

การศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

A STUDY OF QUICK COOKING BROWN RICE PROCESS



นภญา บาลี
NATTAYA BALEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974 - 622 - 731 - 9

เลขหน้.....

เลขทะเบียน..... 35706

วัน, เดือน, ปี..... 19 ส.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF QUICK COOKING BROWN RICE PROCESS

NATTAYA BALEE



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2000

ISBN 974 – 622 – 731 – 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
นักศึกษา	นางสาวนาฎยา บาลี
รหัสประจำตัว	38065005
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษากระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังจากผลิต ด้วยการวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณกรดไขมันอิสระ วิตามินบี 1 ร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส แล้วให้คะแนนโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

กระบวนการผลิตของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมีปัจจัยที่ศึกษาในกระบวนการแปรรูปนี้ ได้แก่ผลของไอน้ำที่อุณหภูมิ 95 , 100 และ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลต่อการเจลาติไนส์ของข้าวกล้อง ผลของการรมไอน้ำแอลกอฮอล์ที่มีต่อข้าวกล้องที่ระยะเวลา 5 , 10 , 15 นาที ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ นอกจากนี้ยังศึกษาอัตราส่วนของน้ำ และเวลาที่ใช้ในการคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส แล้วให้คะแนนแบบฮีโดนิค (Hedonic Scale Method) โดยชิมข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้ผ่านการคั้นรูป แล้วให้คะแนนลักษณะปรากฏ การเกาะตัว ความนุ่ม กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวม คะแนนที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ร่วมกับการทดสอบด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test (DMRT)

Thesis Title	A Study of Quick Cooking Brown Rice Process
Student	Miss Nattaya Balee
Student ID.	38065005
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkruga

ABSTRACT

The purpose of the study of quick cooking brown rice process is purposed to find out the suitable processing conditions in order to produce the quick cooking brown rice. The analysis of samples concerns with moisture content , free fatty acid and vitamin B 1. The untrained panalists are used for organoleptic test.

Experimental objective of studying quick cooking brown rice process is to find out the optimum steam temperature 95° , 100° , 105° C that will affect gelatinization of brown rice. The results of the alcohol vapourizing of precooked brown rice for 5,10,15 minutes to reduce free fatty acid produced from lipolytic enzyme activity and optimum time for drying the precooked brown rice in the microwave tunnel are also studied. The amount of cooking water and rehydration time of the products before using has to be studied in order to select a shortest time. The amount of moisture content, free fatty acid and the consumer 's acceptance from the organoleptic test are analzed.

For organoleptic test, the panalist will give the scores of appearance , cohesiveness , tenderness , aroma , flavour including the acceptance by hedonic scale method. The scores are analyzed by a statistical means difference test and Duncan 's New Multiple Range Test (DMRT).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้จากความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ แก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง และ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ดร.พอใจ ถามากร และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนในการวิจัยเรื่องข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานกองชีวเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ได้กรุณาแนะนำ และเอื้อเฟื้อเครื่องมือในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุชาดา พัฒนกนก สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลัยการถ่าย ภาพประกอบรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ และคุณนุจรีย์ อินอุดม เพื่อนปริญญโท รุ่นที่ 3 ทุกท่าน น้องๆปริญญโททุกท่าน ตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา พี่ น้อง และญาติมิตรที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

นาฎยา บาลี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนการวิจัย	3
1.4 วัตถุประสงค์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
2.2 คุณลักษณะและแหล่งที่มาของพันธุ์ข้าว	6
2.3 องค์ประกอบที่สำคัญของข้าว	9
2.4 สมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าว	11
2.5 การเสื่อมเสียของข้าวกล้องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน	13
2.6 วิธีการรักษาความคงตัวของข้าวกล้อง	15
2.7 ไมโครเวฟ	20
2.8 กระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป.....	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 วัตถุประสงค์	27
3.2 อุปกรณ์การผลิตและวิเคราะห์	27
3.3 สถานที่ทดลอง	28
3.4 วิธีทดลอง	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี และทางกายภาพของข้าวกล้อง	37
4.2 ผลการศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำและคลื่นไมโครเวฟ ในอุโมงค์ไมโครเวฟ	38
4.3 ผลการศึกษาระยะเวลาในการรมไอแอลกอฮอล์	39
4.4 การพัฒนาแผนผังกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเต็มรูปแบบ	40
4.5 ผลการวิเคราะห์วิตามินบีหนึ่งของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	47
4.6 การศึกษาผลของการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	47
4.7 ผลของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิม	49
4.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	52
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	57
ก. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าว	57
ข. วิธีการวิเคราะห์การเจลาติไนส์ของข้าวกล้อง	59
ค. แบบทดสอบการชิมผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	64
ง. คุณสมบัติของถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน	65
จ. ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์	66
ฉ. ภาพจากการทดลอง	67
ประวัติผู้เขียน	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการจัดอันดับความหอมของข้าว.....	8
2.2 แสดงการเปรียบเทียบสารอาหารในข้าวกล้องและข้าวขาว.....	9
2.3 แสดงปริมาณกรดไขมันในข้าวกล้องและข้าวขาว.....	10
2.4 แสดงปริมาณวิตามินในข้าวกล้องและข้าวขาว.....	10
2.5 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส.....	11
2.6 แสดงการแบ่งประเภทข้าวตามลำดับอุณหภูมิแป้งสุก.....	13
4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง.....	37
4.2 แสดงปริมาณอะไมโลสและกรดไขมันอิสระของข้าวกล้อง 2 สายพันธุ์.....	37
4.3 แสดงระดับการเจลาติไนส์และปริมาณ ความชื้นของข้าวกล้องภายหลังจากผ่าน อุโมงค์ไอน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ.....	38
4.4 แสดงระดับการเจลาติไนส์และความชื้นของข้าวกล้องหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำ และอุโมงค์ไมโครเวฟ.....	39
4.5 แสดงปริมาณความชื้น และกรดไขมันของข้าวกล้องหลังการรมไอน้ำ.....	40
4.6 แสดงระดับการเกิดเจลาติไนส์ของข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆ ของ กระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป.....	44
4.7 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในข้าวกล้องภายหลังจากที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆ ของกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป.....	45
4.8 แสดงอุณหภูมิที่ผิวหนังที่มีอยู่ในข้าวกล้องภายหลังจากที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการ ต่างๆของกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป.....	46
4.9 แสดงปริมาณวิตามินบีหนึ่งที่มีในข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป.....	47
4.10 แสดงระยะเวลาในการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับ คริวร้อน.....	48
4.11 แสดงระยะเวลาในการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยน้ำร้อน.....	49
4.12 แสดงการยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภคทดสอบด้วยการชิม.....	50
4.13 แสดงปริมาณความชื้นและกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป หลังเก็บไว้ 6 เดือนที่ อุณหภูมิห้อง.....	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 แสดงการยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บรักษา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง	51
ก. แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน โปเทโตอะไมโลส.....	58
ง. แสดงคุณสมบัติของถุงพลาสติกโพลีโพรพีลีนขนาด 6 x 9 นิ้ว	65
จ. แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นเปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์.....	66



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	6
2.2 โครงสร้างของอะไมโลส.....	12
2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	12
2.4 แสดงผังการเกิดปฏิกิริยาไลโปไลติกไฮโดรไลซิส.....	14
2.5 แสดงกลไกการย่อยสลายไขมันและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน.....	15
2.6 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการปรับสภาพข้าวกล้องด้วยไอของเอทิลแอลกอฮอล์.....	17
2.7 กราฟแสดงปริมาณกรดไขมันต่อการใช้สารละลายของเอทิลแอลกอฮอล์.....	18
2.8 กราฟแสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวที่ผ่านไอของเอทิลแอลกอฮอล์.....	19
2.9 การเรียงตัวของประจุในอาหารตามธรรมชาติ.....	21
2.10 การเรียงตัวของประจุอาหารเมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ	21
3.1 แสดงโครงสร้างสาร Thiochrome	34
4.1 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	41
ฉ.1 แสดงการเตรียมข้าวกล้องผ่านอุโมงค์ไอน้ำ.....	47
ฉ.2 แสดงการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟเพื่อให้ข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์.....	68
ฉ.3 แสดงชุดและวิธีรมไอแอลกอฮอล์.....	69
ฉ.4 แสดงการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟในการทำแห้งข้าวกล้อง.....	70
ฉ.5 แสดงการคืนรูปข้าวกล้องด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน.....	71
ฉ.6 แสดงการคืนรูปข้าวกล้องด้วยการต้มในน้ำร้อน.....	72
ฉ.7 ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่คืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟและต้มด้วยน้ำร้อน.....	73
ฉ.8 ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์ในภาชนะบรรจุ.....	74
ฉ.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง.....	75
ฉ.10 แสดงเครื่องแอลกอฮอล์มิเตอร์และวิธีการวัดความเข้มข้น.....	76

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยนับเป็นประเทศหนึ่งที่ส่งข้าวเป็นสินค้าออกรายใหญ่ของโลก (Juliano,1990) คุณภาพข้าวของประเทศไทยจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวจากประเทศอื่นๆ ที่จำหน่ายในตลาดทั้งในและนอกประเทศ เช่น ข้าวหอมมะลิ (Jasmine rice) ข้าวเหนียว (Glutinous rice) ข้าวบัสมาตี (Thai Basmati rice) และข้าวกล้อง (Brown rice) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวเพื่อการส่งออกในรูปแบบเมล็ด (Grain) ยังคงประสบปัญหาในเรื่องของการแข่งขันที่รุนแรงเพิ่มมากขึ้น การกีดกันทางการค้านอกจากนี้ค่าจ้างแรงงานวัสดุอุปกรณ์ทางการเกษตร เติบโตขึ้นที่สูงขึ้นกว่าประเทศที่ผลิตข้าวเป็นสินค้าส่งออก เช่น จีน ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เวียดนาม เป็นต้น ซึ่งขายข้าวในราคาต่ำกว่าทั้งนี้เนื่องจากค่าจ้างแรงงานของประเทศเหล่านี้ยังต่ำอยู่มาก

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ การส่งเสริมให้มีการผลิตแต่ข้าวคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาดโลก การเพิ่มมูลค่าและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบเพื่อขยายตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวในรูปแบบเต็มเมล็ดที่ควรจะได้รับการพัฒนา คือ ข้าวกล้อง (Brown rice) ที่ผ่านการขัดสีเอาเปลือก (แกลบ) ออก ส่วนของจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ด (รำ) ยังอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว (วุฒิชัย, 2535) จัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Health food) ที่ดีเนื่องจากยังคงมีเยื่อใย วิตามินบี วิตามินอี และไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ถึงแม้ว่าข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงแต่ต้องใช้ระยะเวลาในการหุงสุกที่นานกว่าข้าวขาวธรรมดา และการเก็บรักษาข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องจะประสบปัญหาในเรื่องการเหม็นหืน อันเนื่องมาจากกรดไขมัน ที่มีอยู่ในข้าวกล้อง ดังนั้นการพัฒนาข้าวกล้องจึงสำเร็จรูปจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในระยะยาว และยังเป็นการส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้บริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อันจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าส่งออกของประเทศในระดับอุตสาหกรรมในอนาคตได้อีกทางหนึ่ง

