่าการนำข้าวหนึ่งมาแช่น้ำเย็นที่ 27°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำให้สุกด้วยการต้มหรือนึ่งด้วยไอน้ำ จากนั้นทำให้เย็นในน้ำ และเทน้ำทิ้ง นำข้าวที่ได้ไปแช่เยือกแข็งที่ 0°C เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง และทำลายโครงสร้างของสตาร์ช ซึ่งจะส่งผลให้เมล็ดข้าวที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนและสามารถดูดซึมน้ำได้ดีขึ้นเมื่อนำมาคั้นรูป จากนั้นลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเป็นลำดับจนถึงขั้นแช่เยือกแข็งสมบูรณ์ และนำมาคั้นรูปที่อุณหภูมิห้องหรือใช้ลมอุ่นเป่าเป็นเวลาก่อนอย่างน้อย 5 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำข้าวหุงสุกคั้นรูปมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 43°C ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ได้ถูกพัฒนาต่อจนสามารถคั้นรูปข้าวหุงสุกเร็วได้ภายใน 5 นาที และเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวที่ผู้ผลิต คือ Uncle Ben's quick rice ประสบความสำเร็จในการขยายตลาดได้เป็นอย่างดี

2.3.6 การพองตัวจากเครื่องอัดแบบปืน (gun-puffing)

วิธีนี้เป็นการทำให้เมล็ดข้าวพองตัวโดยนำข้าวสารมาปรับความชื้นให้เป็น 18-26% ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 33°C จากนั้นใส่ข้าวในหม้อไอน้ำหรือเครื่องอัดพองแบบปืน ปิดฝาให้สนิท และลดความดันลงเป็น 1.5 นิ้วของปรอท เป็นเวลา 2 นาที เพื่อดึงอากาศและก๊าซที่ไม่ควบแน่นออกจากเมล็ดข้าว ให้ไอน้ำจนข้าวสุกทั้งเมล็ดและไม่พองจนเสียโครงร่าง จากนั้นจึงลดความดันอย่างรวดเร็วเป็น 0.1 นิ้วปรอทซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวพองตัวขึ้น การบรรจุข้าวในเครื่องอัดที่คงสภาพสุญญากาศไว้ทั้งก่อนและหลังการพองตัวจะทำให้ข้าวพองตัวอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นจึงนำข้าวที่พองไปทำให้แห้งจนมีความชื้น 15% ข้าวหุงสุกเร็วนี้จะคั้นรูปได้โดยการเติมน้ำร้อนเดือดภายใน 5 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวพองขึ้นอย่างสม่ำเสมอ วิธีการดังกล่าวได้ถูกจดสิทธิบัตรโดย Carman และ Allison ในปี ค.ศ.1953

2.3.7 การทำแห้งเยือกแข็ง

วิธีการนี้จะเสียค่าใช้จ่ายแพงกว่าวิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และการพอง โดย Wayne (1963) ได้อธิบายหลักการโดยย่อ คือ นำข้าวมาหุงให้สุก แล้วทำให้เย็นถึงจุดเยือกแข็งด้วยเครื่องทำความเย็นแบบแผ่นสัมผัสความเย็นในสภาพสุญญากาศ หรือสัมผัสโดยตรงกับสารให้ความเย็นเยือกแข็ง เช่น ไนโตรเจนเหลว จากนั้นจึงนำข้าวสุกแช่เยือกแข็งไปใส่ในตู้ทำแห้งเยือกแข็ง ด้วยระยะเวลาและ

พลังงานที่ใช้จะทำให้ข้าวหุงสุกเยือกแข็งแห้งเกิดขึ้นเร็วกว่าวิธีปกติของการทำแห้งเยือกแข็ง จนข้าวมีความชื้น 10-20% จึงนำมาทำแห้งด้วยลมร้อนที่ 150-315°C เพื่อทำให้ข้าวเป็นรูปพูนมากขึ้น เป็นผลให้คั่วรูปได้เร็วขึ้น

2.3.8 การใช้สารเคมี

นอกจากการใช้ความร้อนในการทำให้ข้าวสุกแล้ว ยังมีวิธีการใช้สารเคมีเพื่อช่วยให้ข้าวสุกเร็วขึ้น หรือทำให้มีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดีขึ้น เช่น การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ การใช้เอนไซม์เอมิเซลลูเลส และการใช้สารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นต้น Tanaka and Yukami (1969) ได้จัดลักษณะกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้สารเคมี ดังนี้ นำข้าวมาแช่สารละลายฟอสเฟตหรือฟอสโฟเตสที่ pH 7.6-8.2 อุณหภูมิ 20-30°C จากนั้นนำขึ้นจากสารละลายมาต้มกับสารละลายฟอสเฟต (0.05-0.5%) แคลคาไรด์ (0.3-10%) และสารช่วยลดแรงตึงผิว (0.1-0.5 %) จนข้าวสุกประมาณ 70% มีความชื้น 50-70% นำข้าวที่ได้มาผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนข้าวสุก 100% และทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว

ตัวอย่างกรรมวิธีที่ใช้ในการแปรรูป คือ นำข้าวสารมาแช่ในสารละลายไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ pH 7.6 และเทสารละลายออก นำข้าวมาต้มในสารละลาย DSP 0.3% น้ำตาลแล็กโทส 0.5% และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต 0.25% เป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำที่ 100-120°C และทำให้แห้ง จะได้ข้าวหุงสุกเร็วที่คั่วรูปภายใน 5 นาที

2.3.9 การใช้พลังงานไมโครเวฟ

Huxsoll and Morgan (1968) เสนอวิธีการให้ความร้อนโดยใช้พลังงานไมโครเวฟทดแทนการใช้ความร้อนปกติในกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็ว โดยแช่ข้าวสารในน้ำจนมีความชื้น 25-30% ให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ หรือความร้อนปกติหรือไอน้ำ แล้วทำให้ข้าวมีความชื้นสูงขึ้น โดยแช่ในน้ำร้อน 66°C จากนั้นให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟจนข้าวมีความชื้น 50% นำข้าวมาทำให้แห้งด้วยลมร้อนจนข้าวมีความชื้น 15% หรือน้อยกว่า แล้วใช้พลังงานไมโครเวฟให้ความร้อนต่ออีกครั้ง เพื่อให้เมล็ดข้าวร้าว และพองขึ้นอีก ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะสามารถคั่วรูปได้ภายในเวลา 5 นาที

2.3.10 การใช้เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไชด์เบดและหมุนเหวี่ยง

Roberts et al. (1979) ใช้ระบบการทำแห้งด้วยเครื่องแบบฟลูอิดไชด์เบด และหมุนเหวี่ยงอย่างต่อเนื่องในกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็ว โดยนำข้าวสารแช่น้ำในเวลาไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องจนข้าวมีความชื้น 30-33% นำมาต้มให้เดือด 4-8 นาที ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว (ข้าวเมล็ดสั้นใช้ 4 นาที ข้าวเมล็ดปานกลางใช้ 5 นาที และข้าวเมล็ดยาวใช้ 7.5 นาที) จากนั้นทำให้เย็นในน้ำเย็น นำเข้าเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไชด์เบด และหมุนเหวี่ยงด้วยแรง 10 xg และอุณหภูมิ 132°C จนความชื้นสุดท้ายเป็น 6-10% ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้สามารถคั่วรูปโดยต้มกับน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่ 2.5 : 1 คนข้าวให้ทั่ว ปิดฝาหม้อ ยกจากเตา ทิ้งให้อุ่น 5-7 นาที จะได้ข้าวที่มีเนื้อสัมผัสดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.7 วิธีหุงข้าวของไทย (มปป, 2544)

ในอดีตมักอาศัยการหุงข้าวจากหม้อดินหรือหม้อหุงข้าวธรรมดาโดยใช้เตาด่าน ซึ่งมีวิธีการหุงที่เรียกว่าหุงข้าวเช็ดน้ำและหุงข้าวไม่เช็ดน้ำ

หุงข้าวแช่น้ำ คือเมื่อต้มข้าวจนสุกปานแล้วจะต้องรินน้ำข้าวออก นำหม้อมาตั้งไฟอ่อนๆ หมุนหม้อข้าวกลับไปมา ให้ข้าวสุกและระอุ ถ้าใช้ไฟแรงเกินไปข้าวจะไหม้ ทั้งนี้การรินน้ำข้าวออกจะเป็นการสูญเสียวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ

หุงข้าวไม่แช่น้ำ คือการต้มข้าวที่ใส่น้ำให้พอดีกับที่ต้องการทำให้ข้าวสุก ซึ่งการใช้ปริมาณน้ำที่พอดีนี้เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างคาดเดาได้ยาก เพราะต้องรู้ว่าเป็นข้าวชนิดใดและใช้ไฟให้พอดี ถ้าใส่น้ำมากไปข้าวจะแฉะ นำน้อยไปข้าวจะแข็ง และถ้าใช้น้ำและไฟไม่พอดีอาจจะได้ข้าวกึ่งสุกกึ่งดิบ ข้างล่างแฉะข้างบนดิบและข้าวไหม้ติดกันหม้อได้

ในปัจจุบันมีการคิดค้นหม้อหุงข้าวไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีหลักการคล้ายกับการหุงข้าวแบบไม่แช่น้ำ จะมีขีดบอกปริมาณน้ำให้พอดีกับปริมาณข้าว ทำให้การหุงข้าวสะดวกสบายขึ้น และหุงได้ทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ทั้งยังรักษาคุณค่าอาหารไว้ด้วย เนื่องจากไอน้ำในหม้อหุงข้าวไฟฟ้ามีแรงดันระดับหนึ่งที่ทำให้เมล็ดข้าวได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ แป้งเบต้าในข้าวจะเปลี่ยนเป็นแป้งแอลฟา ซึ่งร่างกายจะย่อยได้ง่ายกว่า นอกจากนี้หม้อหุงข้าวมีฝาปิดแน่น สารอาหารอื่นในเมล็ดข้าวจึงไม่หายไปไหน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการพัฒนากรรมวิธีการทำข้าวหุงสุกเร็วของ Smith et al. (1985) จะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การทำให้ข้าวชุ่มน้ำหรือการแช่น้ำ (soaking) การให้ความร้อน (cooking) การทำแห้ง (drying) การคืนรูปหรือการคืนตัวของข้าวในน้ำ (rehydration) และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ทั้งนี้ขั้นตอนการแช่น้ำ การให้ความร้อนและการทำแห้งนั้นจะมีผลกระทบต่อลักษณะการคืนตัวและการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Cox and Cox, 1975 in Smith et al., 1985) อย่างไรก็ตามการแช่ข้าวในสารละลายของโซเดียมซิเตรท (sodium citrate) และแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 50°C ประกอบกับการทำแห้งโดยใช้การระเหิด (freeze drying) และการทำแห้งในตู้อบลมร้อน (convective air drying) สามารถช่วยพัฒนากรรมวิธีการทำข้าวหุงสุกเร็วของ Smith et al. (1985) ได้

ศิวาพร ศิวเวช และ อุดม กาญจนปกรณชัย (2546) ได้ศึกษาการใช้สารเคมีช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของข้าวกล้องสำเร็จรูป ทั้งนี้พบว่าการแช่ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ในสารละลายผสมของ sodium hexametaphosphate ความเข้มข้น 0.5% กับกลีเซอรอลและ Tween 60 (อัตราส่วน 1:2) ความเข้มข้น 0.5% สามารถช่วยปรับปรุงการคืนรูปของข้าวกล้องสำเร็จรูปได้ดีที่สุด

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- น้ำดื่มตราแสงจันทร์ (อ.สันทราย จ.เชียงใหม่)
- ถาดสเตนเลส
- ถาดอะลูมิเนียม
- ผ้าขาวบาง
- คลิปหนีบผ้าสเตนเลส
- กระบอกตวง
- ลังถึง
- บีกเกอร์ (beaker)
- แท่งแก้วคนสาร
- ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask)
- ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- บิวเรต (burette)
- ชุดกรองสุญญากาศ (buchner funnel)
- กระจกนาฬิกา
- หลอดหยด (dropper)
- กระดาษกรอง

3.1.2 เครื่องมือ

- ตู้อบลมร้อน (Memmert, W350)
- เตาเผาถ้ำ (Lentonthermal design, AWF130-12, บริษัทไฮทรอนิค จำกัด)
- เครื่อง Soxhlet extraction (D-69126, Isopad GmbH, Englerstr, Heidelberg, Germany)
- เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Kjeldahl system (ประกอบด้วย Kjelttec system1026 Distillating unit, Digestor unit และ Exhaust system 1013 Scrobber snit)
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Sartorius, LA 230S)
- เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดสี (Tri-Stimulus Colorimeter, JC 801)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Perkin Elmer, Lambda 2S)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Heto, SBD 50)

- กล้องจุลทรรศน์ (Olympus, CH-BI45-2)
- หม้อนิ่งความดัน (All American, 1941x)
- เครื่องอบแห้งแบบระเหิด (FTS system, Kinetics thermal systems)
- เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter)
- บั้มสุญญากาศ

3.1.3 สารเคมี

- โซเดียมคาร์บอเนต (anhydrous sodium carbonate, Na_2CO_3)
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)
- เมทิลเรด (methyl red)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH)
- กรดบอริก (boric acid, H_3BO_3)
- กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl)
- โบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green)
- เอทานอล (ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
- โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate, Na_2SO_4)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate, CuSO_4)
- เซเลเนียมไดออกไซด์ (selenium dioxide, SeO_2)
- ปีโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether)
- น้ำกลั่น
- อะซิโตน (acetone)
- โซเดียมซิเตรท (sodium citrate)
- แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride)
- เอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส (α -amylase, heat-stable)
- เอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดส (amylglucosidase)
- เอนไซม์โปรตีเอส (protease)

3.2 วัตถุดิบ

ข้าวหอมมะลิแดงกลองที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นผลิตภัณฑ์ปลอดสารพิษ (เนเจอร์โชน) จากร้าน ก.สวรยกร กรุงเทพฯ ที่มีการรวบรวมข้าวจากเกษตรกรในแถบจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2547

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของข้าวหอมมะลิแดงกลอง (ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร) ได้อาศัยวิธีมาตรฐานตามที่ระบุใน Official Methods of Analysis (AOAC, 1995) ซึ่งมีรายละเอียดดังระบุในภาคผนวก ก

3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะต่างๆ ของเมล็ดข้าวในกระบวนการทำข้าวหุงสุกเร็ว แบ่งการศึกษาเป็น 3 ตอน ได้แก่

3.4.1 ตอนที่ 1 การแช่ข้าว โดยศึกษาใน 3 ปัจจัย ได้แก่

A: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%

B: อุณหภูมิการแช่ที่ 25 และ 50°C

C: เวลาการแช่ที่ 30 และ 60 นาที

น้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเป็นน้ำที่ได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (น้ำดื่มแสงจันทร์ เชียงใหม่) ส่วนสารเคมีที่ใช้เป็นระดับสารเคมีที่ใช้ได้ในอาหาร (Food grade)

ตัวอย่างข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งที่ผ่านการศึกษานี้ จะถูกสุ้มเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับน้ำและการพองตัว (Smith *et al.*, 1985) การทดลองในตอนนี้อยู่ภายใต้การจัดการสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล (3x2x2) และวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยทำการทดลองทั้งสิ้น 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