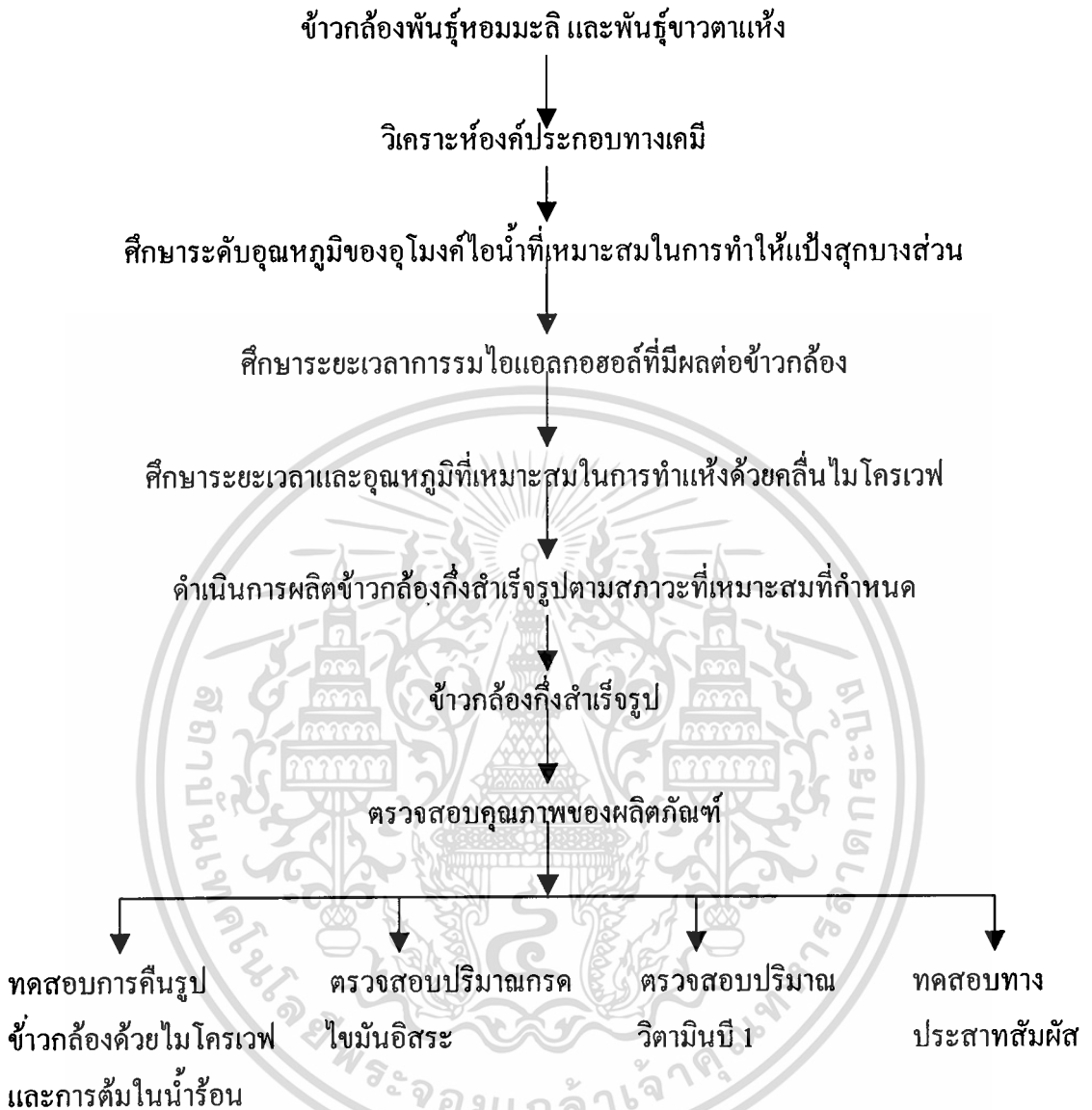
ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยจะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญ ของกระบวนการผลิตข้าวกล้องถึงสำเร็จรูป โดยใช้ข้าวกล้อง 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ และข้าวกล้องพันธุ์ขาวตาแห้ง จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาเป็นวัตถุดิบ โดยศึกษาระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการผ่านอุโมงค์ไอน้ำของข้าวกล้อง เพื่อให้ข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ในบางส่วนแทนการต้มข้าวซึ่งจะสูญเสียวิตามินบี 1 ได้ง่าย การรมไอลแอลกอฮอล์ว่ามีผลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันที่มีในข้าวกล้อง ตลอดจนวิธีการทำแห้ง ที่จะรักษาคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องได้มากที่สุด และการคืนรูปของข้าวกล้องในการบริโภคให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหลังการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลการใช้ไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำ ที่มีต่อการเจลาติไนส์ของข้าวกล้อง ที่อุณหภูมิ 95 , 100 , 105 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 10,20 และ 30 นาที
2. เพื่อศึกษาผลของไอแอลกอฮอล์ที่มีต่อข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ 5, 10, 15 นาที
3. เพื่อศึกษาการทำแห้ง ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟในอุโมงค์ไมโครเวฟ
4. เพื่อศึกษาการคืนรูปของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้ด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน และการต้มในน้ำร้อน
5. เพื่อศึกษาการยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภคภายหลังกระบวนการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเจ้าเป็นพืชตระกูลหญ้าที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza Sativa*, *Oryza glaberrima* ปลูกมากในทวีปเอเชียโดยเฉพาะ จีน อินเดีย ไทย เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ลักษณะของผลเป็นผลเดี่ยวเมล็ดมีเยื่อหุ้ม ก่อนที่จะนำไปบริโภคหรือแปรรูปจะต้องผ่านการนวดหรือขัดสี เพื่อให้เปลือกหลุดออกไปเป็นแกลบ

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าวกล้อง (Brown rice) หรือเมล็ดที่เอาเปลือกออกแล้วประกอบด้วย

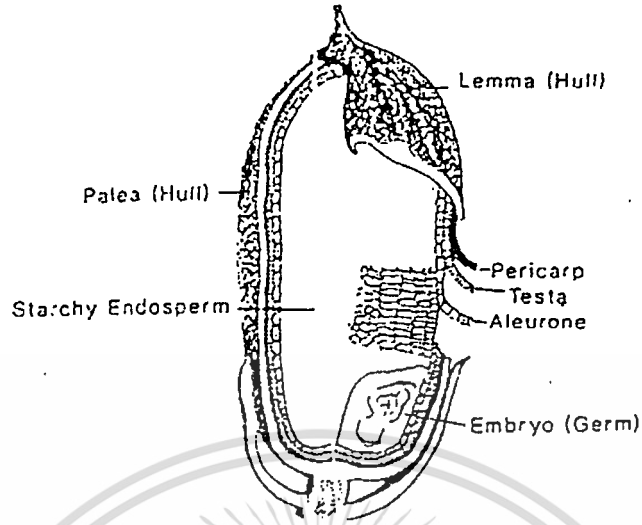
2.1.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกนอก (Husk หรือ Hull) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ ชั้นนอก หรือ อีพิการ์ป (Epicarp) ชั้นกลาง หรือมีโซคาร์ป (Mesocarp) และชั้นใน หรือเอนโดคาร์ป (Endocarp) ชั้นเหล่านี้ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) แร่ธาตุ และ โปรตีน

2.1.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปเป็นเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวประกอบด้วยไขมัน

2.1.3 เยื่ออัลดูโรน (Aleurone Layer) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นเซลล์ที่มีผนังหนาประกอบด้วยไขมันและโปรตีน

2.1.4 ส่วนที่เป็นแป้ง (Starchy Endosperm) อยู่ถัดจากชั้นอัลดูโรน ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่

2.1.5 เอมบริโอหรือคัพพะ (Embryo Germ) เป็นส่วนที่อยู่ตอนล่างด้านฐานของเมล็ดมีขนาดเล็กเป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นต้นอ่อนซึ่งประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ได้แก่ แร่ธาตุ ไขมัน น้ำตาล วิตามินที่สำคัญ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา : Datta (1981)

2.2 คุณลักษณะและแหล่งที่มาของพันธุ์ข้าว

2.2.1 ข้าวหอมมะลิในประเทศไทย

ประเทศไทยมีข้าวหอมมากมายหลายพันธุ์ แต่พันธุ์ข้าวหอมของไทยที่มีชื่อเสียงในตลาดโลกและตลาดภายในประเทศได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 หรือข้าวหอมมะลิ ที่ต่างประเทศรู้จักในชื่อ Jasmine rice มีถิ่นกำเนิดที่แหลมประดู่ อ.พนัสนิคมติดกับ อ.แปลงยาว จ.ชลบุรี นายจรูญ ตัณฑวุฒ ได้นำมาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2488 และแบ่งเมล็ดบางส่วน ไปปลูกที่ท่าทองกลาง อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา เนื่องจากเป็นข้าวหอมที่ขายได้ราคาสูง จนกระทั่งปี พ.ศ. 2493 กรมการข้าว (ในสมัยนั้น) ได้รื้อฟื้นการเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวมาคัดพันธุ์กันใหม่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิเป็นพันธุ์หนึ่งที่ถูกเก็บรวบรวมปลูกคัดเลือกพันธุ์ให้บริสุทธิ์และประเมินผลผลิตรวงข้าวข้าวดอกมะลิที่เก็บมาจาก อ.บางคล้าโดยนายสุนทร สีหะเนิน ได้ถูกส่งไปปลูกคัดพันธุ์บริสุทธิ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง

จ.ลพบุรี ในปีพ.ศ.2498 จำนวน 199 รวง และรวงที่ 105 เป็นสายพันธุ์เดียวที่ผ่านการคัดเลือกทดสอบผลผลิตและส่งเสริมให้ชาวนาใช้เป็นพันธุ์ปลูกในปี พ.ศ.2502 เป็นต้นมา ข้าวดอกมะลิ105 หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าข้าวหอมมะลิ มีชื่อที่แท้จริงว่าข้าวดอกมะลิ 4-2-105 (เลข 4 คือ หมายเลขประจำท้องถิ่นที่เก็บรวบรวม เลข 2 คือหมายเลขประจำพันธุ์ของข้าวข้าวดอกมะลิที่เก็บรวบรวมจาก อ.บางคล้า และ 105 คือ รวงหรือสายพันธุ์ที่ 105 ของข้าวข้าวดอกมะลิดังกล่าว) เป็นข้าวไวต่อช่วงแสงออกดอกประมาณวันที่ 20-25 ตุลาคม ต้นสูง 140-150 ซม. ฟางอ่อนใบสีเขียวยาวและค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบ ปลุกได้เฉพาะฤดูนาปีเก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนพฤศจิกายน ผลผลิตเก็บเกี่ยวจากแปลงทดลองเฉลี่ยประมาณ 510 ก.ก./ไร่ ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ข้าวเปลือกมีสีฟาง เมล็ดเรียวยาวปลายเมล็ดโค้งเล็กน้อย ข้าวกล้องใส มีความเลื่อมมัน จมูกเล็ก (ส่วนที่เป็นคัพพะ) เป็นลักษณะที่ดีของข้าวสาร เป็นข้าวมีอะไมโลสต่ำ (12-16%) เมล็ดข้าวกล้องยาว 7.4 ม.ม. ข้าวที่หุงสุกมีลักษณะเหนียว นุ่ม มีกลิ่นหอมเป็นที่นิยมของผู้บริโภค พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีข้อดีตรงที่เจริญเติบโตได้ในที่นาดอนทั่วไป ทนต่อสภาพแห้งแล้ง ทนดินเปรี้ยวและดินเค็ม ได้ดีด้านทานไส้เดือนฝอยรากปม แต่ไม่ต้านทานโรคและแมลงศัตรูข้าว

2.2.2 สารหอมระเหยในข้าวหอม

กลิ่นหอมของข้าวอยู่ในรูปของน้ำมันที่ระเหยได้ (Essential Oil) ข้าวบางพันธุ์ เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 และ Basmati 370 จะได้กลิ่นหอมตั้งแต่ระยะที่เป็นต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอกและเป็นเมล็ดทั้งข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสารรวมถึงขณะกำลังหุงต้ม หรือข้าวที่หุงสุกใหม่ ๆ เมื่อผ่านแปลงที่ปลูกข้าวหอมทั้งสองพันธุ์จะได้กลิ่นหอมข้าวขาวจากใบและดอกข้าวซึ่งคาดว่า สารกำเนิดกลิ่นหอมต้องสะสมอยู่ในใบ แล้วเคลื่อนย้ายไปสู่เมล็ดข้าว สถาบันค้นคว้าวิจัยเรื่องข้าวระหว่างชาติได้ร่วมมือกับ USDA (United States Department of Agriculture) โดย Western Regional Research Center (WRRC) ในปลายปี พ.ศ.2524 ทำการวิเคราะห์ข้าวหอม โดยใช้วิธี Objective gas - chromatographic Screening ศึกษาพันธุ์ข้าวหอมจากประเทศต่าง ๆ ได้แก่ พันธุ์ Seratus Malam จาก อินโดนีเซีย พันธุ์ Hieri จากญี่ปุ่น พันธุ์ Basmati 370 จากปากีสถาน พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากไทย พันธุ์ IR 841-76-1 จากสถาบันค้นคว้าวิจัยเรื่องข้าว ระหว่างชาติพันธุ์ Malagkit Sungsong, Milagrosa และ Azucena จากฟิลิปปินส์เปรียบเทียบกับข้าวไม่หอม 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ Labelle และ Calrose จากสหรัฐอเมริกา สามารถจำแนกและวิเคราะห์สารหอมระเหยที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมในข้าวกล้องและข้าวสารที่หุงสุกแล้ว คือ 2-Acetyl -1- Pyrroline

ในการศึกษาพบว่าปริมาณของ 2-Acetyl - 1-Pyrroline ในข้าวกล้องมีมากกว่าในข้าวสาร ซึ่งในข้าวจะมีสารนี้อยู่ 0.1-0.2 ppm (ไมโครกรัม ต่อ กรัม) ส่วนในข้าวสารมีสารนี้อยู่ 0.04-0.09 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไม่หอมนั้นทั่วไป ข้าวไม่หอมจะมีสารนี้อยู่ในปริมาณน้อยมาก คือมีอยู่น้อยกว่า 0.006-0.008 ppm แสดงว่าข้าวที่มีกลิ่นหอมมีสาร 2-Acetyl -1-Pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไปที่ไม่มีกลิ่นหอม (ตารางที่ 2.1) และชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารนี้จะมิอยู่ในส่วนของรำข้าวมากกว่าในข้าวสาร

ตารางที่ 2.1 ปริมาณ 2-Acetyl -1-Pyrroline และการจัดอันดับความหอมของข้าวหอมที่ทุ่งสุก 8 พันธุ์ และ ข้าวไม่หอม 2 พันธุ์ โดยศูนย์วิจัยภาคตะวันตก USDA และ สถาบันค้นคว้าวิจัย เรื่องข้าวระหว่างชาติ พ.ศ.2525

พันธุ์หรือสายพันธุ์	ปริมาณ 2-acetyl –1-pyrroline(ไมโครกรัม/กรัม)		อันดับความหอม ¹
	ข้าวสาร	ข้าวกล้อง	
Malagkit Sungsong	0.09	0.2	1
Milagrose	0.07	-	2
Khao Dawk Mali 105	0.07	0.2	3
IR841-76-1	0.07	0.2	4
Basmati 370	0.06	0.17	5
Seratus Malam	0.04	-	6
Azucena	0.04	0.16	7
Hieri	0.04	0.1	8
Calrose	0.006	-	9
Labelle	0.008	-	10

หมายเหตุ 1. จัดอันดับความหอมของข้าวโดยให้ 21-23 คนดมกลิ่นตัวอย่างข้าว 2-3 ซ้ำ
ที่มา: IRRI (1983)

2.2.3 ข้าวขาวตาแห้ง

เป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ชนะการประกวดเมื่อ พ.ศ. 2494 ได้นำไปปลูกคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ตามสถานีทดลองข้าวต่างๆทั่วประเทศและได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวให้ใช้ขยายพันธุ์ได้เมื่อ พ.ศ.2499 และได้ยกเลิกไปเมื่อพ.ศ.2506 เนื่องจากไม่ต้านทานโรคไหม้ แต่เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวที่เมล็ดมีคุณภาพดี โรงสีรับซื้อและให้ราคาดีจึงเป็นที่นิยมปลูกของชาวนาโดยตลอด ได้นำกลับมาให้ใช้ขยายพันธุ์ใหม่ในปีพ.ศ.2508 จนถึงปัจจุบันเป็นข้าวเจ้าที่ส่งเสริมให้ปลูกแบบข้าวนาสวนสำหรับภาคกลาง ลักษณะลำต้นที่เจริญเติบโตเต็มที่สูงประมาณ 150 ซม. ต้นสีเขียวแตกกอดี ฟางแข็ง ทรงกอแผ่กระจาย เป็นข้าวไวต่อช่วงแสงเก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนธันวาคม ผลผลิตเก็บเกี่ยวจากแปลงทดลองเฉลี่ยประมาณ 470 ก.ก./ไร่ ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดข้าวกล้องยาว 7.5 มม. รูปร่างเรียวยาว ลักษณะข้าวสุกร่วน คุณภาพการสีดี ข้าวสารใสและแฉ่ง คุณภาพการหุงต้มดี จำหน่ายได้ราคา โรงสีมีความต้องการสูงแต่มีข้อเสียคือ ไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคใบสีส้ม และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

2.3 องค์ประกอบที่สำคัญของข้าว

ข้าวที่ผ่านการกระเทาะเปลือกออกและการขัดสีจะมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการได้แก่ คาร์โบไฮเดรต สะสมอยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ชในส่วนของเอ็นโดสเปิร์มรองลงมา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารอาหารของข้าวกล้องเปรียบเทียบกับสารอาหารในข้าวขาว

สารอาหาร	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
โปรตีน (N X5.95)	8.3-9.6	7.3-8.3
ไขมัน	2.1-3.3	0.4-0.6
เยื่อใย	0.7-1.2	0.3-0.6
เถ้า	1.2-1.8	0.4-0.9
สตาร์ช	77.2	90.2
น้ำตาลอิสระ	0.8-1.5	0.25-0.52

ที่มา : Pomeranz and Ory 1982

2.3.1 คาร์โบไฮเดรต องค์ประกอบส่วนนี้จะถูกสะสมอยู่ในรูปของสตาร์ช และน้ำตาลรวมทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพนโตแซนซึ่งอยู่ในรูปเยื่อใย ในการขัดสีข้าวจะพบองค์ประกอบเหล่านี้มากในข้าวกล้อง รำหยาบ รำละเอียด ข้าวสาร สตาร์ชที่อยู่ในเมล็ดข้าวโดยทั่วไปจะประกอบด้วย อะไมโลส ประมาณ 12-35% และอะไมโลเพกติน 65-88% องค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลพบมากในส่วนของคัพพะประมาณ 20.7% รองมาพบในส่วนของรำข้าว 6.4-6.5% ส่วนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพนโตแซน อยู่ในรูปของเยื่อใย

2.3.2 โปรตีน พบในส่วนของเอมบริโอประมาณ 19-27% ของน้ำหนักของเอมบริโอ โปรตีน ที่ละลายอยู่ในเมล็ดข้าว ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential Amino Acid) อยู่หลายชนิด โดยมีลิวซีน (Leucine) สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ วาลีน (Valine) และไลซีน (Lysine) ตามลำดับ

2.3.3 ไขมัน เป็นองค์ประกอบที่พบมากในเอมบริโอหรือคัพพะ รำหยาบ รำละเอียด โดยไขมัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรดไขมัน (Fatty Acid) ชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดไขมัน (%) ที่พบในข้าวกล้องและข้าวขาว

กรดไขมัน	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
Lauric	0	0.1
Myristic	1.0	0.9
Palmetic	27.5	24.0
Palmetoleic	trace	0.1
Stearic	2.0	2.5
Oleic	43.0	29.6
Linoleic	25.1	41.2
Linolenic	1.0	1.1
Arachidic	0.2	0.4

ที่มา : Harting et al. 1969 และ Lugay and Juliano 1964

2.3.4 วิตามิน เป็นองค์ประกอบในส่วนที่เป็นรำหยาบ รำละเอียด เอมบริโอ ที่ได้จากการขัดสี เป็นแหล่งของวิตามินบี 1 บี 2 และไนอาซิน (ตารางที่ 2.4) เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมเมตาบอลิซึมต่าง ๆ และ เสริมสร้างซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย

ตารางที่ 2.4 ปริมาณวิตามิน (ไมโครกรัม/กรัม) ที่มีอยู่ในข้าวกล้องและข้าวขาว

วิตามิน	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
Thiamine	2.1-4.5	0.22-1.26
Riboflavin	0.33-0.86	0.11-0.37
Niacin	44-62	3.6-22
Pyridoxin	1.6-11.2	0.37-6.2
Biotin	0.065-0.13	0.005-0.07
Vitamin A (Carotenes)	0.13	tace
Vitamin E	13.1	tace

ที่มา : IRR 1974

2.3.5 เกลือแร่ เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในส่วนของแกลบ รำหยาบ คัฟกะ และรำละเอียด ตามลำดับ เกลือแร่ที่พบมากที่สุดได้แก่ ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าว

2.4.1 ปริมาณของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน (Amylose and Amylopectin Content)

คาร์โบไฮเดรตที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในรูปของเมล็ดสคาร์พประกอบไปด้วย

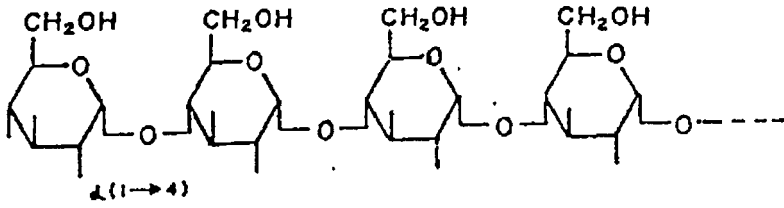
อะไมโลส ประมาณร้อยละ 12-35 เป็นโพลิเมอร์ของดีกลูโคสที่อยู่ในรูปไพราโนส (Pyranose) มาต่อกันเป็นเส้นตรงยาว ประมาณ 500-2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α (1, 4) กลูโคซิดิก (Glucosidic) ดังภาพที่ 2.2 อะไมโลสไม่สามารถละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อะไมโลส จะละลายได้ดีในสารละลายต่าง และทำปฏิกิริยากับสารละลายเจือจางของไอโอดีนแล้วให้สีน้ำเงิน จึงสามารถใช้หาปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างข้าวต่าง ๆ และหาอัตราการเกิดเจลาตินไนส์ของข้าวได้โดยวัดการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

อะไมโลเพคติน เป็นโพลิเมอร์ของ ดีกลูโคส ที่ต่อเป็นกิ่งก้านสาขา (Branch Chain) โดยจุดที่มีการแตกแขนงจะจับกันด้วยพันธะ α (1, 6) กลูโคซิดิก ดังภาพที่ 2.3 อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวเจ้าในประเทศไทย มีส่วนประกอบของ อะไมโลสอยู่ระหว่าง 12 – 33 % ดังตารางที่ 2.5

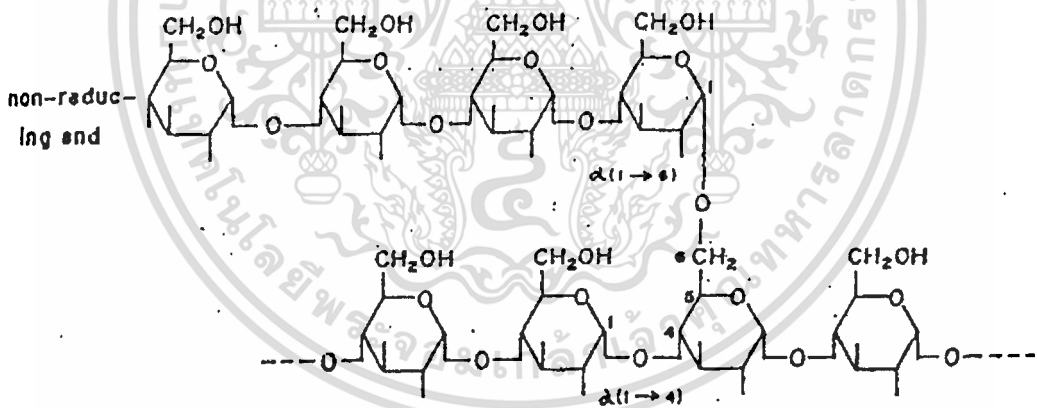
ตารางที่ 2.5 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส(%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก	2 - 9	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	9 - 20	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20 - 25	นุ่มค่อนข้างเหนียว
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25 - 33	ร่วนแข็ง

ที่มา : Juliano (1986)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา : สิริินทร์ (2521)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน
ที่มา : สิริินทร์ (2521)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ความคงตัวของเจล (Gel consistency)

ข้าวที่มีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกันมีปัจจัยที่สำคัญมาจาก ปริมาณ อะไมโลสข้าวบางพันธุ์มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกันแต่ข้าวสุกอาจมีคุณภาพแตกต่างกัน เนื่องจากแป้งสุก เมื่อเย็นแล้วมีความแข็ง หรือความคงตัวแตกต่างกัน โดยข้าวที่มีค่าความคงตัวของ เจลต่ำจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของเจลสูงเมื่อมีปริมาณ อะไมโลสเท่ากัน (Juliano 1982)

2.4.3 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization Temperature)

เป็นอุณหภูมิที่เม็ดแป้ง เริ่มพองในน้ำ ความร้อนจะทำลายพันธะระหว่างโมเลกุล ในบริเวณผลึก การคูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เม็ดแป้งขยายตัวเต็มที่แป้งกลายเป็นเจล และ เปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็น โปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยสามารถแบ่งประเภทข้าว ตามลำดับอุณหภูมิแป้งสุก เป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.6