3.4.2 ตอนที่ 2 การให้ความร้อน โดยศึกษาการให้ความร้อนด้วยวิธีต่างๆ แก่ข้าวที่ผ่านการแช่แล้ว ได้แก่

H1: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 10 นาที

H2: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 15 นาที

H3: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 2 นาที

H4: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 3 นาที

ตัวอย่างข้าวที่ผ่านการแช่ในขั้นตอนที่ 1 จะถูกทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 15 นาที และหลังจากการผ่านความร้อนในลักษณะต่างๆ ตัวอย่างข้าวจะถูกสุ้มเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับน้ำ การพองตัว (Smith *et al.*, 1985) และลักษณะการเกิดเจลลิกในเซชันโดยอาศัยการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ (ดัดแปลงจาก Smith *et al.*, 1985) อาศัยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

3.4.3 ตอนที่ 3 การทำแห้ง โดยนำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วมาผ่านการระเหยน้ำในลักษณะต่างๆ ได้แก่

D1: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน

D2: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน

D3: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมสุญญากาศ

D4: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมสุญญากาศ

D5: การทำแห้งที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -20°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

ตัวอย่างข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ข้างต้นหรือข้าวหุงสุกไว้ จะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่ ก่อนการเก็บรักษาในถุงพลาสติก (polyethylene, PE) เพื่อการตรวจวิเคราะห์ในด้านการคั่วตัว และทางประสาทสัมผัสต่อไป สำหรับการทดลองในส่วนนี้ ได้อาศัยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

3.5 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว

3.5.1 การคั่วตัวของเมล็ดข้าว (Smith *et al.*, 1985)

ตัวอย่างข้าวหุงสุกไว้ที่ผ่านการทำแห้งแล้วจะถูกสุ่มขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์การคั่วตัว โดยตัวอย่างข้าวที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 10 กรัม จะนำมาให้ความร้อนในน้ำเดือด 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่เวลาต่างๆ โดยปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษห่อ เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้นำไปหาปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณการพองตัวต่อไป

3.5.2 ปริมาณการดูดซับน้ำ (Smith *et al.*, 1985)

ตัวอย่างข้าวที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 10 กรัม (น้ำหนักก่อนการคั่วตัว) เมื่อผ่านการแช่น้ำ (ตอนที่ 1) การให้ความร้อน (ตอนที่ 2) และการคั่วตัว (ตอนที่ 3) จะถูกจะนำมาผ่านการกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศเป็นเวลาประมาณ 30-60 วินาที หรือจนไม่มีน้ำหยดออกจากกรวยกรอง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกเป็นน้ำหนักหลังการคั่วตัว และคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำตามสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการคั่วตัว} - \text{น้ำหนักก่อนการคั่วตัว}}{\text{น้ำหนักก่อนการคั่วตัว}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.5.3 ปริมาณการพองตัวหรือปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Smith *et al.*, 1985)

ตัวอย่างข้าวที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 10 กรัม ทั้งก่อนนำมาทำการทดลอง (วัตถุดิบเริ่มต้น) และก่อนการคั่วตัว (ข้าวหุงสุกไว้) จะถูกนำมาวัดปริมาตรในกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร โดยจะกระแทกกระบอกตวงดังกล่าวในระดับความสูงจากพื้นโต๊ะประมาณ 30 เซนติเมตร จำนวน 3 ครั้ง ลงบนผ้าขนหนู จากนั้นจึงอ่านปริมาตรของข้าว และบันทึกเป็นปริมาตรเริ่มต้น ส่วนข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ (ตอนที่ 1) หลังการให้ความร้อน (ตอนที่ 2) และหลังการคั่วตัว (ตอนที่ 3) จะถูกนำมาวัดปริมาตรตามวิธีข้างต้นเช่นกัน แต่บันทึกเป็นปริมาตรสุดท้าย และคำนวณปริมาณการพองตัวหรือปริมาตรที่เพิ่มขึ้นตามสมการที่ 3.2

$$\text{ปริมาณการพองตัว (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรสุดท้าย} - \text{ปริมาตรเริ่มต้น}}{\text{ปริมาตรเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.5.4 การเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าว (ดัดแปลงจาก Smith *et al.*, 1985)

ตัวอย่างเมล็ดข้าวจะถูกนำมาตัดขวางด้วยใบมีดโกน ให้มีความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นย้อมสีด้วยสารละลาย congo red ความเข้มข้น 5% นำส่วนตัดขวางที่ย้อมสีแล้วมาตรวจดูปริมาณการเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยส่วนที่ทึบแสงจะหมายถึงส่วนที่ไม่เกิดการเจลลิตีในเซชัน และส่วนที่โปร่งแสงจะหมายถึงส่วนที่เกิดการเจลลิตีในเซชันของแป้งในเมล็ดข้าว

3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

กระบวนการผลิตที่ทำให้ได้ตัวอย่างข้าวหุงสุกไว้ที่มีคุณภาพดีที่สุด 2 กระบวนการ จะถูกคัดเลือกเพื่อทำการผลิตข้าวหุงสุกไว้ เพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส สำหรับในการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้ จะใช้การผสมข้าวหุงสุกไว้ที่ได้จากข้าวหอมมะลิแดงกลองกับข้าวหอมมะลิ ในอัตราส่วน 2 ต่อ 7 โดยมีน้ำหนักข้าวรวม กรัม เติมน้ำ 180 มิลลิลิตร ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (National, SR-30G) เป็นเวลาประมาณ 17 นาที ข้าวสวยที่ได้จะนำมาผ่านการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 50 คน โดยจะมีการทดสอบในด้าน สีของข้าวแดง สัดส่วนของข้าวแดงและข้าวขาว ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความนุ่มของข้าวแดง การยอมรับในด้านความนุ่ม การยอมรับรวม และการจัดลำดับตัวอย่างตามความชอบ (ranking) โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ระบุในภาคผนวก ข ทั้งนี้จะเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ข้าวหอมมะลิแดงกลองที่ไม่ผ่านกระบวนการผลิต หรือนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการศึกษานี้ในการผสมกับข้าวหอมมะลิ และผ่านการให้ความร้อนตามที่ระบุข้างต้น

สำหรับการทดลองในส่วนนี้ ได้อาศัยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดที่มีการบล็อกผู้บริโภค (RCBD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี

ข้าวหอมมะลิแดงกล้องเป็นข้าวหอมมะลิแดงที่ผ่านการกะเทาะเปลือกเพียงอย่างเดียว มีสีน้ำตาลแดง ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี (ตารางที่ 4.1) พบว่าตัวอย่างข้าวดังกล่าวมีปริมาณใยอาหารสูงถึง 5.60% ซึ่งสูงกว่าใยอาหารในข้าวกล้องทั่วไปที่มีปริมาณใยอาหารประมาณ 2.9-3.9% (Juliano, 1993) ใยอาหารดังกล่าวเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำซึ่งมักเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ที่พบในผนังเซลล์ของพืช ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้แต่จะช่วยให้ระบบการขับถ่ายให้ดีขึ้นได้ โดยใยอาหารเหล่านี้จะช่วยเพิ่มน้ำหนักอุจจาระ ช่วยเจือจางปริมาณสารพิษในลำไส้ใหญ่ และทำให้การย่อยสารต่างๆ โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่เป็นไปโดยปกติ เป็นการลดการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่และโรคถุงตันที่ลำไส้ใหญ่ได้ โดยทั่วไปใยอาหารที่พบในข้าวกล้องมักอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งมักมีอิทธิพลต่อการแพร่ผ่านของน้ำเข้าไปยังส่วนเนื้อเมล็ด

นอกจากนี้ในข้าวหอมมะลิแดงกล้องยังมีปริมาณโปรตีนและไขมันประมาณสูงถึง 6.45% และ 3.16% ตามลำดับ ซึ่งในข้าวกล้องโดยทั่วไปจะมีปริมาณโปรตีน 7.1-8.3% และไขมัน 1.6-2.8% (Juliano, 1993) ซึ่งไขมันที่พบจะเป็นไขมันที่มีในส่วนของคัพภะที่ยังคงติดอยู่กับเมล็ดข้าวหลังจากผ่านขั้นตอนการกะเทาะเปลือก

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง

องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี	ปริมาณ (%)
ความชื้น	11.00 ± 0.09
เถ้า	1.13 ± 0.04
โปรตีน (Nx5.7)	6.45 ± 0.25
ไขมัน	3.16 ± 0.17
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้	0.00 ± 0.00
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	5.60 ± 0.59
คาร์โบไฮเดรต (ที่ไม่ใช่ใยอาหาร)	72.66 ± 0.89

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวในกระบวนการทำข้าวหุงสุกเร็ว

จากการศึกษาการดูดซับน้ำของข้าวหอมมะลิแดงกล้อง พบว่าระดับสารเคมีผสมระหว่าง โซเดียมซิเตรทและแคลเซียมคลอไรด์ (A) อุณหภูมิการแช่ (B) และเวลาในการแช่ (C) มีผลต่อการดูดซับน้ำของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) โดยเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิการแช่ 25°C เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.3) อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิในการแช่ข้าว 50°C พบว่าระดับสารเคมีผสมระหว่างโซเดียมซิเตรทและแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการดูดซับน้ำของข้าวแต่อย่างใด จึงส่งผลให้ทิศทางการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิดังกล่าวแตกต่างกัน (interaction) โดยทั่วไปอนุภาคแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าวจะยึดติดกันแน่นเป็นร่างแหและขัดขวางการดูดซับน้ำ การใช้สารละลายผสมของโซเดียมซิเตรทและแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถทำลายร่างแห หรือปรับโครงสร้างของแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าว ทำให้แป้งและเมล็ดข้าวเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น (Cox and Cox, 1975) นอกจากนี้เมื่อแช่ข้าวในเวลานานขึ้น (จาก 30 นาที เป็น 60 นาที) ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ($P < 0.01$) แสดงว่าน้ำสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวหอมมะลิแดงกล้องได้ แต่อาจมีอัตราการแพร่ต่างจากในข้าวสารที่ผ่านการขัดสีทั่วไป จากการศึกษาของ Smith et al. (1983) พบว่าการแช่เมล็ดข้าว

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำในข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	11	747.63	67.97	12.03	0.0001 **
- A	2	116.49	58.24	10.31	0.0001 **
- B	1	382.12	382.12	67.63	0.0001 **
- C	1	113.93	113.93	20.17	0.0001 **
- A*B	2	124.78	62.39	11.04	0.0001 **
- A*C	2	5.58	2.79	0.49	0.6125
- B*C	1	1.40	1.40	0.25	0.6201
- A*B*C	2	3.32	1.66	0.29	0.7463
Error	60	338.99	5.65		
Corrected total	71	1086.62			

หมายเหตุ: - A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมซิเตรทและแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4.3 ปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกลองที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ

สารละลาย โซเดียมซัลเฟตและ แคลเซียมคลอไรด์	อุณหภูมิการแช่ที่ 25°C		อุณหภูมิการแช่ที่ 50°C		ค่าเฉลี่ยจากผล ของสารละลาย
	30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที	
0%	17.08	19.41	22.75	26.73	21.49 ^a ± 4.20
1%	17.83	20.18	24.02	26.86	22.22 ^b ± 4.01
3%	23.02	25.05	24.14	25.71	24.48 ^c ± 1.17
ค่าเฉลี่ยจากผลของ อุณหภูมิการแช่	20.43 ^y ± 3.07		25.04 ^x ± 1.66		

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{x-y} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัวในข้าวหอมมะลิแดงกลองที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	11	2123.95	193.09	1.54	0.1403
- A	2	225.62	112.811	0.90	0.0074 **
- B	1	960.46	960.46	7.67	0.2150
- C	1	394.74	197.37	1.58	0.1771
- A*B	2	233.46	233.46	1.87	0.6432
- A*C	2	111.27	55.63	0.44	0.9071
- B*C	1	1.72	1.72	0.01	0.4604
- A*B*C	2	196.67	98.33	0.79	
Error	60	7509.58	125.16		
Corrected total	71	9633.53			

หมายเหตุ: - A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ที่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณการดูดซับสูงถึง 34% เมื่อผ่านการแช่ที่ 50°C ในสารละลายผสมของ โซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ (1:1) ที่ระดับความเข้มข้น 1% ในเวลาเพียง 15 นาทีเท่านั้น ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าเยื่อหุ้มเมล็ดในข้าวกล้องเป็นปัจจัยหนึ่งที่ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เมล็ดได้

อุณหภูมิการแช่ข้าวมีผลให้ทั้งการดูดซับน้ำและการพองตัวของเมล็ดข้าวสูงขึ้น โดยข้าวที่ผ่านการแช่ที่ 25°C จะมีการพองตัวต่ำกว่าที่ 50°C ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการขยายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ในส่วนเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ด ทำให้เกิดช่องว่างที่น้ำสามารถแพร่เข้าไปยังส่วนเนื้อเมล็ดได้ โดยที่อุณหภูมิสูงทำให้การขยายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมากขึ้นส่งผลให้น้ำซึมผ่านได้ดีขึ้น ประกอบกับที่อุณหภูมิการแช่ 50°C โมเลกุลของน้ำมีพลังงานสูงกว่าที่ 25°C ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและมีการเคลื่อนที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามเวลาการแช่ที่นานขึ้นจาก 30 นาที เป็น 60 นาทีไม่ส่งผลใดๆ ต่อการพองตัวของเมล็ดข้าว (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะต่างๆ

สารละลาย โซเดียมซัลเฟตและ แคลเซียมคลอไรด์	อุณหภูมิการแช่ที่ 25°C		อุณหภูมิการแช่ที่ 50°C		ค่าเฉลี่ยจากผล ของสารละลาย
	30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที	
0%	35.19	37.65	39.50	51.23	40.80 ^{ns} ± 7.11
1%	34.57	40.12	50.00	48.77	43.67 ^{ns} ± 7.33
3%	43.83	45.68	45.06	46.30	45.22 ^{ns} ± 1.05
ค่าเฉลี่ยจากผลของ อุณหภูมิการแช่	39.51 ^y ± 4.55		46.81 ^x ± 4.25		

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{x-y} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การแช่ข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่อุณหภูมิสูงขึ้น (50°C) ที่เวลา 30 และ 60 นาที ส่งผลให้สีของสารละลายที่แช่มีสีน้ำตาลแดงเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาได้จากค่าความสว่าง (L*) ที่มีค่าลดลงหรือมีลดลง ค่าของสีเขียว-แดง (a*) ที่เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงมีความเป็นสีแดงสูงขึ้น และค่าของสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ที่สูงขึ้นซึ่งแสดงถึงตัวอย่างน้ำที่แช่มีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการละลายของรงควัตถุในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดที่สามารถละลายได้ในน้ำ อย่างไรก็ตาม การแช่ข้าวในสารละลายผสมของโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ ในระดับความเข้มข้นสูงขึ้น พบว่าน้ำที่ผ่านการแช่จะมีค่าของสีแดงและสีเหลืองน้อยกว่าน้ำที่ไม่มีส่วนผสมของสารละลายดังกล่าว กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ โซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์อาจมีสมบัติช่วยในการตรึงสีของเมล็ดข้าวให้มีการละลายในน้ำลดลง และจากการวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) พบว่าน้ำที่มี

ส่วนผลของสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ ที่ 0%, 1% และ 3% จะมีค่าประมาณ 6.44, 6.25, และ 6.30 ตามลำดับ ซึ่ง von Elbe และ Schwartz (1996) รายงานว่ารังควัตถุในกลุ่มเฟลวานอยด์จะมีความเสถียรขึ้นในสภาพที่มีความเป็นกรด หรืออีกนัยหนึ่งคือที่สภาพความเป็นกรดอ่อนนี้ คาดว่าจะช่วยในด้านการตรึงสีของเมล็ดข้าวดังกล่าวย่างขึ้นได้

ตารางที่ 4.6 ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำที่แช่ข้าวหอมมะลิแดงกลองในสภาวะต่างๆ

สารละลาย โซเดียมซัลเฟตและ แคลเซียมคลอไรด์	อุณหภูมิการแช่ที่ 25°C		อุณหภูมิการแช่ที่ 50°C		ค่าเฉลี่ยจากผล ของสารละลาย
	30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที	
0%	94.81	92.45	86.08	81.94	88.82 ^b ± 5.33
1%	87.78	87.54	92.88	90.24	89.61 ^b ± 5.37
3%	97.16	94.42	92.44	87.23	92.81 ^a ± 4.61
ค่าเฉลี่ยจากผลของ อุณหภูมิการแช่	92.36 ^x ± 5.54		88.47 ^y ± 4.39		

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a,b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{x,y} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของน้ำที่แช่ข้าวหอมมะลิแดงกลองในสภาวะต่างๆ

สารละลาย โซเดียมซัลเฟตและ แคลเซียมคลอไรด์	อุณหภูมิการแช่ที่ 25°C		อุณหภูมิการแช่ที่ 50°C		ค่าเฉลี่ยจากผล ของสารละลาย
	30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที	
0%	11.02	11.95	16.49	18.13	14.40 ^a ± 3.06
1%	9.86	10.05	12.09	12.68	11.17 ^b ± 1.29
3%	9.34	9.55	10.89	11.36	10.28 ^c ± 0.88
ค่าเฉลี่ยจากผลของ อุณหภูมิการแช่	10.29 ^y ± 0.94		13.61 ^x ± 2.76		

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a,c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{x,y} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.8 ค่าความเป็นสื่อน้ำเงิน-สีเหลือง (b^*) ของน้ำที่แช่ข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งในสภาวะต่างๆ

สารละลาย โซเดียมซัลเฟตและ แคลเซียมคลอไรด์	อุณหภูมิการแช่ที่ 25°C		อุณหภูมิการแช่ที่ 50°C		ค่าเฉลี่ยจากผล ของสารละลาย
	30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที	
0%	11.50	14.55	25.93	31.51	20.87 ^a ± 8.35
1%	11.42	12.58	16.66	19.92	15.14 ^b ± 3.71
3%	7.52	8.95	13.61	17.10	11.80 ^c ± 3.90
ค่าเฉลี่ยจากผลของ อุณหภูมิการแช่	11.08 ^y ± 2.60		20.79 ^x ± 6.21		

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{x-y} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.9 ผลของการให้ความร้อนลักษณะต่างๆ ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกลิ้ง

ข้าวที่ผ่านการแช่แบบต่างๆ	การให้ความร้อน			
	นิ่ง 10 นาที	นิ่ง 15 นาที	121°C 15 psi 2 นาที	121°C 15 psi 3 นาที
1. A 0%, B 25°C, C 30 นาที	25.69	26.56	27.51	26.70
2. A 0%, B 25°C, C 60 นาที	27.08	29.89	29.54	30.91
3. A 0%, B 50°C, C 30 นาที	31.31	32.78	32.51	32.80
4. A 0%, B 50°C, C 60 นาที	36.70	34.89	35.20	34.85
5. A 1%, B 25°C, C 30 นาที	25.22	25.46	27.81	27.16
6. A 1%, B 25°C, C 60 นาที	27.55	26.86	29.42	28.65
7. A 1%, B 50°C, C 30 นาที	30.65	35.71	35.13	35.29
8. A 1%, B 50°C, C 60 นาที	34.59	40.90	38.86	39.06
9. A 3%, B 25°C, C 30 นาที	37.38	37.90	40.32	35.32
10. A 3%, B 25°C, C 60 นาที	35.13	34.97	42.28	38.25
11. A 3%, B 50°C, C 30 นาที	36.92	36.62	35.92	34.73
12. A 3%, B 50°C, C 60 นาที	40.03	44.36	37.40	34.37
ค่าเฉลี่ยจากผลของ การให้ความร้อน ^{ns}	32.38 ± 5.11	33.59 ± 5.87	35.04 ± 4.98	33.17 ± 4.04

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการให้ความร้อนแก่มะลิตข้าวด้วยวิธีการึ่งด้วยไอน้ำในสภาพบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที และด้วยหม้อึ่งความดัน (autoclave) ที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการดูดซับน้ำและการพองตัว ($P>0.05$) ของมะลิตข้าวที่ผ่านการแช่ในสภาวะต่าง ๆ ทั้งกล่าวข้างต้นและผ่านความร้อนทั้ง 4 ลักษณะไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10) อย่างไรก็ตามมะลิตข้าวที่ผ่านความร้อนในขั้นตอนนี้จะมียปริมาณการดูดซับน้ำและการพองตัวโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากก่อนการให้ความร้อนประมาณ 8-17% และ 11-32% ตามลำดับ แสดงว่าข้าวสามารถดูดซับความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้ความร้อนได้ นั่นคือความร้อนที่ให้อในขั้นตอนนี้นอกจากจะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการเจลาทิไนเซชันในมะลิตข้าวแล้ว ยังเสริมให้เกิดการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยน้ำดังกล่าวจะเป็นไอน้ำที่เกิดขึ้นภายในหม้อความดันหรือถึงที่สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มมะลิตข้าวได้ อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนด้วยการึ่งด้วยไอน้ำในสภาพบรรยากาศปกติในเวลาเพียง 10-15 นาที ไม่สามารถทำให้แป้งในมะลิตข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งเกิดการเจลาทิไนเซชันอย่างสมบูรณ์ได้ (ตารางที่ 4.11) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งที่ใช้ในการศึกษานี้ มีชั้นของเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มมะลิตค่อนข้างหนา จึงสามารถขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากผิวมะลิตเข้าสู่เนื้อมะลิตที่มีองค์ประกอบของแป้งได้ สำหรับลักษณะการเกิดเจลาทิไนเซชันของมะลิต

ตารางที่ 4.10 ผลของการให้ความร้อนลักษณะต่างๆ ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกลิ้ง

ข้าวที่ผ่านการแช่แบบต่างๆ	การให้ความร้อน			
	ึ่ง 10 นาที	ึ่ง 15 นาที	121°C 15 psi 2 นาที	121°C 15 psi 3 นาที
1. A 0%, B 25°C , C 30 นาที	46.92	47.53	51.24	46.91
2. A 0%, B 25°C , C 60 นาที	47.53	53.70	53.70	55.56
3. A 0%, B 50°C , C 30 นาที	55.55	61.11	58.64	58.64
4. A 0%, B 50°C , C 60 นาที	64.81	63.58	65.43	67.28
5. A 1%, B 25°C , C 30 นาที	48.77	48.77	51.23	49.38
6. A 1%, B 25°C , C 60 นาที	50.62	48.15	57.41	53.70
7. A 1%, B 50°C , C 30 นาที	58.02	59.88	69.14	66.66
8. A 1%, B 50°C , C 60 นาที	62.34	70.37	72.84	71.60
9. A 3%, B 25°C , C 30 นาที	67.28	70.37	72.22	72.84
10. A 3%, B 25°C , C 60 นาที	62.34	66.67	78.40	78.40
11. A 3%, B 50°C , C 30 นาที	67.90	64.82	66.05	70.37
12. A 3%, B 50°C , C 60 นาที	69.75	79.01	72.22	70.99
ค่าเฉลี่ยจากผลของ การให้ความร้อน ^{ns}	58.49 ± 8.43	61.16 ± 10.02	64.04 ± 9.33	63.53 ± 10.27

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

-^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

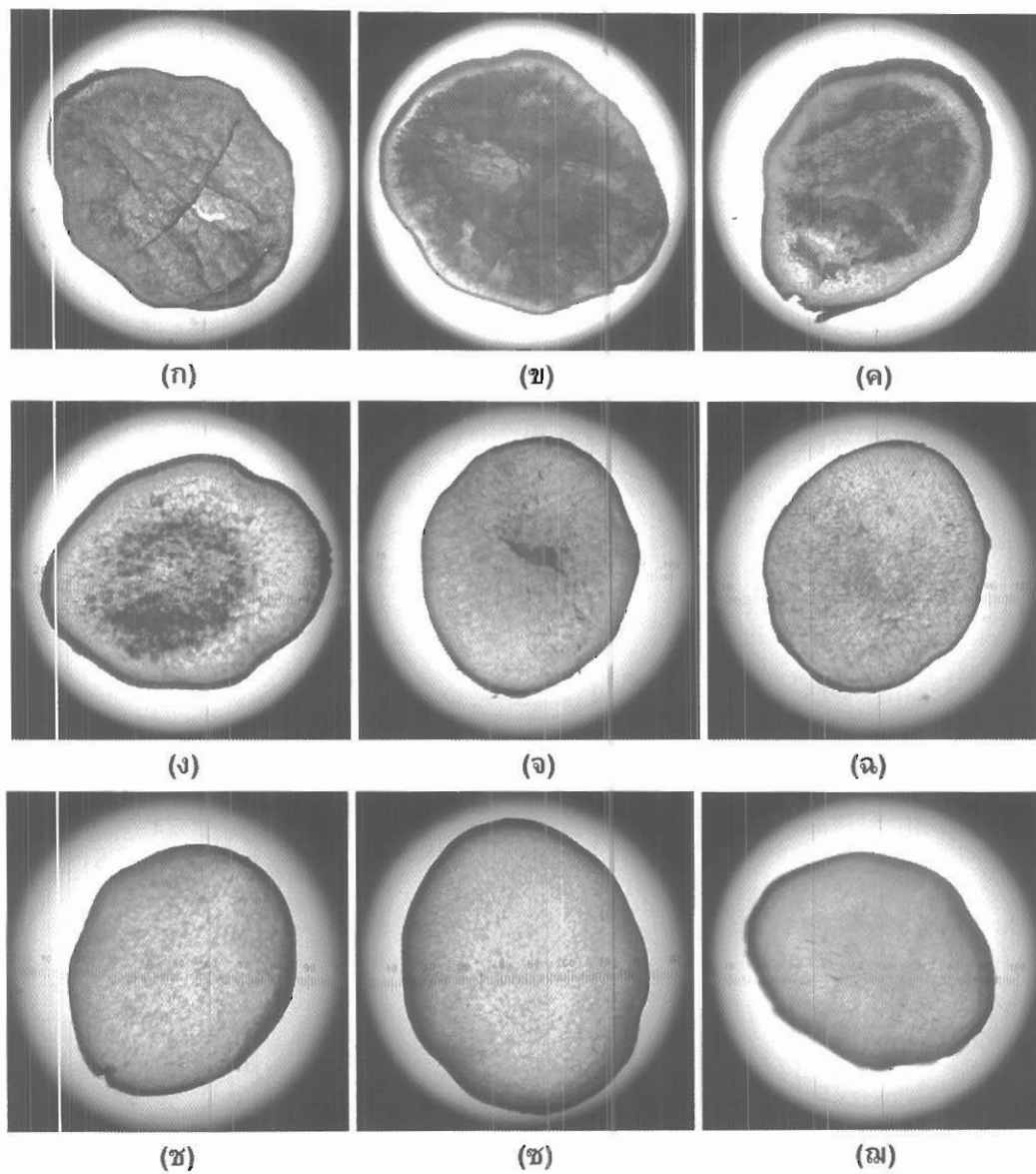
ข้าวสามารถพิจารณาได้จากภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งถ้าเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนเซชันที่ไม่สมบูรณ์ จะสังเกตเห็นลักษณะที่ทึบแสงของแป้งดิบ (ภาพที่ 4.1 (ก) – (ง)) ในทางตรงกันข้ามเมื่อส่วนของแป้งในเมล็ดข้าวสามารถเกิดเจลาทิไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์แล้ว เม็ดแป้งจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปและมีลักษณะโปร่งแสงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (ข) (ค) และ (ง) ซึ่งจะสังเกตพบได้ในตัวอย่างข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อหุงภายใต้ความดัน 15 psi กล่าวคือในสภาพที่มีความดันสูงกว่าในสภาพบรรยากาศปกติ นอกจากจะทำให้เม็ดแป้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ได้แล้ว ยังสามารถเร่งให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้เม็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith, et al. (1985) ที่พบว่าการให้ความร้อนในหม้อหุงความดันจะเป็นการเร่งอัตราการเกิดเจลาทิไนเซชันของเมล็ดข้าวได้

อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่มีในเมล็ดข้าวก่อนการให้ความร้อนจัดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบโดยตรงกับลักษณะการเกิดเจลาทิไนเซชัน ในตัวอย่างข้าวหอมมะลิแดงกลองที่ผ่านการแช่น้ำจมน้ำมีปริมาณการดูดซับในช่วง 23-27% (ตัวอย่างที่ 1, 2, 5, และ 6 ที่ผ่านการแช่ที่ 25°C ในตารางที่ 4.11) พบว่าสามารถทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาทิไนเซชันได้ประมาณ 70-80% เมื่ออาศัยการให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi (2-3 นาที) แต่เมื่อปริมาณการดูดซับในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 30% หรือมากกว่า จะสามารถประยุกต์ใช้หม้อหุงความดันในการให้ความร้อนได้ โดยใช้เวลาเพียง 2-3 นาทีเท่านั้น อาจกล่าวได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชันของข้าวจะขึ้นกับปริมาณน้ำในเมล็ด

ตารางที่ 4.11 ผลของการให้ความร้อนลักษณะต่างๆ ต่อการเกิดเจลาทิไนเซชัน (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกลอง

ข้าวที่ผ่านการแช่แบบต่างๆ	การให้ความร้อน			
	นิ่ง 10 นาที	นิ่ง 15 นาที	121°C 15 psi 2 นาที	121°C 15 psi 3 นาที
1. A 0%, B 25°C, C 30 นาที	<50	<50	<50	<50
2. A 0%, B 25°C, C 60 นาที	<50	<50	<50	<50
3. A 0%, B 50°C, C 30 นาที	<50	<50	95	100
4. A 0%, B 50°C, C 60 นาที	<50	<50	95	100
5. A 1%, B 25°C, C 30 นาที	<50	<50	80	70
6. A 1%, B 25°C, C 60 นาที	<50	<50	80	70
7. A 1%, B 50°C, C 30 นาที	<50	<50	100	95
8. A 1%, B 50°C, C 60 นาที	<50	<50	100	95
9. A 3%, B 25°C, C 30 นาที	<50	<50	90	100
10. A 3%, B 25°C, C 60 นาที	<50	<50	95	95
11. A 3%, B 50°C, C 30 นาที	<50	<50	100	95
12. A 3%, B 50°C, C 60 นาที	<50	<50	95	100

หมายเหตุ: - ปริมาณการเกิดเจลาทิไนเซชันของเมล็ดข้าว (%) อาศัยภาพตัดขวางในภาพที่ 4.1 เป็นมาตรฐานในการให้คะแนน



ภาพที่ 4.1 ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวแสดงการเกิดเจลลาตินในเซชันในระดับต่างๆ

โดย (ก) (ข) (ค) = ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชันน้อยกว่า 50%