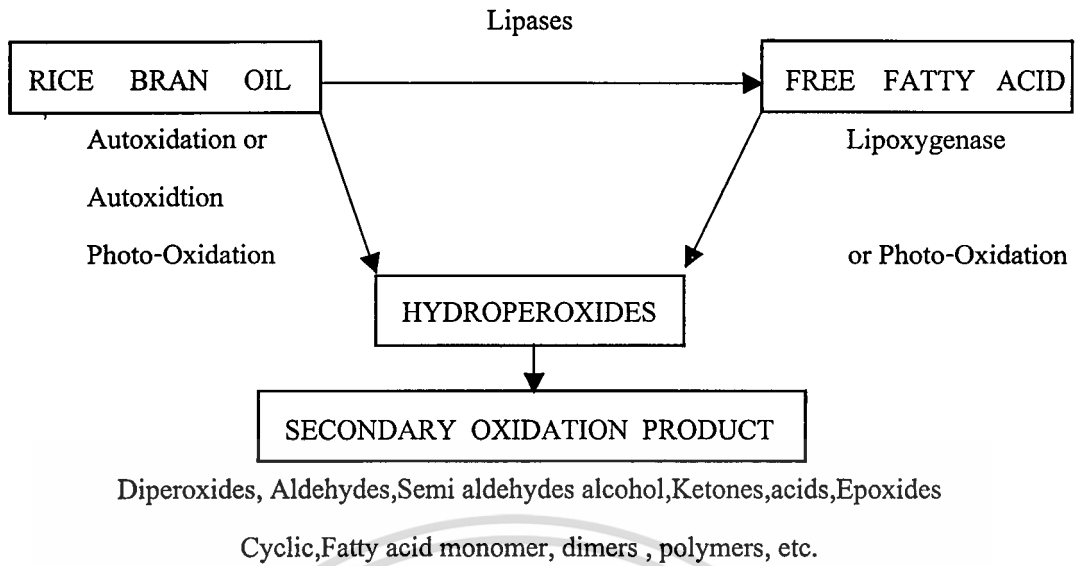
ตารางที่ 2.6 แสดงการแบ่งประเภทข้าวตามลำดับอุณหภูมิของแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก (องศาเซลเซียส)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก
ต่ำกว่า 70	ต่ำ
70 - 74	ปานกลาง
สูงกว่า 75	สูง

ที่มา : Juliano (1972)

2.5 การเสื่อมเสียของข้าวกล้องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน

ข้าวกล้องจะมีกลิ่นเหม็นหืน เกิดขึ้นง่ายทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวที่ถูกกระเทาะเปลือกออก ส่วนของไขมันที่มีอยู่ในข้าวกล้องจะเกิด ปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (Lipolytic Hydrolysis)และ เกิดการออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศ (Oxidation) ซึ่งทำให้ข้าวกล้องเสื่อมเสียได้เร็ว ไขมันใน ข้าวจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไลเปส ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ จากนั้นกรดไขมันอิสระจะถูก ออกซิไดส์ โดยมีเอนไซม์ไลโปออกซิจีเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ หรือ เมื่อได้รับแสงหรือสัมผัสกับออกซิเจน ไขมันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Autoxidation) เกิดสาร เปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (Peroxide Free Radical) ซึ่งไม่เสถียรจึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เป็น สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ ดังภาพ ที่ 2.4 จนสุดท้ายข้าวกล้อง จะเกิดการเหม็นหืน

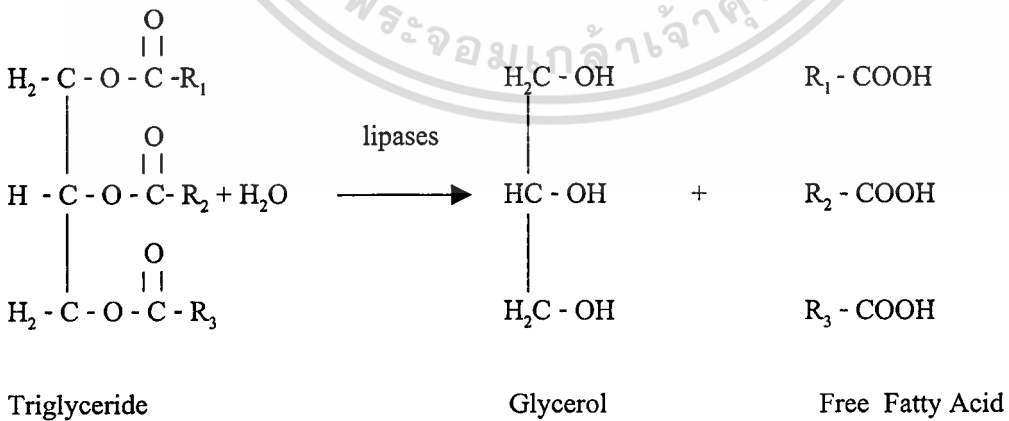


ภาพที่ 2.4 กลไกการย่อยสลายไขมัน(LipolyticHydrolysis)และการเหม็นหืน(Rancidity)ในข้าวกล้อง

ที่มา : Massshall, Wadworth และ Champagne (1994)

จากภาพที่ 2.4 กลไกของการย่อยสลายไขมันในข้าวกล้องประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (Lipolytic Hydrolysis) ไขมันที่อยู่ในชั้นเยื่อหุ้มของเมล็ดข้าวกล้องจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลเปส ซึ่งมีอยู่ในบริเวณเทศบาลเยื่ออาลิโวไลน และจมูกข้าวของเมล็ดข้าวกล้อง หรือจากจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ชนิดนี้ที่ปนเปื้อนอยู่ในบริเวณผิวของเมล็ดข้าว เอนไซม์ชนิดนี้ จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสกับน้ำมันหรือไขมันในเมล็ดข้าวเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA)

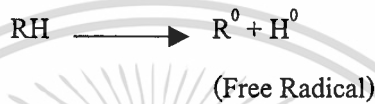


อัตราการเกิดกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่มีรอยแยกหรือที่ถูกทำลายในระหว่างกระบวนการกระเทาะเปลือกเป็นผลให้น้ำมันและเอนไซม์สัมผัสกับความชื้นของเมล็ดข้าวกล้องปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ได้ และอุณหภูมิการเก็บรักษา

ขั้นตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยาออกได้ออกซิเดชัน (Autoxidation) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในไขมันที่มีอยู่ในเมล็ดพืชเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในตำแหน่งพันธะคู่กับออกซิเจนได้เป็นสารเปอร์ออกไซด์อิสระ (Peroxide Free Radical) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระจากนั้นสารเปอร์ออกไซด์อิสระจะทำปฏิกิริยากับสารอื่นเกิดเป็นสารที่เรียกว่าไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) และจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่เพื่อได้อนุมูลใหม่ ๆ เช่น แอลกอฮอล์ สารคีโตน ต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหืน

การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 3 ขั้นตอน

1. Initiation เป็นปฏิกิริยาของการสร้างอนุมูลอิสระ



2. Propagation เป็นปฏิกิริยาที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับสารอื่น



3. Termination เกิดปฏิกิริยา Polymerization ได้เป็นสารที่เกิดกลิ่นเฉพาะตัว



ภาพที่ 2.5 แสดงกลไกการย่อยสลายไขมันและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน
ที่มา : นิธิยา (2529)

2.6 วิธีการรักษาความคงตัวของข้าวกล้อง

การปรับสภาพของข้าวกล้องเพื่อให้เกิดความคงตัวสามารถเก็บได้นานโดยไม่เสื่อมเสียเร็ว แบ่งได้ดังนี้

2.6.1 การใช้ความร้อน

2.6.1.1 การใช้ความร้อนด้วยวิธีการต้มแบบเร็ว ในข้าวกล้องโดยใช้หลักของ Ozai-Durrani คือขบวนการแช่ - ต้ม - นึ่ง - ทำแห้ง หรือ “Soak - Boil - Steam - Dry” ซึ่งเป็นวิธีการใช้ทั่วไปในบริษัทที่ผลิตอาหาร ในปี ค.ศ.1940 การใช้ความร้อนก่อนกระบวนการผลิตซึ่งจะทำให้เม็ดแป้งเกิดเจลาติไนส์ได้ และทำให้โครงสร้างของเมล็ดขยอมให้น้ำผ่านโดยเร็ว เอนไซม์ที่มีอยู่ในเมล็ดจะเสีย สภาพธรรมชาติ (Denaturization) และไม่มีปฏิกิริยา วิตามินที่ละลายได้ในน้ำและแร่ธาตุจะสูญเสียไปในระหว่างการแช่และการหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 การใช้ความร้อนโดยวิธีทำแห้ง เป็นการใช้อุณหภูมิ 90-315 องศาเซลเซียสจากนั้นลดอุณหภูมิลง (Alexander et.al., 1954) การใช้ความร้อน แห่งจะทำให้เกิดรอยแยกที่บริเวณผิวหน้าของข้าวกล้อง เมื่อนำไปหุงต้มจะยอมให้น้ำผ่านเข้าไปได้ง่าย แป้งไม่เกิดเจลลิตินส์ ถ้าใช้ความร้อนสูงวิตามินจะถูกทำลาย ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่ได้มีลักษณะพองและมีกลิ่นใหม่

2.6.2 การใช้สารละลายอินทรีย์เป็นตัวสกัดไขมันที่ผิวของเมล็ด

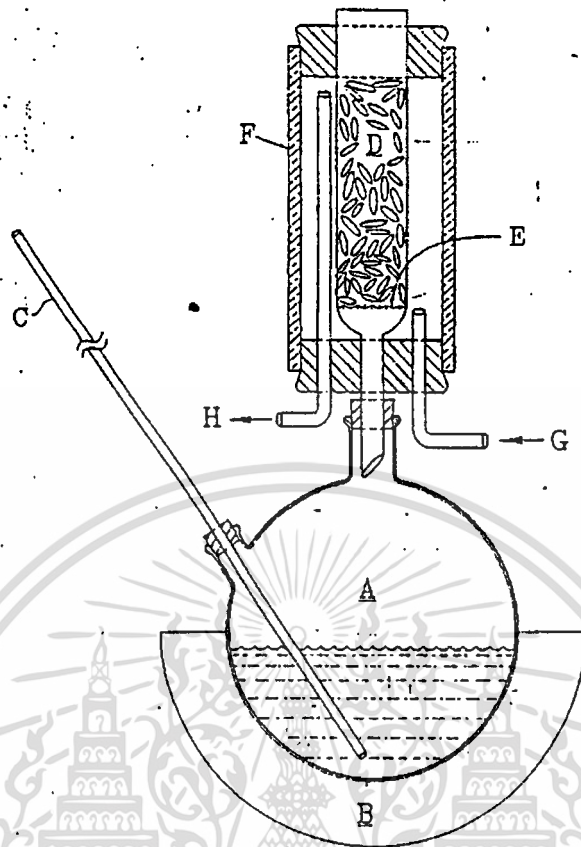
2.6.2.1 การใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ จากการศึกษาของ Kester (1951) โดยใช้อิโตรเลียมอีเทอร์สกัดไขมันออกจากข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง ได้ 40% หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 80 วัน พบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 3.7% ในขณะที่ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการสกัดจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 22.3%

2.6.2.2 การใช้เฮกเซน จากการศึกษาของ Champagne and Hron (1992) โดยใช้อาหารละลายเฮกเซนต้มข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสามารถสกัดไขมันออกจากข้าวกล้องได้ 57% โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และแร่ธาตุ ยังมีอยู่ ในระหว่างการสกัดไทอามินสูญเสียไป 20% ระดับของกรดไขมันในข้าวที่ผ่านการต้มสกัดโดยใช้เฮกเซนจะเพิ่มจาก 3.3 เป็น 4.3% ในระหว่างการเก็บ 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส แต่เฮกเซนจะเกิดผลเสียต่อร่างกายถ้ามีการบริโภคเข้าไป

2.6.2.3 การใช้เอทานอล Champagne et.al. (1991) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้เฮกเซนกับเอทานอล ทำการสกัดไขมันในข้าวกล้อง โดยสกัดเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 24 องศาเซลเซียส) สกัดเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สกัดเฮกเซนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส และข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการสกัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่สกัดด้วยเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง และสกัดด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้น 1% ข้าวกล้องที่สกัดด้วยเอทานอลที่ 70 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดไขมันอิสระคงที่ ส่วนข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัด มีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 4.8% ปริมาณไทอามินในข้าวกล้องที่ถูกสกัดด้วยเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณไทอามินเหลืออยู่ 37% ข้าวกล้องที่สกัดด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส มีปริมาณไทอามินเหลืออยู่ 80% สารอาหารสูญเสียเพียงเล็กน้อย จำนวน ของแบคทีเรียลดลง

2.6.3 การรมด้วยไอแอลกอฮอล์

Champagne and Hron (1992) ได้ศึกษาความคงตัวของข้าวกล้อง โดยใช้อิแอลกอฮอล์ 95% รมข้าวกล้องเพื่อยับยั้งการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยา Hydrolytic และ Oxidative โดยใช้เครื่องมือตามภาพที่ 2.6



A : Round - bottom flask ขนาด 500 มิลลิลิตร

B : Heating mantle

C : Glass tubing for venting

D : Glass butt tube (เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร) บรรจุข้าวกลิ้งได้ 40 กรัม

E : Wire mesh screen to retain the sample

F : Plexiglas jacket

G : Outlet

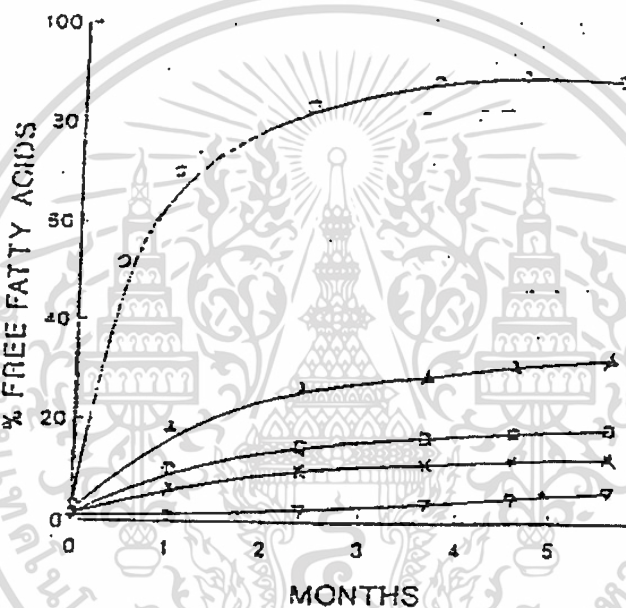
H : Circulating water bath

ภาพที่ 2.6 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการปรับสภาพข้าวกลิ้งด้วยไอของเอทานอล

ที่มา : Champagne (1992)

การสกัดโดยใช้ไอเอทานอลผ่านข้าวกล้องจะศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและเวลาที่ ใช้สกัดกับตัวอย่างข้าวกล้องเทียบกับตัวควบคุม (ไม่ได้ผ่านการสกัด) และเก็บรักษาข้าวกล้องไว้ที่ อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน วัดปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นของแต่ละวิธี

จากการศึกษาพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยไอเอทานอล (95%) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที จะมีความคงตัวมากที่สุดโดยกรดไขมันเพิ่มขึ้น จากเดิม 1.0% เป็น 1.4% ในระหว่างการเก็บ 6 เดือน ส่วนตัวอย่างที่ใช้ไอเอทานอล สกัดที่เวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 24, 46, 54 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นจากเดิม 2.0 เป็น 3.8% 1.5 เป็น 2.7% และ 1.4 เป็น 2.4% ตามลำดับในระหว่างการเก็บ 6 เดือน ส่วนตัวควบคุมจะมีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 24% ดังภาพที่ 2.7

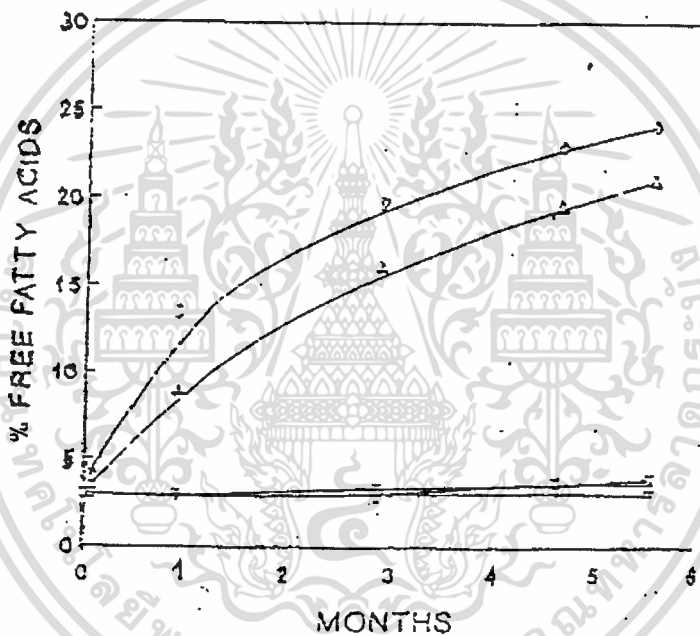


ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงปริมาณกรดไขมัน ต่อการใช้สารละลายของเอทิลแอลกอฮอล์สัมผัสกับ เมล็ดข้าวที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ที่เวลา 60 นาที

- (Δ), เมล็ดข้าวที่สกัดอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียสเวลา 60 นาที
- (□), เมล็ดข้าวที่สกัดอุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียสเวลา 60 นาที
- (×), เมล็ดข้าวที่สกัดอุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียสเวลา 60 นาที
- (▽), เมล็ดข้าวที่สกัดอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเวลา 60 นาที
- (O), Control คือ แป้งที่ไม่ได้ผ่าน การปรับสภาพของเมล็ดข้าว

ที่มา : Champagne (1992)

นอกจากนี้ Champagne (1992) ยังได้ทดลองใช้ไอของเอทานอลที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียสรมข้าวกล้องโดยใช้เวลาต่างกัน ดังนี้ 3 นาที, 5 นาที, 10 นาที เก็บรักษาข้าวไว้ 6 เดือน แล้ววัดปริมาณกรดไขมันที่ 3 นาที กรดไขมันอิสระจากเดิม 3% เพิ่มเป็น 3.9% ที่เวลา 5 นาที เป็น 3.6% และที่เวลา 10 นาที ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการสกัดมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มจาก 3% เป็น 28% (ดังภาพที่ 2.8) และ Champagne ได้จดสิทธิบัตรในการใช้ไอเอทานอล ที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ 95% (v/v) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสรมข้าวกล้องในปี 1993 “Stabilizing Unmilled Brown Rice to by Ethanol Vapors (US. Patent 5, 209, 940)



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวที่ผ่าน ไอเอทานอลและเก็บที่ 36 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน

- (□), ข้าวที่ผ่านไอเอทานอลเป็นเวลา 3 นาที
- (×), ข้าวที่ผ่านไอเอทานอลเป็นเวลา 5 นาที
- (▽), ข้าวที่ผ่านไอเอทานอลเป็นเวลา 10 นาที
- (Δ), ข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน
- (○), ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ

ที่มา : Champagne (1992)

2.7 ไมโครเวฟ (Microwave)

ไมโครเวฟ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงอยู่ในช่วง $10^8 - 10^{11}$ Hz มีแหล่งกำเนิดจากหลอดแมกนีตรอนเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง สามารถทะลุผ่านสสารต่าง ๆ ยกเว้นโลหะ ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่อนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันคือ 915 และ 2450 MHz (Copson, 1975)

2.7.1 คุณลักษณะของไมโครเวฟ แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

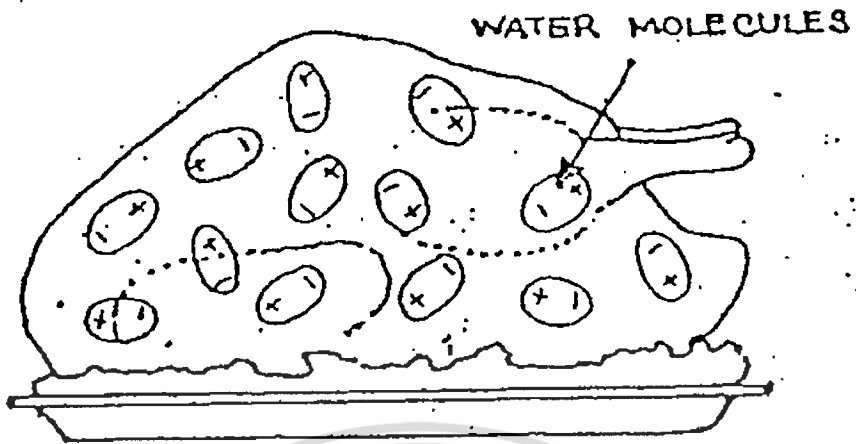
2.7.1.1 สามารถทะลุผ่านวัตถุบางอย่างได้ (Transmittance) คลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านทะลุวัตถุบางชนิดได้โดยไม่มีการดูดกลับเข้าไป เช่น ภาชนะ ประเภท แก้ว กระเบื้อง เครื่องปั้นดินเผา พลาสติก กระดาษ

2.7.1.2 สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนกลับเพื่อมุ่งไปกระทบวัตถุประเภทโลหะในตู้อบไมโครเวฟ คลื่นจะสะท้อนจากด้านข้าง และด้านล่างของตู้ ทำให้อาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟทุกด้าน เวลาเอาอาหารเข้าไปอบจึงไม่จำเป็นต้องกลับด้านอาหารจะสุกเท่า ๆ กัน ในเวลาเดียวกัน

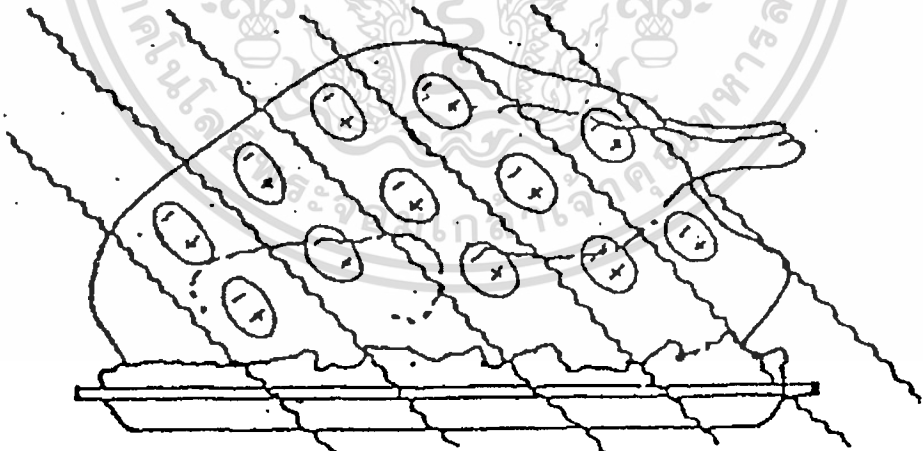
2.7.1.3 ความสามารถในการดูดซับ (Absorbition) คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดคลื่นเข้าไปในอาหารได้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ของโมเลกุลที่มีขั้วในอาหารจนเกิดความร้อน โดยน้ำเป็นส่วนที่คลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับได้ง่ายที่สุด จากคุณสมบัติข้อนี้จึงทำให้อาหารสุก

2.7.2 หลักการให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟ

หลอดแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง แมกนีตรอนที่อยู่ภายในตู้อบจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้อยู่ในรูปคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลัง 600 - 700 วัตต์ ในการทำให้สสารเกิดความร้อน จะต้องมีส่วนดูดคลื่นเป็นพวก โพลาร์ โมเลกุล เช่น น้ำ หรือสารที่มีประจุอื่น ๆ เมื่อโมเลกุลของสสารพวกนี้อยู่ในสภาพแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ จะพยายามจัดเรียงตัว ตามแนวขั้วบวก ขั้วลบ ทำให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ มีการผลักกันระหว่างขั้วที่เหมือนกัน เกิดการเสียดสีระหว่างโมเลกุลเป็นผลทำให้เกิดความร้อนดังภาพที่ 2.9 และ 2.10 (Copson, 1975)



ภาพที่ 2.9 การเรียงตัวของประจุในอาหารตามธรรมชาติ
ที่มา : Copson, 1975



ภาพที่ 2.10 การเรียงตัวของประจุอาหารเมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ
ที่มา : Copson, 1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 กระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

ในปัจจุบันได้มีการนำผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (Quick Cooking Rice) จากข้าวเจ้าออกจำหน่ายแล้วในต่างประเทศ โดยมีผู้ที่ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์ข้าวเจ้ากึ่งสำเร็จรูปดังนี้

Atallah และ Durani (1948) ได้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวขาวกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ข้าวขาว (White Rice) เป็นวัตถุดิบ หลักการในการผลิตสรุปได้ดังนี้คือ การทำให้เม็ดสตาร์ช (Starch Granules) ในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนส์ (Gelatinization) ด้วยการต้ม เพื่อเพิ่มความชื้นในเมล็ดข้าวจนถึง 65 - 70% ซึ่งไม่เกินระดับที่จะทำลายโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช จากนั้นจึงทำแห้ง

Bhattacharya และ Sowbhagya (1971) ศึกษาการดูดซับ (Water Uptake) ของข้าวที่มีอัตราความยาวต่อความกว้าง (L/W ratio) ต่างกัน โดยการต้มข้าวที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียสจากนั้นทำให้เย็น และทิ้งให้สะเด็ดน้ำ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำปรากฏว่าข้าวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างสูง จะมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า ข้าวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างต่ำ นอกจากนี้ Bhattacharya et al. (1972) ยังได้ศึกษาทางเคมีกายภาพ (Physicochemical Properties) ของข้าวเพิ่มเติมอีกพบว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงกว่า และเกิดการเจลาติไนส์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง

Prabhakara Bhat et.al.(1973) ได้ศึกษาสภาวะที่จะสามารถลดระยะเวลาในการคืนรูป (reconstitution) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียสนาน 2.5 - 3 นาที แล้วนำมาแช่น้ำ ต่อจากนั้นจึงทำให้สุกบางส่วนในหม้อหนึ่งความดันไอที่ 5 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว นาน 5 นาที จึงนำไปทำแห้งจนเหลือความชื้น 5 % พบว่า การคืนรูปของเมล็ดข้าวจะใช้เวลาประมาณ 4 - 5 นาที