(ง) = ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชัน 50%

(จ) = ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชัน 70%

(ฉ) = ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชัน 90%

(ช) (ซ) (ฌ) = ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชัน 100%

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าความสว่าง (L*) ของข้าวหอมมะลิแดง กล้องหุงสุกเร็ว

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	54772.56	3042.92	321.90	0.0001 **
- A	2	30846.06	15423.03	1631.56	0.0001 **
- B	1	2413.91	2413.91	255.36	0.0001 **
- A*B	2	6135.38	3067.69	324.52	0.0001 **
- C	1	119.69	119.69	12.66	0.0004 **
- A*C	2	87.36	43.68	4.62	0.0100 *
- B*C	1	101.15	101.15	10.70	0.0011 **
- A*B*C	2	9.41	4.70	0.50	0.6080
- D	3	5499.38	1833.13	193.92	0.0001 **
- E	4	9560.21	2390.05	252.84	0.0001 **
Error	1421	13432.61	9.45		
Corrected total	1439	68205.17			

หมายเหตุ: - A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาฬิกา และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาฬิกา)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ข้าวและการถ่ายเทความร้อนจากผิวเมล็ดสู่ส่วนของแป้งที่อยู่ภายในเมล็ด ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าการแช่ข้าวให้มีปริมาณการดูดซับน้ำต่ำกว่า 30% และอาศัยการให้ความร้อนด้วยหม้อหุงข้าวความดันจะสามารถทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเจลลิ่งในเซชันอย่างสมบูรณ์ได้

ตัวอย่างข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่ผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนแล้ว จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ เพื่อนำไปลดความชื้นหรือทำให้แห้ง เพื่อให้สะดวกในการเก็บรักษาละขนส่ง โดยลักษณะการทำแห้งที่สนใจประกอบด้วยการทำแห้งภายใต้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และการทำแห้งโดยอาศัยการระเหิดของน้ำที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ข้าวที่ผ่านการทำแห้งแล้วจะมี

ปริมาณความชื้นประมาณ 9-11% และมีสีที่แตกต่างกัน เช่น สีแดง สีแดงเข้ม สีม่วงแดง และสีน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งค่าสีของข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วนี้มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.12 - ตารางที่ 4.19

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วนี้พบว่าทุกปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองนี้จัดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความสว่างของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ อุณหภูมิ เวลาในการแช่ ลักษณะการให้ความร้อนในการทำให้สุกรวมถึงวิธีการที่ใช้ในการทำแห้งข้าว ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.12 ตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	6999.65	388.87	83.85	0.0001 **
- A	2	3465.08	1732.54	373.59	0.0001 **
- B	1	22.16	22.16	4.78	0.0290 *
- A*B	2	424.16	212.08	45.73	0.0001 **
- C	1	19.79	19.79	4.27	0.0390 *
- A*C	2	63.48	31.74	6.84	0.0011 **
- B*C	1	13.08	13.09	2.82	0.0932
- A*B*C	2	10.16	5.08	1.10	0.3347
- D	3	1946.86	648.95	139.93	0.0001 **
- E	4	1034.86	258.72	55.79	0.0001 **
Error	1421	6589.99	4.64		
Corrected total	1439	13589.64			

- หมายเหตุ
- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ของข้าวหอมมะลิแดง กล้องหุงสุกเร็ว

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	16488.04	916.00	343.59	0.0001 **
- A	2	10129.67	5064.83	1899.80	0.0001 **
- B	1	70.09	70.09	26.29	0.0001 **
- A*B	2	1202.33	601.16	225.49	0.0001 **
- C	1	32.48	32.47	12.18	0.0005 **
- A*C	2	16.21	8.11	3.04	0.0481 *
- B*C	1	23.80	23.80	8.93	0.0029 **
- A*B*C	2	13.55	6.77	2.54	0.0792
- D	3	2922.95	974.32	365.46	0.0001 **
- E	4	2076.97	519.24	194.77	0.0001 **
Error	1421	3788.37	2.66		
Corrected total	1439	20276.41			

หมายเหตุ:

- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
- B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
- C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
- D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
- E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
- * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ผลเบื้องต้นจะไม่ให้ความสำคัญกับ interaction ต่างๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบถึงปัจจัยหลักที่มีผลกระทบจริงกับค่าสีในผลิตภัณฑ์สุดท้าย จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวมีผลกระทบต่อค่าสีต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ โดยการแช่ข้าวในสารละลายผสมของโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงส่งผลให้ข้าวมีสีแดงซีดลง และลักษณะของสีเหลืองลดลงหรือมีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสีของข้าวที่ผ่านการแช่ในน้ำสะอาดเพียงอย่างเดียว ที่เป็นเช่นนั้นอาจเป็นผลเนื่องจากสภาพความเป็นกรดอ่อนของสารละลายที่แตกต่างกันดังกล่าวข้างต้น สำหรับปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวพบว่า การแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้นและในเวลานานขึ้นจะ

ตารางที่ 4.15 ผลของความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการแช่ต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว-แดง (a*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว

ความเข้มข้นของ สารละลาย (%)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	30.97 ^c ± 4.33	15.40 ^a ± 2.29	11.65 ^a ± 2.89
1	33.81 ^b ± 3.76	13.57 ^b ± 2.09	9.49 ^b ± 2.57
3	41.90 ^a ± 6.72	11.60 ^c ± 3.39	5.27 ^c ± 2.49

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว-แดง (a*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว

อุณหภูมิ (°C)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
25	36.85 ^a ± 7.92	13.64 ^a ± 3.50	9.02 ^a ± 4.09
50	34.26 ^b ± 5.37	13.40 ^b ± 2.58	8.58 ^b ± 3.37

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.17 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว-แดง (a*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว

เวลาที่ใช้ในการ แช่ข้าว (นาท)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
30	35.27 ^b ± 6.74	13.64 ^a ± 3.35	8.95 ^a ± 3.68
60	35.85 ^a ± 7.01	13.40 ^b ± 2.77	8.65 ^b ± 3.82

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ส่งผลให้สีของเมล็ดข้าวมีค่าแตกต่างกันบ้าง แต่ไม่เด่นชัดนักเมื่อเทียบกับปัจจัยของลักษณะสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว

ลักษณะการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งที่ศึกษาในการทดลองนี้ แบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ การให้ความร้อนขึ้นที่ความดันบรรยากาศและการให้ความร้อนขึ้นภายใต้ความดันในหม้อหนึ่งความดัน หากแต่เวลาที่ใช้จะแตกต่างกันดังระบุในวิธีการทดลอง ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าสีที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยดังกล่าวพบว่า การให้ความร้อนขึ้นภายใต้ความดันบรรยากาศ ส่งผลให้เมล็ดข้าวที่ได้มีค่าความสว่าง ค่าของสีแดง และค่าของสีเหลือง สูงกว่าเมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันในหม้อหนึ่งความดัน ดังแสดงในตารางที่ 4.18 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในหม้อหนึ่งความดัน จะมีสีแดงคล้ำกว่าข้าวที่ได้จากการนึ่งในลังถึง

ในการลดความชื้นที่มีในเมล็ดข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งนั้น ได้ศึกษาทั้งอิทธิพลของความร้อน ความเย็นและสภาพสุญญากาศ ที่เวลาต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ข้าวที่ได้มีความชื้นอยู่ในช่วง 9-11% เพื่อให้มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา จากการศึกษาพบว่าวิธีการทำแห้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ความเย็นระดับแช่เยือกแข็งในการระเหิดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าเมล็ดข้าวที่ได้จะมีค่าความสว่าง ค่าของสีแดง และค่าของสีเหลืองสูงกว่าในเมล็ดข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีอื่นๆ และเมื่อพิจารณาลักษณะเมล็ด พบว่าเมล็ดข้าวส่วนใหญ่จะแตกออกจากกัน มีน้ำหนักร่นไปบ้าง และมีส่วนที่เป็นเนื้อเมล็ดสีขาวปริแตกออกมา ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการที่น้ำในเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เซลล์ในเมล็ดข้าวเกิดการขยายขนาด จนอาจแตกออกได้ จากนั้นเมื่อผ่านภาวะสุญญากาศจะเกิดการระเหิดของอนุภาคน้ำแข็งเหล่านั้นออกจากเซลล์ ทำให้เมล็ดข้าวที่ได้มีรูพรุนทั่วไป

ตารางที่ 4.18 ผลของการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็ว

ลักษณะการให้ความร้อน	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
H1	38.02 ^a ± 6.43	14.83 ^a ± 2.59	10.59 ^a ± 3.96
H2	36.92 ^b ± 6.21	14.50 ^b ± 3.90	9.80 ^b ± 3.65
H3	33.87 ^c ± 6.76	12.59 ^c ± 2.36	7.60 ^c ± 3.26
H4	33.42 ^d ± 7.01	12.16 ^d ± 2.23	7.22 ^d ± 2.95

- หมายเหตุ:
- ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ลักษณะการให้ความร้อน
 - H1: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 10 นาที
 - H2: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 15 นาที
 - H3: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 2 นาที
 - H4: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 3 นาที

ตารางที่ 4.19 ผลของการทำแห้งในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็ว

ลักษณะการทำแห้ง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
D1	35.07 ^b ± 6.27	13.34 ^{bc} ± 2.50	8.73 ^b ± 3.54
D2	34.65 ^b ± 6.14	13.49 ^b ± 4.19	8.64 ^b ± 3.46
D3	33.81 ^c ± 6.18	13.05 ^c ± 2.48	8.02 ^c ± 3.38
D4	33.65 ^c ± 6.20	12.64 ^d ± 2.43	7.58 ^d ± 3.52
D5	40.60 ^a ± 7.12	15.11 ^a ± 2.79	11.05 ^a ± 3.89

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-d} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ลักษณะการทำแห้ง:
 - D1: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D2: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D3: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D4: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D5: การทำแห้งที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -20°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

ซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการดูดซับน้ำต่อไปได้ อย่างไรก็ตามการลดปริมาณความชื้นในข้าวโดยอาศัยความร้อนหรืออุณหภูมิสูงในตู้อบลมร้อนนั้น จะเป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งน้ำหรือความชื้นที่ระเหยออกจากเมล็ดข้าวจะเปลี่ยนจากสถานะของเหลว ทำให้เมล็ดข้าวยังคงรูปร่างอยู่ได้ (ไม่แตก) แต่จะมีผิวไม่เรียบ (ขุ่น) ซึ่งเกิดจากการหดตัวของเยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อหุ้มผลเมื่อปริมาณของน้ำโดยเฉพาะในส่วนที่เกิดการเจลลิ่งในเซลล์ลดลง อย่างไรก็ตามการลดความชื้นโดยใช้สภาพสุญญากาศพบว่าเมล็ดข้าวที่ได้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการอบในตู้อบลมร้อน หากแต่เวลาที่ใช้ในการอบแตกต่างกันอย่างเห็นชัด (1 ชั่วโมงในตู้อบลมร้อน และ 8 ชั่วโมงในตู้อบลมร้อน)

จากการศึกษาการคั่วและการพองตัวของข้าวหอมมะลิแดงกล้องที่เวลาต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการคั่วจาก 5 นาทีเป็น 10, 20 และ 25 นาที เมล็ดข้าวจะมีปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณการพองตัวสูงขึ้น อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบกับปริมาณการดูดซับน้ำที่เวลาการคั่ว 5 นาที ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าว และวิธีการทำแห้ง (ตารางที่ 4.20) ส่วนที่เวลาการคั่ว 10 นาที พบว่าทั้ง 5 ปัจจัยหลักมีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (ตารางที่ 4.21) เมื่อเพิ่มเวลาการคั่วของเมล็ดข้าวเป็น 20 นาที พบว่าชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าว วิธีการให้ความร้อน และวิธีการทำแห้งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพล (ตารางที่ 4.22) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาการคั่วเป็น 25 นาที พบว่าชนิดและความเข้มข้น

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	3663.55	203.53	7.52	0.0001 **
- A	2	17.91	8.96	0.33	0.7185
- B	1	456.78	456.78	16.89	0.0001 **
- A*B	2	360.06	180.03	6.66	0.0016 **
- C	1	589.75	589.76	21.80	0.0001 **
- A*C	2	121.62	60.81	2.25	0.1080
- B*C	1	0.02	0.02	0.00	0.9778
- A*B*C	2	20.66	10.33	0.38	0.6830
- D	3	6.22	2.07	0.08	0.9726
- E	4	2090.52	522.63	19.32	0.0001 **
Error	221	5978.20	27.05		
Corrected total	239	9641.75			

- หมายเหตุ
- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ของสารละลายที่ใช้แช่ข้าว วิธีการให้ความร้อน และวิธีการทำแห้งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพล (ตารางที่ 4.23)

สำหรับในด้านการฟองตัวของเมล็ดข้าวพบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลในทุกะดับของการคั่ว (5-25 นาที) คือ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ และวิธีการทำแห้ง (ตารางที่ 4.29-ตารางที่ 4.32)

สารละลายผสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ข้าว มีผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวในระหว่างการคั่วสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เวลาการคั่ว 20-25 นาที

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 10 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	5435.65	301.98	23.27	0.0001 **
- A	2	677.60	338.80	26.11	0.0001 **
- B	1	564.02	564.02	43.47	0.0001 **
- A*B	2	371.94	185.97	14.33	0.0001 **
- C	1	964.72	964.72	74.35	0.0001 **
- A*C	2	31.41	15.70	1.21	0.3001
- B*C	1	3.82	3.82	0.29	0.5879
- A*B*C	2	14.86	7.43	0.57	0.5648
- D	3	138.44	46.15	3.56	0.0152 *
- E	4	2668.83	667.21	51.42	0.0001 **
Error	221	2867.57	12.98		
Corrected total	239	8303.22			

- หมายเหตุ:
- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหยที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

(ตารางที่ 4.24) และพบว่าข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมเข้มข้น 3% จะมีปริมาณการดูดซับน้ำสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้น 1% ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามการพองตัวของข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับการแช่ในน้ำสะอาดเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.33)

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว จะมีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับน้ำเฉพาะที่มีเวลาในการคั่วสั้นๆ (ตารางที่ 4.25 และตารางที่ 4.26) นั่นคือที่เวลาคั่วสั้นๆ เมล็ดข้าวที่มีการเจลาทิไนเซชันที่สมบูรณ์จะดูดซับน้ำได้ในปริมาณสูงกว่าเมล็ดข้าวที่มีการเจลาทิไนเซชันไม่สมบูรณ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชันของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการผลิตแล้วพบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพล (ตารางที่ 4.2) จึงส่งผลให้เกิดอิทธิพลของปัจจัย

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิ แดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 20 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	24292.72	1349.59	4.83	0.0001 **
- A	2	3730.31	1865.15	6.68	0.0015 **
- B	1	1537.07	1537.07	5.50	0.0199 *
- A*B	2	6.58	3.29	0.01	0.9883
- C	1	1030.23	1030.23	3.69	0.0561
- A*C	2	574.37	287.18	1.03	0.3595
- E*C	1	61.62	61.62	0.22	0.6391
- A*B*C	2	852.21	426.10	1.53	0.2199
- D	3	2250.02	750.00	2.68	0.0475 *
- E	4	14250.27	3562.56	12.75	0.0001 **
Error	221	61750.34	279.41		
Corrected total	239	86043.07			

หมายเหตุ: - A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ดังกล่าวขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเมล็ดข้าวมีเวลาในการคั่วมากขึ้น การแพร่ผ่านของน้ำไปยังเนื้อเมล็ดมีมากขึ้น จึงทำให้ปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวไม่มีอิทธิพลต่อไป (ตารางที่ 4.23)