Cox และ Cox (1975) ได้พัฒนากระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนที่สำคัญคือ การเพิ่มปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปภายในเมล็ดโดยการให้ความร้อน ด้วยไอน้ำ (Steam) จนถึงอุณหภูมิ 185 - 280 องศาฟาเรนไฮต์ ที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 2 - 10 นาที และแช่ข้าวในสารละลายที่ประกอบด้วย ฟอสเฟตและไตรโซเดียมฟอสเฟต ความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.001 - 7% จากนั้นนำไปทำแห้ง

Chakrabarthy และ Dywakanath (1980) ทดลองกระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป ด้วยกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เพื่อที่จะลดระยะเวลาในการคืนรูป กระบวนการผลิตที่ศึกษามีดังนี้การนำมาอบที่อุณหภูมิสูง (Roasting) ตามด้วยการหุงสุกบางส่วน (Precooking of Pregelatinization) แล้วจึงทำแห้งการทำให้แป้งค่อย ๆ สุก (Step - Wise Gelatinization) การเติมสารเคมีร่วมกับการค่อย ๆ ทำให้แป้งสุก (Chemical Pretreatment and Step - Wise Gelatinization) และการระเหยน้ำที่อุณหภูมิสูงแบบลมดูด (High Temperature Pnuematic Dehydration) พบว่าวิธีการที่ค่อย ๆ ทำให้

แป้งสุกสามารถลดระยะเวลาในการคืนรูป ให้เหลือเพียง 4 - 5 นาที ส่วนการเติมสารเคมีในรูปของ

เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอล (Glycerol) และเกลือสเตียเรต (Stearate Salt) ร่วมกับสารเคมีอื่น ๆ ไม่ได้ช่วยลดระยะเวลาในการคั่วรูป

ในปี ค.ศ. 1976 McCabe ได้เสนอวิธีการในการทำให้ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป (Quick Cooking Brown Rice) ด้วยวิธีการแช่ข้าว (Soaking) ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 - 3 ชั่วโมง แล้วนำมาอบแห้ง (baking) ในตู้อบทรงกระบอกแบบหมุน (Rotary - Type Cylinder Oven) ที่อุณหภูมิ 300 - 350^o องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 40 นาที โดยทำหมุนเวียนกันไป 2 รอบ ผลผลิตทันทีที่สามารถต้ม โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5 นาทีซึ่งเร็วกว่าการต้มข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการที่ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มสุกนาน 30 - 40 นาที

Welby (1983) ได้เสนอวิธีการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปในรูปของข้าวหุงสุกเร็ว (Quick Cooking Rice) ด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) ด้วยการนำข้าวขาวมาทำให้เกิดการเจลาติไนส์ด้วยน้ำร้อน และฉีดพ่นไอน้ำสลับกันลงบนเมล็ดข้าวบนสายพาน เพื่อให้เม็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนส์สมบูรณ์ และมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นประมาณ 70% หลังจากนั้นจึงนำมาทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อน ที่ความเร็วลม 90 - 125 เมตร/นาทิต เพื่อลดปริมาณความชื้นของผลผลิตทันทีที่ได้ให้เหลืออยู่ระหว่าง 10 - 14% ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้สามารถใช้เวลาประมาณ 5 นาที ในการคั่วรูปด้วยน้ำร้อน

Smith et.al. (1985) ทดลองแช่ข้าวในสารละลาย 1% ของเกลือโซเดียมซิเตรท และเกลือโซเดียมคลอไรด์ (50 : 50) เพื่อให้การดูดซึมน้ำในระหว่างการคั่วรูปดีขึ้น โดยใช้ระยะเวลาในการคั่วรูปประมาณ 5 - 10 นาที นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่น้ำในลักษณะนี้จะทำให้ข้าวมีสีขาวมากขึ้น มีการแตกหักของเมล็ดหลังจากทำให้สุกคั่ว แต่ทำให้อายุการเก็บรักษาผลผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปสั้นลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง Bhaskar et. al. (1989) ที่ได้ทดลองต้มข้าวในสารละลายของเกลือโซเดียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.3% และสารละลายเกลือแคลเซียมซิเตรทความเข้มข้น 0.2% จะทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มีสีขาวมากขึ้น และไม่แตกหักในระหว่างการคั่วรูป

Hirokawa et. al. (1986) ได้เสนอวิธีการในการให้ความร้อนแก่ข้าวกล้องด้วยการเป่า (blowing) ลมร้อน อุณหภูมิ 90 - 170 องศาเซลเซียส ให้กับข้าวกล้องด้วยอุปกรณ์ให้ลมร้อน แบบฟลูอิดเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีด้วยการเป่าลมเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมปริมาณความร้อนที่ข้าวกล้องดูดซับเอาไว้ให้เหมาะสม จากการทดลองพบว่าปริมาณความร้อน ที่ข้าวกล้องควรจะได้รับอย่างน้อย 60 - 130 กิโลแคลอรีต่อข้าวกล้องหนัก 1 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้สามารถใช้เวลาในการหุงข้าวกล้องให้สุกใกล้เคียงกับข้าวที่ผ่านการขัดสีใช้เวลาหุงสุกข้าวกล้องได้เช่นกัน โดย Hirokawa และคณะได้กล่าวว่าการที่ข้าวกล้องสามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มได้ เนื่องจากในระหว่างที่เป่าด้วยลมร้อนบริเวณผิวของเมล็ดข้าวกล้องเกิดรอยแยก หรือปริออก (Fissures) ทำให้ไอน้ำซึมเข้าซึ่งเป็นที่ยอมรับซึ่งเป็นที่เก็บสะสมแป้งสามารถดูดซับน้ำเอาไว้ได้และทำให้แป้งที่เมล็ดข้าวเกิดการสุกได้เร็วขึ้น 10 - 12 นาที และ 9 - 10 นาที ตามลำดับ ทั้งยัง

คงมีปริมาณวิตามิน บี1 และ บี 2 เหลืออยู่ในปริมาณที่มากกว่า อย่างไรก็ตามการทำแห้งภายใต้จุดเยือกแข็งจะทำให้ข้าวมีการพองตัวสูงที่สุด ใช้ระยะเวลาในการคั้นรูปอยู่ในช่วง 7 - 8 นาทีและมีปริมาณวิตามินบี 1 และบี 2 เหลืออยู่มากที่สุด

Ghosh and Mukherjee (1988) ได้ศึกษากระบวนการทำให้ข้าวสุกด้วยความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ คือ การต้มเพียงอย่างเดียว การต้ม 10 นาที แล้วนึ่งต่ออีก 5 นาที และการนึ่งเพียงอย่างเดียว 10 นาที ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำในเมล็ดภายหลังจากการให้ความร้อน ของแต่ละวิธีเพิ่มขึ้นเป็น 7.3%, 60.2%, และ 51.8% ตามลำดับจากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้ การอบแห้งบนถาด (Tray Drying) การทำแห้งด้วยอินฟราเรด (Infared Drying) การทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (Air Diffusion Drying) และการทำแห้งภายใต้จุดเยือกแข็ง (Freeze Drying) จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งข้าวที่ผ่าน กระบวนการทำให้ข้าวสุกบนถาดจะทำให้ได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีการพองตัวต่ำใช้เวลาในการคั้นรูปนาน 10 - 15 นาที ทั้งยังทำให้วิตามินบี 1 และบี 2 เหลืออยู่ต่ำที่สุดในขณะที่การทำแห้งด้วยอินฟราเรด, ลมร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ดีกว่า ข้าวที่ได้สามารถคั้นรูปได้เร็ว

Bhaska et. al. (1989) ได้ศึกษาผลของเกลือฟอสเฟตและเกลือซิเตรทที่มีต่อการทำให้ข้าวสาร (Raw Rice) และข้าวึ่ง (Parboiled Rice) จากข้าวสายพันธุ์ Pankaj โดยการนำวัตถุดิบมาต้มสารละลายที่มีเกลือไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium Phosphate) และเกลือแคลเซียมซิเตรท (Calcium Citrate) แล้วจึงนำมาทำแห้งในตู้อบแบบ Carbinet (Carbinet Dryer) ผลการทดลองที่ได้พบว่าข้าวสารและข้าวึ่งที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ 3.7 และ 1.2 เท่าตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียโครงสร้าง โปรตีน และการเพิ่มอัตราการดูดซึมน้ำ (Water Uptake)

สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปเช่นกัน โดยภาครัฐบาลและเอกชนดังนี้

วุฒิชัย (2535) ได้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ผู้บริโภคสามารถลดระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวค้างคืน และประหยัดพลังงาน ในการทำให้สุกด้วยวิธีการนำข้าวเหนียวมาต้มในน้ำที่เติมกรดซิตริก ลงไป 0.002 กรัมต่อกรัมของข้าวเหนียวเป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำให้เกิดการคูดน้ำและทำให้เม็ดแป้งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเหนียวเกิดการพองตัว หรือสุกบางส่วนหลังจากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบลมร้อนที่ 110 องศาเซลเซียสนาน 80 นาทีจะได้ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปที่เต็มเมล็ดมีความชื้น 7.8% และนำมาคั้นรูปโดยการเติมน้ำเดือดในอัตราส่วนข้าวเหนียวต่อน้ำ 1 : 1 เป็นเวลา 10 นาที จะได้ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปที่ยังคงมีความเหนียวและสุกทั่วถึงกันทั้งเมล็ด

นอกจากนี้ วุฒิชัย (2536) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปเสริมไอโอดีน เพื่อแก้ปัญหาโรคเอ๋ที่เกิดจากร่างกาย ขาดสารไอโอดีน โดยเฉพาะคนไทยในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียง

ออกเฉียงเหนือ ผู้หญิงมีครรภ์และเด็กก่อนวัยเรียน ในการเสริมไอโอดีน จะเสริมอยู่ในรูปของเกลือโปตัสเซียมไอโอได (KIO₃) ในปริมาณที่มากพอที่ผู้บริโภคควรจะได้รับในแต่ละวัน

Sanikomkiat (1995) ได้ศึกษาวิธีการให้ความร้อนแห้ง (Dry Heat Treatment) แก่ข้าวก่อนการเตรียมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Quick Cooking Rice) จากข้าวขาวดอกมะลิ 105, สุพรรณบุรี กข87 และรวมแก้วที่ผ่านการขัดสีจนขาวพบว่า ข้าวขาวที่ผ่านการให้ความร้อนแห้งที่ 80 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ก่อนแล้วนำมาต้มในน้ำ (ข้าว : น้ำเท่ากับ 1 : 9) หลังจากนั้นจึงล้างข้าวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที ก่อนที่จะอบต่อที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง. จะให้คุณลักษณะของข้าวถึงสำเร็จรูป และการยอมรับจากผู้ชิมมากกว่า

ในส่วนของภาคเอกชนในประเทศไทย บริษัท เทพทิพ จำกัด ได้พัฒนากระบวนการผลิตข้าวถึงสำเร็จรูป ข้าวสำเร็จรูปและข้าวเสริมวิตามินบี (ชื่อ B - top) ออกจำหน่ายทั้งในตลาดภายในและภายนอกประเทศ (สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย) ในส่วนของข้าวถึงสำเร็จรูป และข้าวถึงสำเร็จรูปจะอยู่ในรูปของไรซ์เค้ก (Rice Cake) และ Ready - to-Eat-Rice โดยใช้ข้าวขาวเป็นวัตถุดิบในการผลิต (เทอดศักดิ์, 2536)

ในการเก็บรักษาข้าว Dhaliwal et. al.(1990) ศึกษาผลของการทำแห้งและเก็บรักษาข้าวเปลือก พบว่าการทำแห้งก่อนการเก็บรักษาจะไม่ทำให้ข้าวเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในส่วนที่เป็นกรดไขมันยกเว้น กรดพาลมิติก (Palmetic Acid) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นส่วนการรักษาระยะเวลานาน ๆ จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน โดยที่ปริมาณของกรดพาลมิติก กรดพาลมิโตเลอิก (Palmetoleic Acid) และกรดสเตียริก (Stearic Acid) ลดลง ในขณะที่ปริมาณของกรดโอเลอิก (Oleic Acid) เพิ่มขึ้น

แม้ว่าข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีก็ตาม แต่อายุการเก็บรักษาโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 3-4 เดือนทั้งนี้การเสื่อมเสียของข้าวกล้องเกิดขึ้นเนื่องจากในข้าวกล้องมีปริมาณไขมันสูง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (Lipolytic Hydrolysis) กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid , FFA) โดยมีเอนไซม์ไลเปส (Lipases) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและปฏิกิริยาออกซิเดส (Autoxidation Photo-oxidation) ซึ่งทำให้ไขมันย่อยสลายและกรดไขมันอิสระกลายเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) โดยการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระในการถูกออกซิเดสช่วงที่มีเอนไซม์ไลโปออกซิจีเนส (Lipoxygenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากนั้นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารที่มีกลิ่นหืน (Champange,1994)