การให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำ จากการทดลองพบว่าการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ จะส่งผลให้เมล็ดข้าวมีปริมาณการดูดซับมากกว่าการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำภายใต้ความดันในหม้อนึ่งความดัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เวลาการคั่ว 25 นาที (ตารางที่ 4.27) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากความดันที่ใช้ในระหว่างการให้ความร้อนนั้นอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ที่เป็นองค์ประกอบหลักในเยื่อหุ้มผลและเยื่อ

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ในข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 25 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	29410.34	1633.91	4.99	0.0001 **
- A	2	6352.18	3176.09	9.70	0.0001 **
- B	1	204.94	204.94	0.63	0.4298
- A*B	2	952.31	476.16	1.45	0.2359
- C	1	586.56	586.56	1.79	0.1822
- A*C	2	455.73	227.86	0.70	0.4998
- E*C	1	56.22	56.22	0.17	0.6791
- A*B*C	2	256.35	128.18	0.39	0.6766
- D	3	5780.81	1926.94	5.88	0.0007 **
- E	4	14765.23	3691.31	11.27	0.0001 **
Error	221	72387.03	327.54		
Corrected total	239	101797.37			

หมายเหตุ:

- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
- B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
- C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
- D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
- E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
- * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

หุ้มเมล็ด ซึ่งอาจทำให้เกิดการบีบอัดตัว ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำลดลงได้ และยังส่งผลกระทบต่อปริมาณการพองตัวที่ลดลงด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4.36)

เมื่อพิจารณาผลของการทำแห้งต่อปริมาณการดูดซับน้ำพบว่าวิธีการทำแห้ง 3 วิธีการนั้นส่งผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำและการพองตัวที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.28 และตารางที่ 4.37) กล่าวคือ การทำแห้งด้วยการระเหิดที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้เมล็ดข้าวมีปริมาณการดูดซับน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งในตู้อบลมร้อน และการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากเมล็ดข้าวที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดนั้นมีลักษณะเป็นรูพรุนดังอธิบายข้างต้น จึงส่งผลให้น้ำสามารถแพร่

ตารางที่ 4.24 ผลของความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

ความเข้มข้น ของสารละลาย (%)	เวลาการคั่ว			
	5 นาที ^{ns}	10 นาที	20 นาที	25 นาที
0	31.65 ± 7.52	42.15 ^b ± 5.84	88.43 ^b ± 8.15	110.72 ^b ± 12.05
1	31.11 ± 4.79	43.99 ^a ± 5.80	92.76 ^b ± 28.05	116.13 ^b ± 27.60
3	31.04 ± 6.50	39.88 ^c ± 5.37	98.07 ^a ± 13.74	123.28 ^a ± 17.35

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการคั่ว			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	25 นาที ^{ns}
25	29.88 ^b ± 5.27	40.47 ^b ± 5.85	95.62 ^a ± 22.49	117.64 ± 25.08
50	32.64 ^a ± 7.02	43.54 ^a ± 5.54	90.56 ^b ± 14.28	115.79 ± 14.98

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข้าวในเมล็ดได้อย่างรวดเร็ว และส่งผลให้มีการพองตัวสูงขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.37 ที่เวลาการคั่ว 25 นาที) อย่างไรก็ตามที่เวลาการคั่วที่ 5 และ 10 นาที เมล็ดข้าวที่ผ่านการคั่วด้วยการระเหิดนี้จะมีค่าการพองตัวต่ำกว่าในตัวอย่างอื่น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเมล็ดข้าวที่ได้จากการคั่วแบบระเหิดนี้มีรอยปริและแตกหักเป็นอนุภาคเล็กๆ จำนวนมาก แม้จะสามารถดูดซับน้ำได้มาก แต่ที่เวลาการคั่วสั้นนั้นอนุภาคเหล่านั้นจะมีการพองตัวได้น้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาการคั่วให้สูงขึ้นอนุภาคที่มีการดูดน้ำอย่างเต็มที่ จะสามารถพองตัวได้มาก ส่งผลให้มีค่าการพองตัวสูงขึ้นได้

ตารางที่ 4.26 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

เวลาที่ใช้ในการ แช่ข้าว (นาที)	เวลาการคั่ว			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	25 นาที ^{ns}
30	29.70 ^b ± 6.73	40.00 ^b ± 4.87	91.01 ± 14.34	115.15 ± 24.57
60	32.83 ^a ± 5.54	44.01 ^a ± 6.16	95.17 ± 22.55	118.28 ± 15.72

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.27 ผลของการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

ลักษณะการให้ ความร้อน	เวลาการคั่ว			
	5 นาที ^{ns}	10 นาที	20 นาที	25 นาที
H1	31.18 ± 8.34	41.24 ^b ± 5.72	96.98 ^a ± 15.42	121.41 ^a ± 15.24
H2	31.31 ± 5.99	41.60 ^b ± 5.62	94.40 ^{ab} ± 11.20	121.45 ^a ± 14.45
H3	31.06 ± 4.52	43.25 ^a ± 5.84	88.60 ^b ± 10.74	110.09 ^b ± 31.32
H4	31.50 ± 6.12	41.94 ^b ± 6.32	92.38 ^{ab} ± 30.68	113.90 ^b ± 14.34

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ลักษณะการให้ความร้อน - H1: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 10 นาที
 - H2: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 15 นาที
 - H3: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 2 นาที
 - H4: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 3 นาที

ตารางที่ 4.28 ผลของการทำแห้งในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

ลักษณะการ ทำแห้ง	เวลาการคั่ว			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	25 นาที
D1	30.82 ^b ± 3.55	41.52 ^b ± 4.13	96.44 ^b ± 30.93	112.72 ^c ± 33.13
D2	31.54 ^b ± 3.68	42.02 ^b ± 3.10	93.17 ^b ± 10.78	121.51 ^b ± 13.71
D3	28.60 ^c ± 3.52	38.45 ^c ± 4.00	84.86 ^c ± 14.82	108.51 ^c ± 11.76
D4	28.67 ^c ± 4.72	39.88 ^c ± 4.31	85.32 ^c ± 7.09	111.08 ^c ± 11.86
D5	36.69 ^d ± 9.99	48.19 ^a ± 7.66	105.64 ^a ± 13.60	129.74 ^a ± 16.94

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ลักษณะการทำแห้ง:
 - D1: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D2: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D3: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมสุญญากาศ
 - D4: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมสุญญากาศ
 - D5: การทำแห้งที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -20°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

ส่วนการทำแห้งในตู้อบลมร้อนนั้น เมล็ดข้าวอาจเกิดการเจลาติไนเซชันเพิ่มขึ้นอีกบางส่วนเนื่องจากอาศัยอุณหภูมิสูงถึง 80-90°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แป้งในเมล็ดข้าวสามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้ อย่างไรก็ตามการทำแห้งในตู้อบลมสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50-60°C จึงไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในกรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วเนื่องจากใช้เวลานาน และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณการดูดซับน้ำต่ำ

จากการคั่วตัวของเมล็ดข้าวที่เวลาต่างๆ พบว่าข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผลิตขึ้นนี้ไม่สามารถคั่วที่ 5-10 นาทีได้ แม้ว่าจะเกิดการเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งอย่างสมบูรณ์แล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องสายพันธุ์ดังกล่าวมีเยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อหุ้มผลค่อนข้างหนา จึงต้องอาศัยเวลาการคั่วที่นานขึ้น เพื่อให้ส่วนของเยื่อหุ้มดังกล่าวดูดซับน้ำมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เมล็ดข้าวนี้ม่นลงได้ การคั่วที่เวลา 10-15 นาที เมล็ดข้าวจะมีปริมาณการดูดซับน้ำเพียง 30-40% เท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาการคั่วเป็น 20 และ 25 นาที พบว่าเมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้นถึง 90 และ 115% ตามลำดับ จึงต้องใช้เวลาในการคั่วที่นานขึ้นเพื่อให้ส่วนของเยื่อหุ้มผลเมล็ดและเยื่อหุ้มผลดังกล่าวม่นลง ซึ่งคาดว่าลักษณะของเมล็ดข้าวดังกล่าวจะส่งผลถึงการยอมรับของผู้บริโภคได้เช่นกัน

ตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการฟองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิ
แดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	20387.51	1132.64	28.04	0.0001 **
- A	2	5820.82	2910.41	72.04	0.0001 **
- B	1	727.35	727.35	18.01	0.0001 **
- A*B	2	851.20	425.60	10.54	0.0001 **
- C	1	44.47	44.47	1.10	0.2952
- A*C	2	10.84	5.42	0.13	0.8745
- B*C	1	5.90	5.90	0.15	0.7027
- A*B*C	2	118.27	59.14	1.46	0.2336
- D	3	181.91	60.64	1.50	0.2152
- E	4	12626.74	3156.68	78.14	0.0001 **
Error	221	8927.77	40.40		
Corrected total	239	29315.28			

- หมายเหตุ:
- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการพองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิ
แดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 10 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	15565.29	864.74	13.22	0.0001 **
- A	2	4943.64	2471.82	37.79	0.0001 **
- B	1	125.74	125.74	1.92	0.1670
- A*B	2	342.15	171.07	2.62	0.0754
- C	1	365.91	365.91	5.59	0.0189 *
- A*C	2	75.26	37.63	0.58	0.5633
- B*C	1	8.44	8.44	0.13	0.7198
- A*B*C	2	26.99	13.50	0.21	0.8137
- D	3	156.72	52.24	0.80	0.4958
- E	4	9520.44	2380.11	36.39	0.0001 **
Error	221	14453.94	65.40		
Corrected total	239	30019.23			

หมายเหตุ:

- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
- B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
- C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
- D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
- E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
- * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการฟองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิ
แดงกล้องสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 20 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	7248.54	402.70	3.75	0.0001 **
- A	2	1613.82	806.91	7.52	0.0007 **
- B	1	961.64	961.64	8.96	0.0031 **
- A*B	2	313.30	156.65	1.46	0.2344
- C	1	2.87	2.88	0.03	0.8701
- A*C	2	65.41	32.71	0.30	0.7375
- B*C	1	311.65	311.65	2.91	0.0897
- A*B*C	2	517.65	258.96	2.41	0.0918
- D	3	967.55	322.52	3.01	0.0312 *
- E	4	2494.36	623.59	5.81	0.0002 **
Error	221	23709.21	107.28		
Corrected total	239	30957.76			

- หมายเหตุ:
- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณการฟองตัว (%) ในข้าวหอมมะลิ
แดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 25 นาที

Source of variations	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	18	14238.59	791.03	2.55	0.0008 **
- A	2	6360.55	3180.27	10.23	0.0001 **
- B	1	388.32	388.32	1.25	0.2648
- A*B	2	520.29	260.14	0.84	0.4343
- C	1	420.82	420.82	1.35	0.2458
- A*C	2	267.20	133.60	0.43	0.6511
- B*C	1	0.37	0.37	0.00	0.9723
- A*B*C	2	554.81	277.40	0.89	0.4110
- D	3	2521.13	840.37	2.70	0.0463 *
- E	4	3205.11	801.28	2.58	0.0384 *
Error	221	68677.36	310.76		
Corrected total	239	82915.95			

- หมายเหตุ:
- A หมายถึงปัจจัยเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (สารละลายโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์อัตราส่วน 1:1 โดยศึกษาใน 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 1 และ 3%)
 - B หมายถึงปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิการแช่ข้าว (ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C)
 - C หมายถึงปัจจัยเนื่องจากเวลาการแช่ข้าว (ศึกษาที่เวลา 30 และ 60 นาที)
 - D หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการให้ความร้อน (ศึกษาการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศปกติที่ 10 และ 15 นาที และการนึ่งให้ความร้อนภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที)
 - E หมายถึงปัจจัยเนื่องจากลักษณะการทำแห้ง (ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C การทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C และการใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ -20°C)
 - * มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ** มีความแตกต่างของปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4.33 ผลของความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

ความเข้มข้น ของสารละลาย (%)	เวลาการคั่ว			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	25 นาที
0	53.87 ^a ± 10.86	66.16 ^a ± 8.08	83.20 ^b ± 9.77	117.21 ^a ± 9.90
1	54.52 ^a ± 9.32	55.43 ^c ± 8.73	84.12 ^b ± 8.65	105.84 ^b ± 26.10
3	43.76 ^b ± 9.62	58.28 ^b ± 13.27	89.10 ^a ± 14.18	106.80 ^b ± 13.77

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการคั่ว			
	5 นาที	10 นาที ^{ns}	20 นาที	25 นาที ^{ns}
25	48.97 ^b ± 11.20	59.24 ± 9.16	87.48 ^a ± 11.04	111.22 ± 23.48
50	52.46 ^a ± 10.71	60.68 ± 12.93	83.47 ^b ± 11.41	108.68 ± 11.93

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.35 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

เวลาที่ใช้ในการ แช่ข้าว (นาที)	เวลาการคั่ว			
	5 นาที ^{ns}	10 นาที	20 นาที ^{ns}	25 นาที ^{ns}
30	50.28 ± 11.17	58.72 ^b ± 11.85	85.58 ± 11.14	111.27 ± 23.32
60	51.14 ± 11.01	61.19 ^a ± 10.42	85.36 ± 11.66	108.62 ± 12.23

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.36 ผลของการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิแดงกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

ลักษณะการให้ ความร้อน	เวลาการคั่ว			
	5 นาที ^{ns}	10 นาที ^{ns}	20 นาที	25 นาที
H1	51.84 ± 11.64	61.00 ± 9.09	87.28 ^a ± 9.74	113.70 ^a ± 12.45
H2	50.83 ± 10.80	60.44 ± 10.30	87.66 ^a ± 14.12	112.56 ^{ab} ± 12.40
H3	50.80 ± 10.27	58.94 ± 15.35	83.76 ^{ab} ± 10.02	106.12 ^b ± 29.69
H4	49.39 ± 11.67	59.46 ± 9.04	83.20 ^b ± 10.66	107.41 ^{ab} ± 13.12

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสมมุติหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ลักษณะการให้ความร้อน - H1: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 10 นาที
 - H2: การนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 15 นาที
 - H3: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 2 นาที
 - H4: การใช้หม้อความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 3 นาที

ตารางที่ 4.37 ผลของการทำแห้งในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการพองตัว (%) ของข้าวหอมมะลิ แดงกล่องหุงสุกเร็วที่ผ่านการคั่วที่ 5, 10, 20 และ 25 นาที

ลักษณะการ ทำแห้ง	เวลาการคั่ว			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	25 นาที
D1	51.06 ^c ± 8.68	60.24 ^b ± 14.99	84.51 ^b ± 8.04	106.49 ^b ± 33.16
D2	53.80 ^b ± 7.14	61.03 ^b ± 7.32	85.38 ^b ± 10.37	109.80 ^{ab} ± 12.29
D3	53.87 ^b ± 8.63	62.20 ^b ± 6.48	84.00 ^b ± 11.39	105.87 ^b ± 12.81
D4	57.95 ^a ± 9.76	67.80 ^a ± 7.79	91.52 ^a ± 13.75	111.70 ^{ab} ± 11.11
D5	36.89 ^d ± 7.68	48.53 ^c ± 7.43	81.96 ^b ± 10.69	115.87 ^a ± 12.56

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a-c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ลักษณะการทำแห้ง:
 - D1: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D2: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D3: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D4: การทำแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน
 - D5: การทำแห้งที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -20°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็ว พบว่ามีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการเกิดเจลลิตในเซชัน ปริมาณการดูดซับน้ำ และการพองตัวของเมล็ดข้าว อย่างไรก็ตามในการเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตจะขึ้นกับปัจจัยภายนอกอีกหลายปัจจัย อาทิ การประหยัดพลังงาน การมุ่งพัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อชุมชนเกษตรอินทรีย์ ลักษณะการบริโภคของผู้บริโภค หรือความเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ เป็นต้น สำหรับการศึกษาในส่วนนี้จะเลือกกรรมวิธีการผลิตที่สั้น ซึ่งจะส่งผลถึงการประหยัดพลังงาน และมุ่งเน้นการผลิตเพื่อชุมชนเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นวัตถุดิบที่ปราศจากการใช้สารเคมีในการผลิต อีกทั้งแนวโน้มการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์กำลังได้รับความนิยมทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้นกรรมวิธีการผลิตที่เลือกขึ้นมาจะเป็นการแช่ข้าวหอมมะลิแดงกล่องในน้ำที่ใช้บริโภค (ไม่มีการเติมสารเคมีใดๆ) ที่อุณหภูมิการแช่ 50°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจะนำมาผ่านความร้อนในหม้อหนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 2 และ 3 นาที ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำมาลดความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทิ้งให้เย็นแล้ว จะเก็บรักษาในถุงพลาสติกใสโพลีเอทิลีน เพื่อรอศึกษาในส่วนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

ตารางที่ 4.38 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็ว

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนที่ได้จากผู้บริโภค		
	ตัวอย่าง (ก)	ตัวอย่าง (ข)	ตัวอย่าง (ค)
สีของข้าวผสม ^{ns}	5.04 ± 1.57	4.94 ± 1.26	4.97 ± 1.36
สัดส่วนข้าวแดงกับข้าวขาว ^{ns}	4.93 ± 1.40	5.13 ± 1.27	5.06 ± 1.34
ความนุ่มของข้าวแดง	2.95 ^b ± 1.42	5.09 ^a ± 1.30	5.10 ^a ± 1.33
ความชอบด้านความนุ่มของข้าวแดงเมื่อหุงรวมกับข้าวขาว	3.52 ^b ± 1.47	5.17 ^a ± 1.24	5.29 ^a ± 1.18
การยอมรับรวม	3.82 ^b ± 1.41	5.24 ^a ± 1.16	5.23 ^a ± 1.19
ลำดับความชอบ	2.55 ^a ± 0.74	1.73 ^b ± 0.68	1.73 ^b ± 0.76

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ^{a-b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ความหมายของการให้คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัส
 - สีของข้าวแดง 1 = ไม่ชอบมาก และ 7 = ชอบมาก
 - สัดส่วนข้าวแดงกับข้าวขาว 1 = ไม่ชอบมาก และ 7 = ชอบมาก
 - ความนุ่มของข้าวแดง 1 = ไม่ชอบมาก และ 7 = ชอบมาก
 - ความนุ่มของข้าวผสม 1 = ไม่ชอบมาก และ 7 = ชอบมาก
 - ลักษณะโดยรวม 1 = ไม่ชอบมาก และ 7 = ชอบมาก
 - ลำดับความชอบ (1-3) 1 = ชอบมากที่สุด และ 3 = ชอบน้อยที่สุด

สำหรับตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส เป็นตัวอย่างที่มีการผสมระหว่างข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) กับข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วที่ผลิตขึ้น โดยจะผสมในอัตราส่วน 7 ต่อ 2 ให้มีน้ำหนักรวม 90 กรัม จากนั้นเติมน้ำในปริมาณ 180 มิลลิลิตร แล้วหุงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งที่ไม่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็ว ดังนั้นผู้บริโภคจะได้รับตัวอย่างเพื่อการทดสอบทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง ดังนี้

- ตัวอย่าง (ก) คือตัวอย่างข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิกับข้าวหอมมะลิแดงกลิ้ง (ชุดควบคุม)
- ตัวอย่าง (ข) คือตัวอย่างข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิกับข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วที่ผ่านการให้ความร้อน 2 นาที
- ตัวอย่าง (ข) คือตัวอย่างข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิกับข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วที่ผ่านการให้ความร้อน 3 นาที

สำหรับคะแนนที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีรายละเอียดดังนี้คือ

- ชอบมาก = 7 คะแนน
- ชอบปานกลาง = 6 คะแนน
- ชอบน้อย = 5 คะแนน
- เฉยๆ = 4 คะแนน
- ไม่ชอบเล็กน้อย = 3 คะแนน
- ไม่ชอบปานกลาง = 2 คะแนน
- ไม่ชอบมาก = 1 คะแนน

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อลักษณะต่างๆ ในข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วของผู้บริโภคจำนวน 50 คน เป็นจำนวนรวม 3 ครั้ง โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ระบุในภาคผนวก ข พบว่าผู้บริโภคสามารถแยกความแตกต่างของข้าวตัวอย่าง ออกจากชุดควบคุมได้ โดยให้การยอมรับในตัวอย่าง (ข) และตัวอย่าง (ค) มากกว่าชุดควบคุม และไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการยอมรับในด้านต่างๆ ของตัวอย่าง (ข) และตัวอย่าง (ค) ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.38) แสดงว่าในกรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกไว้นี้สามารถเลือกใช้การนี้ให้มีความร้อนในหม้อหนึ่งความดันที่เวลา 2 หรือ 3 นาทีก็ได้ ซึ่งทางผู้วิจัยมีความเห็นว่าการใช้เวลาที่สั้นจะเป็นการประหยัดพลังงานได้ทางหนึ่ง นั่นคือจะเลือกใช้เวลาที่ 2 นาที เป็นเวลาการนี้ให้ความร้อนที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกไวในการวิจัยครั้งนี้

จากตารางที่ 4.38 พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับในด้านสี สดส่วนของข้าวผสม ความนุ่ม และการยอมรับรวมของข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็วโดยให้คะแนนโดยเฉลี่ยในระดับ "ชอบ" ซึ่งในการเสนอตัวอย่างครั้งนี้เป็นการเสนอในรูปของข้าวผสม โดยมีวัตถุประสงค์ให้ข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกไว้นี้สามารถนำไปหุงร่วมกับข้าวหอมมะลิทั่วไปได้ โดยทั่วไปข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวจะต้องใช้เวลาในการหุงให้สุก ประกอบกับแนวโน้มการบริโภคข้าวของคนไทยในปัจจุบันจะเริ่มนิยมการบริโภคข้าวกล้องกันมากขึ้น ซึ่งข้าวกล้องจะมีส่วนของเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ด ส่งผลให้เนื้อสัมผัสไม่นุ่มเหมือนข้าวโดยทั่วไป การบริโภคในลักษณะของข้าวผสม จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการบริโภคข้าวกล้อง โดยไม่ทำให้ลักษณะการบริโภคข้าวต้องเปลี่ยนไปเร็วเกินไป จากนั้นเมื่อมีความคุ้นเคยกับการบริโภคข้าวกล้องมากขึ้นก็อาจเพิ่มสัดส่วนในการผสมให้สูงขึ้น จนในที่สุดคนไทยก็จะสามารถบริโภคข้าวกล้องแทนการบริโภคข้าวที่ผ่านการขัดสีและขัดมันได้ซึ่งจะได้รับคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าด้วยเช่นกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็ว พบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าว ปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณการพองตัวของข้าวในระหว่างการคั่วตัวที่เวลาต่างๆ ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมซิเตรทกับแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ข้าว อุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าว ลักษณะการให้ความร้อน และการทำแห้ง

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับในตัวอย่างข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิและข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็วในระดับ “ชอบ” และสามารถแยกความแตกต่างจากชุดควบคุมได้

กรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกล่องหุงสุกเร็ว มีขั้นตอนในการผลิตดังนี้คือ

1. แช่ข้าวหอมมะลิแดงกล่องในน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที
2. ทิ้งให้สะเด็ดน้ำประมาณ 15 นาที
3. ให้ความร้อนด้วยหม้อหนึ่งความดันที่ 121°C 15 psi เป็นเวลา 2 นาที
4. ทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 นาที
5. บรรจุในภาชนะที่สะอาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการประยุกต์ใช้สารละลายผสมของโซเดียมซิเตรทกับแคลเซียมคลอไรด์ในการแช่ข้าว พบว่าเมล็ดข้าวจะถูกเคลือบด้วยสารดังกล่าวทำให้เห็นเป็นคราบสีขาวของสารเคมีเมื่อทำให้แห้ง ดังนั้นในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีดังกล่าวอาจต้องล้างเมล็ดข้าวด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง หลังขั้นตอนการแช่และทิ้งให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปผ่านขั้นตอนการให้ความร้อน

เนื่องจากข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนั้นสภาวะที่ใช้ในการทำข้าวหุงสุกเร็วอาจมีความแตกต่างกันบ้าง ดังนั้นจึงควรทำการทดลองก่อนการนำไปใช้จริง

เอกสารอ้างอิง

- มปป. 2544. ข้าวแหล่งอาหารอันวิเศษจากธรรมชาติ. นิตยสาร *Health&cuisine* ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กุมภาพันธ์.
- สถาบันวิจัยข้าว. 2542. ข้าวแดงหอมและมาตรการการปลูก. ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร.
- ศิวาพร ศิวเวช และ อุดม กาญจนปกรณ์ชัย. 2546. การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพข้าวถึงสำเร็จรูป. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา, กรุงเทพมหานคร.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อึ้งควรร. 2542. อาหารต้านโรค. กรุงเทพฯ : ไพลินสีน้ำเงิน
- อุตสาหกรรมสาร. 2546. ข้าวกล้องของดีของไทย. วารสารกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กันยายน-ตุลาคม.
(<http://oldweb.smethai.net/journal/journal/column.asp?Volume=4405&Column=6>).
- Alexander, W.P. 1954. *Process of Preparing Quick-cooking Rice*. U.S. Pat. 507,242. November 9.
- Association Office Analytical Chemists. 1995. *Official Method of Analysis of the Association Official Analytical Chemists*. 14th ed. Washington, DC.
- Carman, C.R. and J.E. Allison. 1953. *Pre-cooked Rice*. U.S. Pat. 2,653,100. September 22.
- Huxsol, C.C. and A.J. Morgan, Jr. 1968. Microwaves for quick-cooking rice. *Cereal Sci Today*. 13(53):203.
- Julianc, B.O. 1971. A simplified assay for milled – rice amylose. *Cereal Sci. Today*. 16:334-340.
- Keneaster, K.K. and H.E. Newtin. 1957. *Process for Producing a Quick-cooking Product of Rice or Other Starchy Vegetable*. U.S. Pat. 2,813,769. November 19.
- Luh, B S. 1991. Quick-cooking rice. In *Rice: Utilization*. Volume II. 2nd ed B.S. Luh, ed. AVI. Van Nostrand Reinhold. NY.

- Ozai-Durrani, A.K. 1984. Quick-cooking Rice and Process for Making Same. U.S. Pat. 2,438,939. April 6.
- _____. 1956a. *Quick-cooking Rice and Process*. U.S. Pat. 2,733,147. January 31.
- _____. 1956b. *Quick-cooking Rice and Process*. U.S. Pat. 2,740,719. April 3.
- Roberts, R.L. 1955. Preparation of Pre-cooked Rice. U.S. Pat. 2,715,579. August 16.
- _____, R.A. Carlson and D.F. Farkas. 1979. Application of a continuous fluidized bed drier to the preparation of quick-cooking rice products. *J. Food Sci.* 44:248-250.
- Smith, D.A., R.M. Rao, J.A. Liuzzo, and E.Champagne. 1985. Chemical treatment and process modification for producing improved quick-cooking rice. *J. Food Sci.* 50:926-931.
- Tanaka, M. and S.Yakami. 1969. *Method of Preparing Precooking Dry Rice*. U.S. Pat. 3,484,249. December 16.
- von Elbe, J.H. and S.J. Schwartz. 1996. Colorants. In *Food Chemistry*. In 3rd ed. Owen R. Fennema. Marcel Dekker, Inc, NY.
- Wayne, T.B. 1963. *Process of Preparing a Rice Product*. U.S.Pat. 3, 085, 013. April 9.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี

ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหาร (Total dietary fiber, AOAC 1995)

ก. วัสดุอุปกรณ์

1. Crucible ขนาด P2
2. Thermostat shaking water bath (Tecator model 1024)
3. Filtration module (Tecator model 1023)
4. Water bath ที่ 100°C
5. ตู้อบ 105°C
6. Muffle furnace ที่ 525°C

ข. สารเคมี

1. α -amylase (heat-stable) ใช้ Tecator Fiber zymkit 1000 3316 หรือ Tecator Termamyl 300 A.G/I หรือ 1000 4087 หรือ Sigma chemical Termamyl 300 L, Cat No. A3306, Cat No. 361-6282 หรือ Novo-Nordisk

2. Amyloglucosidase Catalog Number AMG A9913, Sigma Chemical Co,
3. Protease Catalog Number P 3910, Sigma Chemical Co,
4. 95% ethanol technical grade

5. 78% ethanol เตรียมโดยใช้ ethanol 95% จำนวน 821 มิลลิลิตรใส่ใน flask เติมน้ำให้ครบ 1 ลิตร

6. Acetone – reagent grade
7. Phosphate buffer ความเข้มข้น 0.08 โมล/ลิตร, pH 6.0

เตรียมโดยละลาย 1.400 กรัม sodium phosphate dibasic, anhydrous (Na_2HPO_4) หรือ 1.753 กรัม dihydrate และ 9.68 กรัม sodium phosphate monobasic monohydrate (NaH_2PO_4) หรือ 10.94 กรัม dihydrate ละลายในน้ำประมาณ 700 มิลลิลิตรแล้วปรับให้เป็น 1 ลิตร ตรวจเช็ค pH ให้ได้ 6.0

8. 0.275 Sodium hydroxide

เตรียมโดยละลาย 11.00 กรัม NaOH ในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

9. 0.325 Hydrochloric acid

เตรียมโดยปิเปต conc. HCl ปริมาตร 26.65 มิลลิลิตร ใส่ใน flask ที่มีน้ำอยู่ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

10. Celite 545 AW

ค. วิธีการหา Dietary fiber

1. การเตรียม crucible ก่อนและหลังการใช้งาน

crucible แก้วที่ทนความร้อนได้ถึง 540°C วิธีการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นจะต้องระวัง โดยที่อัตราการให้ความร้อนไม่ควรเกิน 100°C /นาทึ่ หลังจากทำการเผาเสร็จแล้วการทำให้เย็นต้องทำอย่างช้า ๆ ช้ากว่า 3°C /นาทึ่ ในช่วง 40 นาทีแรก แล้วใช้อัตราลด 120°C /นาทึ่

ห้ามใส่ crucible ที่เปียก ในเตาเผาที่ร้อน ซึ่งจะทำให้ crucible แตกได้ ให้ความร้อนให้ความร้อน crucible อย่างช้า ๆ โดยใส่เข้าไปในเตาเผา ขณะที่เย็นแล้วจึงเริ่มให้ความร้อน หรือถ้าเตาเผาร้อนอยู่ให้เปิดประตูเตาเผา ถ่าย crucible ใส่ แล้วจึงปิดประตู ทั้งนี้ให้เตรียม crucible ให้เรียบร้อย โดยการเผาค้างคืนที่ 525°C ทั้งให้เตาเผาเย็นประมาณ 130°C หรือต่ำกว่าก่อนที่จะนำ crucible ออกมา (เมื่อเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ ให้แช่ crucible ในน้ำ 1 ชั่วโมง หรือน้ำยาล้างเครื่องแก้ว 2% ล้าง crucible ด้วยน้ำกลั่น ตามด้วยการ rinse ด้วย acetone และทิ้งให้แห้ง)