การยับยั้งการเสื่อมเสียของข้าวกล้องที่เกิดขึ้นมีผู้ศึกษา โดยการใช้ความร้อนในลักษณะเป็นลมร้อนและการต้มข้าวกล้องจะทำให้เสียสภาพธรรมชาติ (Denature) แต่วิธีการนี้ทำให้ข้าว

กลีงเกิดการพองตัวเพราะมีกลิ่นใหม่ได้ ในกรณีที่ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ และเกิดการสูญเสียวิตามินรวมทั้งแร่ธาตุที่สามารถละลายไปกับน้ำในระหว่างการต้มได้ (Alexader et. al.,1954)

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารละลายอินทรีย์เช่นปิโตรเลียมอีเทอร์(Petroleum Ether) (Champagne et al.1991) ในการสกัดแยกเอาส่วนที่เป็นกรดไขมันด้วยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส โดยที่เม็ดแป้งในข้าวกล้องไม่เกิดการเจลาติไนส์ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังเกิดการสูญเสียไทอามีน (Thiamin) และยังทำให้ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการมีกลิ่นของสารเคมีที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

ต่อมา Champagne และ Hron (1992) และ Champagne et. al. (1993) ได้เสนอวิธีการที่จะยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องโดยการให้ใช้ไฮแอลกอฮอล์ ในการยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันหรือย่อยสลายไขมันดังกล่าวแล้วข้างต้นไม่มีปัญหาการสูญเสียปริมาณไทอามีนและโทโคฟีโนล (Tocophenol) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไฮแอลกอฮอล์ไม่ทำให้เม็ดแป้งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนส์และสามารถลดปริมาณของจุลินทรีย์ได้



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์ขาวตาแห้ง จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ที่ผ่านการขัดสีที่ระดับการขัดสี 70 % (ระดับการขัดสี = ปริมาณข้าวกล้องที่ได้ / น.น.ข้าวเปลือก x 100) ด้วยเครื่องสีข้าวป่นแก้ว ข้าวเปลือกทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 14%

3.1.2 ถุงพลาสติก Polypropylene (PP) ขนาด 6x9 นิ้ว ตราจรเข้คู่ บริษัทนำเจริญ

3.2 อุปกรณ์ในการผลิตและวิเคราะห์

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ

3.2.1.1 เครื่องไล่อากาศ (Exhuaster) BWS	ไทย
3.2.1.2 เครื่องอุโมงค์ไมโครเวฟ สจล. สกว.1	ไทย
3.2.1.3 ชุดรวมไอแอลกอฮอล์ สจล. สกว.2	ไทย
3.2.1.4 เครื่องวัด-อ่านค่าอุณหภูมิ (Infrared Thermometer) CHINO	ญี่ปุ่น
3.2.1.5 ตะแกรงลวดกรอบไม้ ขนาด 11x 22 นิ้ว	ไทย
3.2.1.6 เครื่องปิดผนึกถุงพลาสติก	ไทย
3.2.1.7 ถาดพลาสติก ขนาด 7 x 10 x 0.5 นิ้ว	ไทย

3.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.2.2.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) Vitatron, Vitale Scientific	เนเธอร์แลนด์
3.2.2.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) Suntex SP - 701	ญี่ปุ่น
3.2.2.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง(Centrifuge)Kontron T42 K	อิตาลี
3.2.2.4 ตู้อบความร้อน(Hot air oven) 040 Memmert	เยอรมัน
3.2.2.5 เครื่องชั่งสาร PT 210	เยอรมัน
3.2.2.6 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) SS - 320	ญี่ปุ่น
3.2.2.7 เครื่องบดข้าวและตะแกรงแยกขนาด 200 เมช	เยอรมัน
3.2.2.8 เครื่องบดข้าวPhillip รุ่น HR 2835	เม็กซิโก
3.2.2.9 เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ (Letitre Alcoometrique)Dujardin -	ฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.10 โถควบคุมความชื้น (Desiccator)

3.2.2.11 อลูมิเนียมแกน

3.2.2.12 เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Auto-titration) SCHOTT GERATE

3.2.2.13 อุปกรณ์เครื่องแก้ว และ เคมีภัณฑ์

3.2.2.14 เครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) Kontron รุ่น

SFM 23 /B

3.2.2.15 ชุดวิเคราะห์โปรตีน Gerhardt , เยอรมัน

3.2.2.16 ชุดวิเคราะห์ไขมัน Gerhardt เยอรมัน

3.2.2.17 ชุดวิเคราะห์เยื่อใย Gerhardt เยอรมัน

3.3 สถานที่ทดลอง

3.3.1 ห้องปฏิบัติการขบวนการแปรรูป ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง ใช้เครื่องมือของกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบเป็นข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องขาวตาแห้ง โดยนำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture) โปรตีน (Crude Protein) เยื่อใย (Crude Fiber) และคาร์โบไฮเดรต (Total Carbohydrate) ด้วยวิธีการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบแบบ Proximate (Proximate Analysis) (AOAC, 1995) ปริมาณอะไมโลสและปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA)

3.4.1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) โดยวิธีของ AOAC, Method No.925.10 (1995:Chapter 32 หน้า 1)

เตรียมอลูมิเนียมแกน และฝา ที่เย็น และทราบน้ำหนักแน่นอน (โดยอบที่ 130 องศาเซลเซียส) ใส่ตัวอย่างข้าวที่บดละเอียด น้ำหนัก 2-5 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน เปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาปิดฝาทิ้งไว้ในตู้อบ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไปในการอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.4.1.2 การหาปริมาณไขมัน (Crude Fat) ใช้วิธีของ AOAC, Method No.920.85 (1995:Chapter 32 หน้า 5)

อบบิกเกอร์กันแบนที่สะอาด 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ทิ้งให้เย็นในเคสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักไว้ ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 3-4 กรัม ใส่ในกระดาษกรองต่อใส่ในทิมเบิล(Thimble) ปิดด้านบนด้วยสำลี นำทิมเบิลใส่ลงในหลอดสกัด (Extraction Tube) ที่ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ลงในบิกเกอร์ลงในบิกเกอร์กันแบน 200 มิลลิลิตร นำไปต่อกับหลอดสกัด และเครื่องควบแน่นใช้สำลีอุดปลายเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันไม่ให้ไนโตรเลียมอีเทอร์ระเหย ให้ความร้อนที่บิกเกอร์แก้วโดยไนโตรเลียมอีเทอร์สกัดไขมันออกจากตัวอย่างช้วนาน 16 ชั่วโมง ระเหยไนโตรเลียมอีเทอร์ออกจากบิกเกอร์กันแบนให้หมด นำบิกเกอร์แก้วไปอบในตู้อบที่ 100 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเคสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.4.1.3 การหาปริมาณโปรตีน (Protein) ใช้วิธีของ AOAC, Method No.984.13 (1995:Chapter 4 หน้า 11)

นำตัวอย่างช้วนล่อง 3 - 5 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นมีโปดัสเซียมซัลเฟต เป็นตัวเพิ่มจุดเดือด และคอปเปอร์ซัลเฟต เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนียมไอออน จากนั้นนำส่วนที่ย่อยเสร็จแล้วมากลั่น โดยเติมค่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ มากเกินพอ เพื่อไล่แอมโมเนียมออกมาโดยมีกรดบอริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวรองรับแล้วนำไปไตเตรตหาปริมาณแอมโมเนียมด้วย กรดซัลฟูริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน ตามลำดับ ปริมาณ โปรตีน ได้จากการคูณปริมาณร้อยละของไนโตรเจนด้วยแฟกเตอร์ 5.7 สำหรับธัญพืชต่างๆ

3.4.1.4 การหาปริมาณเยื่อใย (Crude Fiber) ใช้วิธีของ AOAC, Method No.962.09 (1995:Chapter 4 หน้า 11)

ชั่งตัวอย่างช้วนล่องที่บดแล้ว 3 กรัม (น้ำหนักคงที่) นำไปอบไล่ความชื้นและ สกัดไขมันออก ใส่ตัวอย่างลงในบิกเกอร์เติมกรดซัลฟูริก 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร ต้มเดือด 30 นาที กรองด้วยผ้ากรองโดยใช้กรวยกรอง (Buncher Funnel) แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจนหมดกรด ตรวจสอบด้วยกระดาษลิตมัส (Litmus) ถ่ายกากบนผ้ากรองลงในบิกเกอร์เดิม เติมน้ำค่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 มิลลิลิตร ต้มเดือด 30 นาที ล้างด้วยค่างอีกครั้งหนึ่ง และล้างด้วยแอลกอฮอล์สุกท้าย นำกระดาษกรองที่มีเยื่อใยอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในครุชีเบิล (Crusible) จนหมดควัน แล้วนำมาใส่เตาเผา (Muffle Furnace) อุณหภูมิ 550 - 600 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ทำให้เย็นในเคสิคเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเยื่อใย

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.4.1.5 การหาปริมาณเถ้า (Ash) ใช้วิธีของ AOAC, Method No.923.03 (1995:Chapter 4 หน้า 32)

ชั่ง ตัวอย่าง 2 - 5 กรัม ใส่ครุชเชิล (Crusible) ที่เผาในเตาเผาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ และ ชั่งน้ำหนักแล้ว เเผาบนเตาเผา (Hot Plate) จนเป็นสีเทาไม่มีควัน นำไปเผาต่อในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนเถ้าเป็นสีขาว หรือมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.4.1.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการ Total by Difference ดังนี้คือ

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

3.4.1.7 การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

1. การเตรียมตัวอย่าง บดเมล็ดข้าวตัวอย่างด้วยเครื่องบดแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช (Mesh) จากนั้นนำแบ่งตัวอย่าง ไปสกัดไขมันออกโดยใช้เอทานอล 95 % เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำแบ่งข้าวที่ได้มาแบ่งๆ ในถาดเพื่อระเหยแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ให้หมดไป และเป็นการปรับความชื้นให้สมดุลย์

2. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่าง ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดอะซิติก 1 นอร์มอลจำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำขวดไปเก็บไว้ในที่มืด 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง ที่วัดได้มาหาปริมาณอะไมโลสจากกราฟมาตรฐานโพเทโอะไมโลส

3.4.1.8 การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ของข้าวกล้องโดยดัดแปลงจากวิธีการของ AOAC Method No.923.03(1995) โดยนำข้าวกล้องตัวอย่าง 20 กรัมของน้ำหนักแห้งมาบดให้ละเอียด (ด้วยเครื่องปั่นฟิลิปส์ รุ่น HR 2835) ใส่ลงไปนกรวยแยกสาร (Separating Funnel) เติมเบนซีน (Benzene) 50 มิลลิลิตร ทำการสกัดด้วยการเขย่าด้วยมืออย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 6 นาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 (ใช้กระดาษฟิคาปิดขณะกรอง) ปิเปตสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ (Flask) จากนั้นเติมสารละลาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทานอล 95 % จำนวน 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟธาลิน 1 % เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำสารละลายไปไตเตรดกับโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีชมพูจางนาค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ โดยทำ Blank ควบคู่ไปด้วย (โดยใช้เบนซิน 20 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอล 95 % จำนวน 20 มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้ปริมาณสาร KOH ที่ใช้ในการไตเตรดแล้วนำมาคูณกับค่าแฟคเตอร์ของกรดไขมันโอเลอิกจะได้ค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA as oleic acid) ของข้าวกล้อง

$$\text{การคือน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง} = \frac{(100 - A) \times (B)}{100} \text{ กรัม}$$

- เมื่อ A = ความชื้นภายในเมล็ดข้าว
- B = น้ำหนักข้าวตัวอย่างที่ใช้
- การคำนวณกรดไขมันอิสระ = $\frac{(V - B) \times N \times 28.2 \times 2.5}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}}$
- หน่วยของกรดไขมันอิสระ = มิลลิกรัม KOH / 100 กรัม ตัวอย่างข้าว
- เมื่อ V = มิลลิลิตรของสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรดกับตัวอย่าง
- B = มิลลิลิตรของสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรดกับ Blank
- N = ความเข้มข้น(นอร์มอล)ของสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 28.2 = แฟคเตอร์ในการคำนวณ เทียบเป็นกรดโอเลอิก
- 2.5 = โมลของเบนซิน

3.4.2 ศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำและคลื่นไมโครเวฟในอุโมงค์ไมโครเวฟ

3.4.2.1 ศึกษาระยะเวลา และ อุณหภูมิในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ(Steam)ที่เหมาะสมของข้าวกล้องบนสายพาน (Conveyor) โดยเปรียบเทียบระดับการเกิดเจลาติไนส์ (Degree of Gelatinization , DG) ตามวิธีการของ Birch and Priesley (1993) และ ปริมาณความชื้นภายหลังการให้ความร้อนด้วยไอน้ำตามวิธีการของ AOAC (1995)

การทดลองในขั้นตอนนี้จะศึกษาระดับอุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำที่ 95 , 100 และ 105 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำนาน 10,20 และ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางขึ้นเพื่อการนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านธุรกิจไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60 ซม.) เติมน้ำด้วยการฉีดพ่นน้ำให้กับข้าวกล้องก่อนเข้าอุโมงค์ไอน้ำ (กว้าง 40 ซม. x ยาว 300 ซม. X สูง 35 ซม. , Trading Model BWS, Thailand) ในอัตราส่วนน้ำต่อข้าวกล้องเท่ากับ 0.3 : 1 จำนวน 3 รอบ ก่อนนำข้าวกล้องไอน้ำทุกครั้งเพื่อให้การดูดซับน้ำจากไอน้ำดีขึ้น นำตะแกรงดังกล่าวมาผ่านอุโมงค์ไอน้ำด้วยระบบ สายพานความเร็ว 0.5 ม. ต่อนาที ระดับอุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำและระยะเวลาที่กำหนด ตัวอย่างที่ได้นำมาวิเคราะห์หาระดับการเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการผลิต

3.4.2.2 ศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz. ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟบนสายพานยาว 3 เมตร เป็นการศึกษาการเพิ่มการเจลาติไนส์ของแป้งในเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ หลังจากที่ผ่านมาอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95°, 100° และ 105° เซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 30 นาที ด้วยการนำข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำในข้อ 3.4.2.1 ตามเงื่อนไขดังกล่าวมาเกลี่ยลงบนถาดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (18 ซม. X 26 ซม.) ปริมาณ 200 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อถาด โดยให้สูงเสมอบนถาด (1 ซม.) มาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2450 MHz ด้วยสายพานที่ความเร็ว 0.5 เมตร ต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที นำข้าวกล้องมาวิเคราะห์ หาระดับการเกิดเจลาติไนส์ (DG) ของแป้งในเมล็ดข้าวกล้อง ด้วยวิธีของ Brich and Priestley (1993) และหาปริมาณน้ำที่เมล็ดข้าวกล้องดูดซึมเอาไว้ในรูปของความชื้น (MC) ด้วยวิธีการของ AOAC 1995

3.4.3 การศึกษาระยะเวลาในการรมไอแอลกอฮอล์ เพื่อยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันในเมล็ดข้าวกล้อง

ในการศึกษาระยะเวลาในการรมข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์ด้วยไอแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นประมาณ 50 % ในตู้รมไอแอลกอฮอล์ โดยนำข้าวกล้องที่สะอาดทั้งสองสายพันธุ์ คือ ข้าวกล้องหอมมะลิ และ ข้าวกล้องขาวตาแห้ง มาเกลี่ยลงบนตะแกรงไม้ขนาด 28 x 60 ตารางเซนติเมตร ตะแกรงละ 0.5 ก.ก. มาผ่านเข้าไปในอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที บนสายพาน และนำมาปรับความชื้น ให้อยู่ประมาณ 25 - 27 % ด้วยการนำข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์ด้วยไอน้ำมาเกลี่ยลงบนถาดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (18 ซม. x 26 ซม.) ประมาณ 200 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อถาด โดยสูงเสมอบนถาด (ประมาณ 1 ซม.) มาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2450 MHz เป็นระยะเวลานาน 6 นาที ก่อนที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบ เพื่อใช้ในการศึกษาหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องด้วยการใช้ไอแอลกอฮอล์ 50 % ที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 0.4 ก.ก./cm² โดยการนำข้าวกล้องที่ได้มาเกลี่ยลงในตะแกรงไม้อีกครั้งหนึ่ง มีปริมาณ 0.5 ก.ก. ต่อตะแกรงนำไปวางเรียงภายในตู้รมไอแอลกอฮอล์ที่ระยะเวลานาน 5 , 10 และ 15 นาที หลังจากนั้นนำข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันมาตรวจหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ (FFA)

(AOAC , 1995) ของข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ทุกวัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อหาระยะเวลาในการรมไอแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมกับข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์

3.4.4 การพัฒนากระบวนการข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

เป็นการพัฒนาสายการผลิตต้นแบบของการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้ข้อมูลที่ได้ศึกษาหน่วยปฏิบัติการต่าง ๆ จากวิธีการทดลองในข้อ 3.4.2 และ 3.4.3 ด้วยการผ่านข้าวกล้องในอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95° , 100° และ 105° เซลเซียส นาน 30 นาที โดยต้องเพิ่มการเจลาติไนส์ของข้าวในอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz. เพื่อลดปริมาณความชื้นของตัวอย่าง โดยศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง ที่ 6,12 และ 18 นาที ตามลำดับ ตรวจสอบหาระดับการเจลาติไนส์ด้วยวิธีการของ Birch and Priestley (1973) และหาความชื้น (AOAC, 1995) ร่วมกับอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้า (T) ของข้าวกล้องด้วยวิธีการวัดแบบ Infrared Thermometer รุ่น IR-TA (Chino CO. Tokyo Japan) โดยวัดทั้งหมด 5 จุดแล้วใช้ค่าเฉลี่ย

3.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง ของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีของ Method of Assay (1966)

3.4.5.1 การเตรียมตัวอย่าง นำข้าวกล้องมาบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นขนาด 200 เมต จำนวน 15 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที นำมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรดค่าเท่ากับ 4.5 ด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตต จากนั้นนำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 250 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จะได้สารละลายตัวอย่างใส (Sample Solution) นำไปวิเคราะห์ต่อในข้อ 3.4.5.2

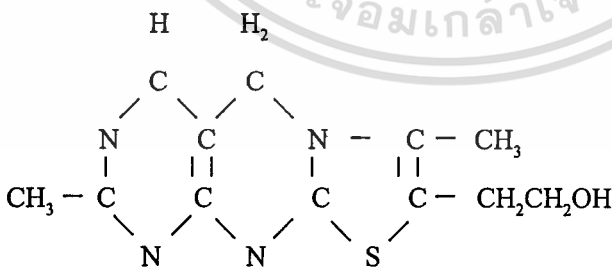
3.4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง

ขั้นตอน	ปริมาณสารละลาย	ปริมาณสารละลาย	ปริมาณสารละลาย
	Blank (ml)	ตัวอย่าง (ml)	ตัวอย่าง+สารละลายมาตรฐาน วิตามินบีหนึ่ง (ml)
Sample Solution	3	3	2
H ₂ O	3	2	2
Standard Vit. B1 (0.2 µg/ml)	-	-	1
K ₃ FeCN ₆ (1%)	-	0.4	0.4
NaOH (15%/fresh)	3	3	3

ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที เติมสารละลาย Isobutanol จำนวน 8 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด ปิดฝาแล้วเขย่า 1 1/2 นาที เปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้น ทำการดูดสารละลายส่วนใสด้านบน 4 มิลลิลิตร หยดสารละลาย Absolution Alcohol หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง Spectrofluoro - Meter ยี่ห้อ Kontron รุ่น SFM 23/B โดยใช้ค่า Emission ที่ 435 นาโนเมตร และ Excitation ที่ 365 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณหาปริมาณวิตามินบีหนึ่ง

3.4.5.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาและการคำนวณ

เมื่อเติมสาร K₃FeCN₆ ลงในสารละลายตัวอย่างที่มีวิตามินบีหนึ่ง (Thiamin) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสาร Thiamin เปลี่ยนเป็นสารที่เรียกว่า Thiochrome ซึ่งเป็นสารที่สามารถเรืองแสงได้ ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างสาร Thiochrome

ที่มา : Method of Vitamin Assay (1966 : 123 P.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง} = \frac{(S-B)/(STD-S) \times 0.2 \times (250/3) \times (100/\text{น้ำหนักตัวอย่าง})}{1000}$$

หน่วย = มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

เมื่อ S = ค่าที่วัดได้จากเครื่องของสารละลายตัวอย่าง

B = ค่าที่วัดได้จากเครื่องของสารละลาย Blank

STD = ค่าที่วัดได้จากเครื่องของสารละลายตัวอย่างผสมกับสารละลายมาตรฐานวิตามินบีหนึ่ง

0.2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานวิตามินบีหนึ่ง

250 = ปริมาณสารละลายตัวอย่างทั้งหมด

3 = ปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้

3.4.6 การนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการผลิตจากสายการผลิตจริง

ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการผลิต มาศึกษาวิธีการคืนรูปที่เหมาะสม 2 วิธี โดยคำนึงถึงระยะเวลาในการคืนรูป (ไม่เกิน 10 นาที) ดังนี้

3.4.6.1 การคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน (Gold Star Model 4610 D Korea) โดยนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมาเติมน้ำในอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำต่างกัน (100 : 150 , 200 : 270 และ 300 : 400) สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และ (100 : 150 , 200 : 300 และ 300 : 420) สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้ง ในชามแก้วที่มีฝาปิดแล้วให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นระยะเวลาที่เมื่อนำข้าวมาชิมแล้วข้าวกล้องสุกเสมอกัน และบันทึกผลระยะเวลาที่ให้ความร้อน

3.4.6.2 การคืนรูปด้วยน้ำร้อนสามารถกระทำได้โดยต้มน้ำที่สะอาด 500 มิลลิลิตร (ประมาณ 3 ถ้วยตวง) ให้เดือดในภาชนะที่สะอาดที่ตั้งอยู่บนเตาไฟ แล้วจึงเทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป 100 กรัม ลงในภาชนะ เปิดฝาภาชนะเล็กน้อยเพื่อไม่ให้น้ำเดือดล้นออกมา ต้มไฟแรงประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นลดไฟลงจนข้าวในภาชนะให้ทั่ว ตั้งไฟต่ออีก 3 นาที จากนั้นจึงยกลงจากเตาไฟ และเปิดฝารวมทั้งใช้ช้อนช่อมกนกลับข้าวให้ทั่ว แล้วปิดฝาดังตั้งไว้ประมาณ 2 นาที จะได้ข้าวกล้องที่สุกพร้อมรับประทาน

3.4.7 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิม (Organoleptic test) ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปด้วยการชิม แล้วให้คะแนน

ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคจะให้ผู้บริโภคชิมผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคืนรูปด้วยการใช้เตาไมโครเวฟโดยผู้ชิมเป็นคนสัญชาติไทย อายุระหว่าง 19 - 35 ปี ที่รับประทานข้าวสุกทุกวัน อย่างน้อยวันละ 1 มื้อ โดยผู้ชิมนี้ไม่เป็นผู้ที่ผ่านการฝึกชิมมาแต่อย่างใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการให้คะแนนนั้น จะใช้ระบบการให้คะแนนแบบ Hedonic ตั้งแต่ 1 - 9 โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด (Extremely Dislike) และ 9 = ชอบมากที่สุด (Extremely Like) จำนวนผู้ชิมที่ทดสอบ 20 คน จะให้คะแนนในคุณลักษณะของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปในด้านต่างๆต่อไปนี้ (แบบฟอร์ม ใน ภาคผนวกที่ ค) คือ

ลักษณะปรากฏ (Appearance)

การเกาะตัว (Cohesiveness or Stickyness)

ความนุ่ม (Tenderness or Firmness)

กลิ่น (Aroma)

รสชาติ (Taste)

การยอมรับโดยรวม (Overall Palatability)

น้ำหนักแห้งที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร่วมกับการทดสอบ

ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.4.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในภาชนะบรรจุเพื่อการจำหน่ายปลีก

โดยนำเอาข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมาบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรพีลีน (ขนาด 6 x 9 นิ้ว, รายละเอียดดูในภาคผนวกที่ ง) ปริมาณ 100 กรัม ต่อ ถุง ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบแห้ง ความร้อน (Hot bar seamer, Santo Thailand) หลังจากนั้นนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป จำนวน 4 ถุง มาบรรจุลงในกล่องกระดาษ (กว้าง 4 ซม. x ยาว 13.5 ซม. x สูง 20 ซม.) แล้วจึงปิดผนึกกล่องกระดาษขาว เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 6 เดือน เมื่อครบตามกำหนดเวลานำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบ

3.4.8.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

3.4.8.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOAC, 1995)

3.4.8.3 ทดสอบการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือนและชิมแล้วให้

คะแนน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกล้อง

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate (Proximate Analysis) ข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวตาแห้ง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง

องค์ประกอบ %	ข้าวกล้องพันธุ์	
	หอมมะลิ	ข้าวตาแห้ง
ความชื้น (Moisture Content)	10.56	11.45
ไขมัน (Crude