เติม celite ประมาณ 0.5 กรัม (ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน) ลงบน crucible จากนั้นอบ crucible และ celite ให้แห้ง (จนได้น้ำหนักที่คงที่) ทั้งให้เย็น 1 ชั่วโมง ใน desiccator จดน้ำหนักของ crucible และ celite

2. การอบตัวอย่าง

อบ crucible ที่มีตัวอย่างค้างคืนในตู้อบ 540°C หรือใน vacuum oven 70°C แล้วใส่ใน desiccator ทั้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักละเอียด คำนวณน้ำหนักโดยลบค่า crucible+celite

3. การทำ Ashing

เผาตัวอย่างที่ 525°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และทิ้งให้ crucible เย็นลงต่ำกว่า 250°C ก่อนนำออกจากเตาเผา ทั้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดหักน้ำหนัก crucible+celite ออก

4. การหาโปรตีน

การหา undigestible protein ให้ใช้ตัวอย่างอีกชุดหนึ่งจากการทำ duplicate ปริมาณที่จะนำมาหาโปรตีนมี celite ประมาณ 0.5 กรัม และควรใช้การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีของ Kjeldahl เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนในตัวอย่างมาก

5. การ incubate ทั่วไป

การ incubate จะทำเป็นขั้นตอนโดยเป็นช่วง แต่ละช่วงจะใช้ enzyme ต่างกัน ที่อุณหภูมิเฉพาะ insoluble dietary fiber (IDF) คือ ตะกอนส่วนที่กรองได้ soluble dietary fiber (SDF) คือ ตะกอนส่วนที่อยู่ในสารละลายซึ่งจะนำมาตกตะกอนต่อด้วย alcohol

total dietary fiber (TDF) = IDF + SDF โดย ค่า TDF, IDF และ SDF จะต้องหักค่า protein, ash และ blank ออกทุกครั้ง ส่วนขั้นตอนในการหา TDF, SDF และ IDF จะใช้วิธีการเดียวกัน อย่างไรก็ตามในขณะวิเคราะห์ควรต้องปิดฝาเข้ากับ flask ที่สะอาด และต้องปิดให้แน่น หลังจากชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ให้ถ่ายใส่ flask (ทำ duplicate) แล้วปิดด้วย Al-foil จากนั้นเติมสารละลาย buffer และ enzyme ตามวิธี (ง) ทั้งนี้ให้ตรวจความถูกต้องของค่า pH ด้วย

ง. ขั้นตอนการทำ TDF หรือ SDF & IDF

ซึ่งตัวอย่าง 1 ใส่บนฝา flask ทำ 2 ซ้ำ น้ำหนักห้ำงกันไม่เกิน 2 มิลลิลิตร
(ในการวิเคราะห์ 1 ครั้งจะมีตัวอย่าง ๑ ละ 2 ซ้ำและมี blank 2 ซ้ำ)



ใส่ phosphate buffer 50 ml และ termamyl enzyme 0.1ml ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.0 ± 0.2
ปิดฝา flask ด้วย Al-foil บ่มที่ 100°C 30 นาที (เขย่าทุก ๆ 5 นาที)



ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติม 0.275 N NaOH ประมาณ 10 มิลลิลิตร
ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7.5±0.2



เติม protease enzyme 5 มิลลิกรัม บ่มที่ 60°C ใน shaking water bath เป็นเวลา 30 นาที (ในการเตรียมเอนไซม์อาจเตรียมในรูปของสารละลาย โดยนำ protease enzyme 5 มิลลิกรัม ละลายใน phosphate buffer 1 มิลลิลิตร และปิเปตใช้ครั้งละ 1 มิลลิลิตร)



ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเติม 0.325 N HCl 10 มิลลิลิตร
ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.0-4.6



เติม amyloglucosidase 0.3 มิลลิกรัม บ่มที่ 60 องศาเซลเซียส ด้วย shaking water bath 30 นาที



หา SDF และ IDF



▼
87 TDF

ขั้นตอนการวิเคราะห์หา TDF

ให้เติม alcohol (95% ethanol) ที่อุณหภูมิประมาณ 60°C ลงใน flask
flaskละ 300 มิลลิลิตร (หรือปริมาณ 4 เท่าของสารละลายที่อยู่ใน flask)
ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง



กรองใส่ใน crucible ที่มี celite 0.5 มิลลิกรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอนของ crucible และ celite)
วาง crucible ที่ตำแหน่งกรอง ล้างตะกอนด้วย 78% ethanol 20 มิลลิลิตร 3 ครั้งและ
95% ethanol 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง



ย้าย crucible ไปตำแหน่งล่าง ทำการล้างด้วย acetone 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

↓
นำ crucible ที่มี residue+celite อบที่ 105°C ค้างคืน และ
ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักโดยหักค่า celite และ crucible (จะได้ค่า residue weight)

↓
นำ crucible ซ้ำ 1 และ blank ซ้ำ 1 ไปหาปริมาณ protein (จะได้ $mg_{protein}$, $B_{protein}$)
นำ crucible ซ้ำ 2 และ blank ซ้ำ 2 ไปเผาที่ 525°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนักที่เหลือ (จะได้ B_{ash} , $mg_{protein}$)

สูตรคำนวณ หา TDF

$$TDF (g/100g) = [(((R1 + R2) / 2) - mg_{protein} - mg_{ash} - B) / ((M1 + M2) / 2)] * 100$$

$$Residue\ weight\ (R) = (residue + celite + crucible)\ หลัง\ อบ - (celite + crucible)$$

$$B = (B1 + B2) / 2 - B_{protein} - B_{ash}$$

$$B = Blank\ (mg)$$

$$B1/B2 = Residue\ individual\ blank\ value\ (mg)$$

$$B_{protein} = Protein\ (mg)\ in\ blank$$

$$B_{ash} = Ash\ (mg)\ in\ blank$$

$$mg_{protein} = Protein\ (mg)\ in\ sample\ residue$$

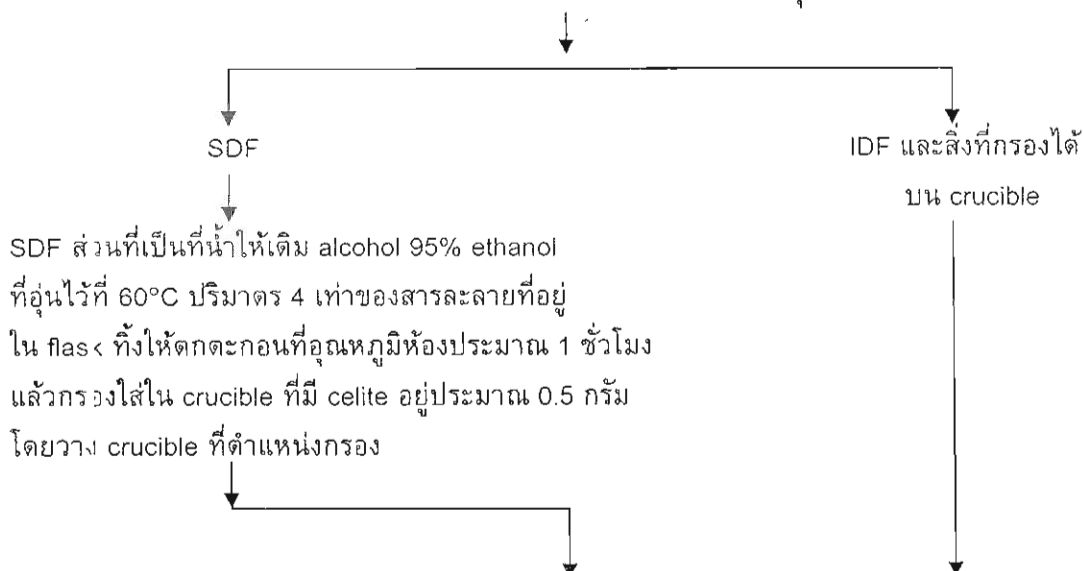
$$mg_{ash} = Ash\ (mg)\ in\ sample\ residue$$

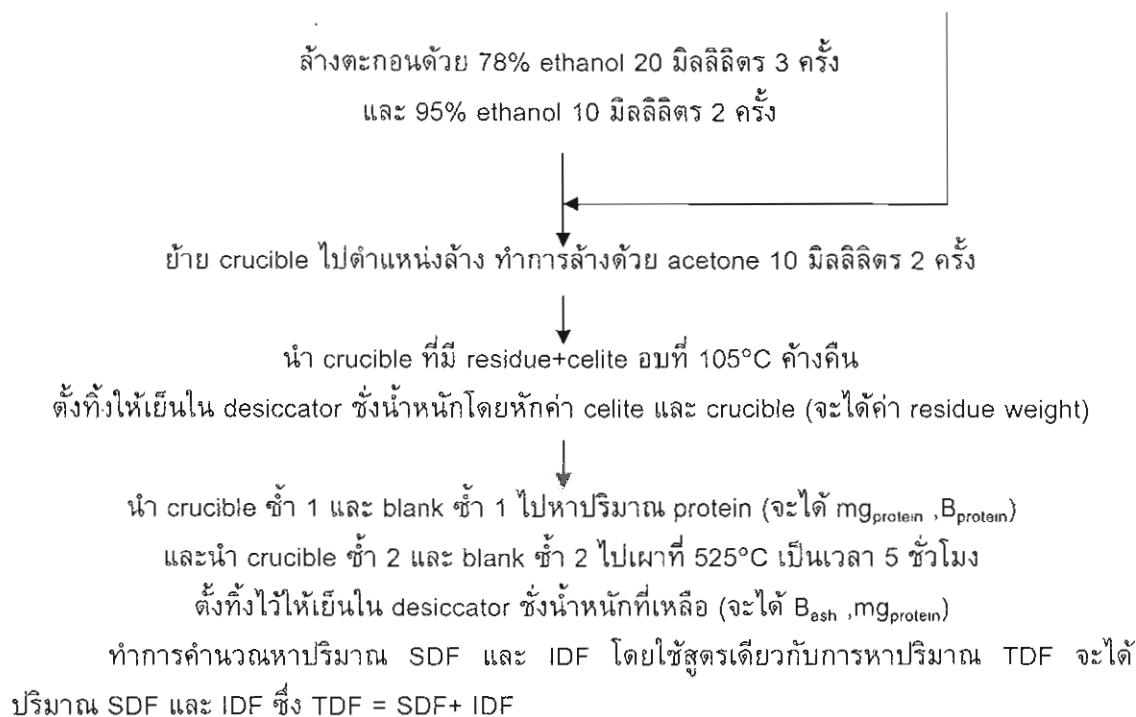
$$R1/R2 = Residue\ weight\ (mg)\ of\ sample\ duplicates$$

$$M1/M2 = Weights\ (mg)\ of\ sample\ duplicates$$

ขั้นตอนการวิเคราะห์หา SDF และ IDF

กรอตัวอย่างใส่ใน crucible ที่มี celite ประมาณ 0.5 กรัม
โดยวาง crucible ที่ตำแหน่งกรอง ล้าง flask ด้วยน้ำอุ่นให้สะอาด





ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณ TDF

สูตรการคำนวณ

$$TDF (g/100g) = [(((R1 + R2) / 2) - mg_{protein} - m_{gash} - B) / ((M1 + M2) / 2)] * 100$$

$$\text{Residue weight (R)} = (\text{residue} + \text{celite} + \text{crucible}) \text{ หลังอบ} - (\text{celite} + \text{crucible})$$

$$B = (B1 + B2) / 2 - B_{protein} - B_{ash}$$

จากการทดลอง การหา IDF

B1	= 0 กรัม	R1	= 0.6566 กรัม
B2	= 0 กรัม	R2	= 0.6474 กรัม
$B_{protein}$	= 0 กรัม	M1	= 1.0007 กรัม
B_{ash}	= 0 กรัม	M2	= 1.0007 กรัม
$mg_{protein}$	= 0.2425 กรัม	m_{gash}	= 0.0047 กรัม

$$\text{จากสมการ } B = (B1 + B2) / 2 - B_{protein} - B_{ash}$$

$$\text{แทนค่า } B = (0 + 0) / 2 - 0 - 0$$

$$B = 0$$

$$\text{จากสมการ IDF (g/100g)} = [(((R1+R2) / 2) - mg_{protein} - m_{gash} - B) / ((M1 + M2) / 2)] * 100$$

แทนค่า

$$IDF (g/100g) = [(((0.6566 + 0.6474) / 2) - 0.2425 - 0.0047 - 0) / ((1.0007 + 1.0007) / 2)] * 100$$

$$= 40.4516$$

ดังนั้น ตัวอย่างจึงมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 40.45%

จากการทดลอง การหา Soluble dietary fiber (SDF)

B1	= 0.0602 กรัม	R1	= 0.0570 กรัม
B2	= 0.0585 กรัม	R2	= 0.0355 กรัม
B _{protein}	= 0.0155 กรัม	M1	= 1.0007 กรัม
B _{ash}	= 0.000653 กรัม	M2	= 1.0007 กรัม
mg _{protein}	= 0 กรัม	m _{gash}	= 0.0126 กรัม

จากสมการ $B = (B1 + B2) / 2 - B_{\text{protein}} - B_{\text{ash}}$

แทนค่า $B = (0.0602 + 0.0585) / 2 - 0.000653 - 0.0155$

$$B = 0.043197$$

จากสมการ $SDF (g/100g) = [(((R1 + R2) / 2) - mg_{\text{protein}} - m_{\text{gash}} - B) / ((M1 + M2) / 2)] * 100$

แทนค่า

$$SDF (g/100g) = [(((0.0570 + 0.0355) / 2) - 0 - 0.0126 - 0.043197) / (1.0007 + 1.0007) / 2] * 100$$

$$= -0.954032$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 0%

จากสมการ $TDF = SDF + IDF$

แทนค่า $TDF = 40.45 + 0$

$$= 40.45$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 40.45%

ภาคผนวก ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดย Kjeldahl method

ก. วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน Kjeldahl apparatus ซึ่งประกอบด้วย Kjeltect system 1026 Distilling unit, Digester unit และ Exhaust system 1013 Scrobber snit
2. conc. H₂SO₄
3. conc. HCL
4. Bromocresol green
5. Methyl red
6. Boric acid
7. 95% ethanol
8. Kjeltabs
9. NaOH

ข. สารเคมีและวิธีการเตรียม

1. สารละลาย NaOH เข้มข้น 40% ใช้ technical grade

เตรียมโดยสารละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

2. สารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ใช้ชนิด analytical grade

เตรียมโดยชั่ง NaOH 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร และปรับให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

3. สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร

เตรียมโดย ปิเปตสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร (จากข้อ 2) มา 25 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร

4. สารละลาย bromocresol green

เตรียมโดย ละลาย bromocresol green 0.1 กรัม ใน EtOH 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

5. สารละลาย methyl red

เตรียมโดย ละลาย methyl red 0.1 กรัม ใน EtOH 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

6. สารละลาย boric acid เข้มข้น 4%

เตรียมโดยละลาย boric acid 40 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 600 มิลลิลิตร แล้วนำไปตั้งบน hot plate ต้มและคนจนละลายหมด จากนั้นให้ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนจนได้ปริมาตรประมาณ 900 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลาย bromocresol green (ข้อ 4) และสารละลาย methyl red (ข้อ 5) ลงไป 10 และ 7 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นและเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ค. วิธีการวิเคราะห์

การย่อย:

1. นำตัวอย่างบดละเอียดไปอบ ชั่งตัวอย่างมา 0.5 กรัม ใส่ลงใน digestion tube
2. ใส่ catalysts (Kjeltab) ลงไป 1 เม็ด
3. เติม conc. H_2SO_4 ลงไป 6 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเบาๆ
4. ตั้ง digestion tube ใน stand สวม exhaust manifold ลงส่วนบนของ digestion tube และเปิด power ของ exhaust manifold
5. ตั้ง stand, digestion tube และ exhaust manifold ลงบนเครื่องย่อย (digestor) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ $200^{\circ}C$ และปรับอุณหภูมิขึ้นทุกๆ 30 นาที จนเครื่องย่อยมีอุณหภูมิ $420^{\circ}C$ ทั้งนี้ให้สวม heat shield พร้อมกับตั้งอัตราการไหลของอากาศของ exhaust manifold เต็มที่ จากนั้นลดอัตราการไหลของอากาศลงตามควันทด ย่อยจนกระทั่งได้สารละลายที่ใส
6. ยก stand พร้อม digestion tube และ exhaust manifold มาตั้งไว้ข้างๆ และทิ้งไว้ให้เย็น

การกลั่นและวิเคราะห์ปริมาณ:

เปิดก๊อกน้ำเพื่อหล่อเย็นเครื่องควบแน่น และเปิด power ของ distillation unit (กดปุ่ม power เพื่อ warm up เครื่องก่อนจนกว่าน้ำในหลอดจะเดือด

1. กดปุ่มล้าง (alkali) ประมาณ 2-3 ครั้ง จนแน่ใจว่าในท่อต่างไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่

2. warm เครื่องโดยใช้ flask เปลา และ digestion tube ที่บรรจุน้ำกลั่นประมาณครึ่งหลอดใส่เข้าไปประจำที่ใน distillation unit แล้วกดปุ่ม (steam) เพื่อกลั่นเป็นเวลา 5 นาที (ขณะนี้ไฟที่ steam จะสว่าง)

3. ปิด steam โดยกดปุ่ม steam อีกครั้งหนึ่ง (ไฟที่ steam จะดับ) นำ digestion tube และ flask ออกจาก distillation unit

4. กดปุ่มเพื่อตั้งปริมาณของ alkali, delay และเวลาที่ใช้ในการกลั่น (steam) ตามต้องการ

5. นำ flask ซึ่งบรรจุ 4% boric acid 25.00 มิลลิลิตร ตั้งไว้บน platform ของเครื่องและยก platform ขึ้น ปล่อยให้สายแท่งแก้วจมอยู่ในกรด boric acid

6. ใส่ digestion tube ที่ผ่านการย่อยมาแล้วใน distillation unit ทั้งนี้จะเริ่มจากหลอดที่เป็น blank ก่อน แล้วจึงตามด้วยหลอดใส่ตัวอย่าง

7. กดปุ่ม Auto เพื่อเลือกการทำงานอัตโนมัติ

8. ปิด safety door

9. เมื่อกลั่นเสร็จแล้ว (สังเกตสารละลายใน flask บน platform สูงถึงระดับ 150–200 มิลลิลิตร) นำ flask และ digestion tube ออกจาก distillation unit

10. นำ flask ไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ซึ่งบรรจุอยู่ในบิวเรตจนได้สารละลายสีม่วงอมเทา

11. คำนวณผลการวิเคราะห์ดังนี้

สูตรคำนวณ

$$\%N = 14.007 * \frac{(\text{ปริมาตรของกรดที่ใช้กับตัวอย่าง (ml)} - \text{ปริมาตรของกรดที่ใช้กับ blank (ml)})}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง} * 10} * n$$

เมื่อ n = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต

%N = ปริมาณร้อยละของไนโตรเจน

$$\%Protein = \%N * 5.7$$

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ ปริมาณกรดที่ใช้กับตัวอย่าง เท่ากับ 12.10 มิลลิลิตร

ปริมาณของกรดที่ใช้กับ blank เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตร

น้ำหนักของตัวอย่าง เท่ากับ 0.5009 กรัม

ความเข้มข้นของกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรตเท่ากับ 0.10 โมล/ลิตร

$$\text{แทนค่า} \quad \%N = 14.007 \frac{(12.10 - 0.20)}{0.5009 * 10} * 0.10$$

$$\%N = 3.3277$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ } \% \text{Protein} &= \% \text{N} \times 5.7 \\
 &= 3.3277 \times 5.7 \\
 &= 18.96
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 19.40%

ภาคผนวก ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันโดยวิธี Direct solvent extraction methods

ก. วัสดุอุปกรณ์

1. Soxhlet apparatus
2. ชุดเครื่องกลั่น

ข. สารเคมี

Petroleum ether

ค. วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วย Soxhlet extractor

1. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดแล้ว นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $103 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 5 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่

2. การเตรียมเครื่องวิเคราะห์ไขมัน

- ตรวจดูถึงน้ำหล่อเย็นก่อน ถ้าไม่มีให้น้ำกลั่นมาใส่ให้ได้ระดับท่วมท่อสารให้ความเย็น

- เช็ควัดการไหลของน้ำให้ได้ 2 ลิตร/นาที่ โดยเปิดก๊อกและจับเวลาวัดปริมาณ แล้วเปิดสวิทช์ cool และ breaker ของคอนเดนเซอร์

- ตั้งอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 15°C จากนั้นเปิดสวิทช์ปั๊ม

3. การเปิดเครื่อง

- ตรวจระดับน้ำมันใน service unit

- เปิดสวิทช์เครื่องแล้ว กดปุ่ม read set จะมีไฟออก จากนั้นตั้งอุณหภูมิของ solvent ให้ได้ 145°C (โดยหมุนปุ่ม set ถ้าต่ำไปให้กด reset ถ้าสูงไปให้ปิดเครื่องทิ้งไว้สักพัก)

การสกัด:

1. นำ thimbles ต่อเข้ากับ adapters โดยสวมถุงมือยาง กดปุ่ม read/set อีกครั้ง เพื่อเซ็อุณหภูมิให้ได้ 140°C

2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ไม่มีไขมัน ประมาณ 1 กรัม ห่อให้มิดชิดและใส่ใน thimble โดยใช้ thimble support

3. นำ thimble วางไว้ที่ thimble stand โดยใช้ thimble handler

4. ย้าย thimble จาก stand ไปใส่ใน thimble support ที่ติดอยู่กับ clip holder

5. นำ thimble ต่อเข้ากับ condenser (ยกคันโยกขึ้นให้อยู่ในตำแหน่ง rinsing)

6. เลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่งของ boiling แม่เหล็กจะจับกับ adapter ไว้ จากนั้นเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rinsing

7. นำ extraction cups ที่มีปิโตรเลียม อีเทอร์เป็นตัวทำละลายอยู่ 50 มิลลิลิตร ใส่ในเครื่อง Soxtec system HT โดยใช้ cup holder สอดใต้คอนเดนเซอร์แล้วโยกคันโยกลง

8. เปิดวาล์วคอนเดนเซอร์ทั้ง 6

9. เลื่อนคันโยกทั้ง 6 มาที่ตำแหน่ง boiling ขณะนี้ thimble จะอยู่ในตัวทำละลาย

10. สักดเป็นเวลา 15 นาที และต้องแน่ใจว่าวาล์วคอนเดนเซอร์อยู่ในตำแหน่งปิด

11. เลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rinsing เป็นเวลา 45 นาที ขณะนี้ thimble จะอยู่ในตำแหน่งเหนือผิวตัวทำละลาย

การนำตัวทำละลายกลับคืนมา (recovery) และการนำ thimbles และ extraction cups ออกจากเครื่อง:

1. หลังจากการ rinsing ให้ปิด condenser valve โดยหมุนไป $\frac{1}{4}$ รอบจะพบว่า solvent ที่ระเหยจะไม่ไหลกลับไปสู่ตัวอย่างอีกจะค้างอยู่ด้านบนจนได้ระดับ solvent คงที่ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

2. เมื่อตัวทำละลายระเหยมารวมกันใน condenser จนเกือบหมดแล้ว ให้เปิดสวิตช์ air service unit และเปิด evaporation valve โดยยกคันโยกของส่วนสกัดไปตรงตำแหน่ง evaporator ที่ส่วนของ extraction unit เพื่อให้ตัวทำละลายส่วนที่เหลือระเหยขึ้นไปรวมกันใน condenser จนหมด

3. ปิด evaporation valve นำ extraction cups ออกจากเครื่องโดยใช้ cups holder เพื่อนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที จนตัวทำละลายระเหยออกหมดแล้วทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมัน

สูตรคำนวณ

$$\text{ไขมันในตัวอย่าง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่ได้}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไขมัน

จากการวิเคราะห์	น้ำหนักของไขมันที่ได้เท่ากับ	0.0456 กรัม
	น้ำหนักของตัวอย่างเท่ากับ	1.0019 กรัม

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \% \text{ไขมัน} &= \frac{0.0456 \times 100}{1.0019} \\ &= 4.5514 \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณไขมันเท่ากับ 4.55%

ภาคผนวก ก.4 การวิเคราะห์หาความชื้นโดยการอบแห้งในตู้อบลมร้อน

ก. วัสดุอุปกรณ์

1. กระป๋องอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45-65 มิลลิเมตร ลึก 20-45 มิลลิเมตร พร้อมฝาปิด
2. เครื่องชั่งวิเคราะห์ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ตู้อบลมร้อน
4. เดสิเคเตอร์ (desiccator)

ข. วิธีทำการทดลอง

1. อบกระป๋องอลูมิเนียมและฝาที่อุณหภูมิ 100°C ประมาณ 1 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นใน เดสิเคเตอร์ จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียม
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว ประมาณ 5 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ในกระป๋อง อลูมิเนียม (ข้อ 1)
3. อบตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C ประมาณ 6 ชั่วโมง โดยเปิดฝา
4. ปิดฝาแล้ว มาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์แล้ว ชั่งน้ำหนัก
5. ปฏิบัติในข้อ 3 และ 4 เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 0.0002 กรัม
6. เมื่อได้ตัวอย่างอบแห้งที่มีน้ำหนักคงที่แล้วให้นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

สูตรการคำนวณ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความชื้น

จากการทดลอง	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบเท่ากับ	5.0007 กรัม
	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบเท่ากับ	4.6926 กรัม

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } \% \text{ความชื้น} &= \frac{(5.0007 - 4.6926) \times 100}{5.0007} \\ &= 6.1611 \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 6.16%

ภาคผนวก ก.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าทั้งหมด (total ash)

ก. วัสดุอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง (crucible) พร้อมฝาปิด
2. hot plate
3. เตาเผาเถ้า (muffle furnace)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เดสิเคเตอร์ (desiccator)

ข. วิธีทำการทดลอง

1. เมาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดที่ใช้ในการวิเคราะห์เถ้าในเตาเผาเถ้า ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว นำไปทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดมา 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องสำหรับหาเถ้าแล้วนำไป เมา โดยใช้ hot plate จนไม่มีควัน จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ ประมาณ 600°C
3. เมาจนได้เถ้าที่มีสีขาวนำไปทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์แล้วชั่งหาน้ำหนักเถ้าคำนวณหา เปอร์เซนต์เถ้าได้จาก

สูตรการคำนวณ

$$\text{เถ้าทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเถ้า

จากการทดลอง น้ำหนักเถ้าเท่ากับ 0.0381 กรัม
น้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ 1.0004 กรัม

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า \% เถ้าทั้งหมด} &= \frac{0.0381 \times 100}{1.0004} \\ &= 3.8085 \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณเถ้าทั้งหมดเท่ากับ 3.81%

ภาคผนวก ก.6 การคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

สูตรการคำนวณ

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{เถ้าทั้งหมด} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{TDF})$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

จากผลการทดลอง % ความชื้นเท่ากับ 6.16%

% แก้วทั้งหมดเท่ากับ	3.80%
% ไขมันเท่ากับ	4.55%
% โปรตีนเท่ากับ	19.40%
% เส้นใยทั้งหมดเท่ากับ	40.45%

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า \% คาร์โบไฮเดรต} &= 100 - (6.16 + 3.80 + 4.55 + 19.40 + 40.45) \\ &= 25.6389\end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 25.64%

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถามการทดสอบการยอมรับแบบ 7-point hedonic scale

ชื่อผลิตภัณฑ์ ข้าวแดงหุงสุกเร็ว (quick-cooking red rice)

วันที่

ครั้งที่

ชื่อ-สกุล (ผู้ทดสอบ)

เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย

อายุ ☐ 15-20 ปี

☐ 21-25 ปี

☐ 26-30 ปี

☐ 31-35 ปี

☐ 36-40 ปี

☐ 41 ปีขึ้นไป

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี โดยบ้วนปากด้วยน้ำที่เตรียมไว้ก่อนทดสอบตัวอย่างทุกตัวอย่าง และเริ่มทดสอบตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา เมื่อท่านทดสอบตัวอย่างแต่ละตัวอย่างแล้ว กรุณาระบุว่า ระดับความชอบของท่านที่มีต่อตัวอย่างนั้น ๆ โดยทำเครื่องหมาย (/) ในช่องว่างของสเกลที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

1. กรุณาบอกระดับความรู้สึกด้านต่าง ๆ ของข้าวแดงหุงสุกเร็ว (quick-cooking red rice)

1.1 ลักษณะปรากฏ

- สีข้าวแดง

.....						
ชอบมาก	ชอบ	ชอบน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ
	ปานกลาง			เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก

- สัดส่วนของการผสมข้าวแดงกับข้าวขาว

.....						
ชอบมาก	ชอบ	ชอบน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ
	ปานกลาง			เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก

1.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

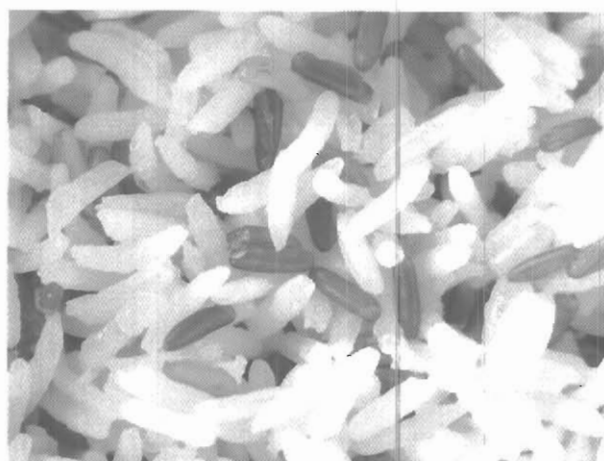
- ความนุ่ม (เฉพาะข้าวแดง)

.....						
ชอบมาก	ชอบ	ชอบน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ
	ปานกลาง			เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก

ภาคผนวก ค
ข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็ว



ภาพภาคผนวก ค.1 ข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) กับข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็ว (อัตราส่วน 7 ต่อ 2)



ภาพภาคผนวก ค.2 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวผสมระหว่างข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) กับข้าวหอมมะลิแดงกลิ้งหุงสุกเร็ว (อัตราส่วน 7 ต่อ 2) หลังการหุงเพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส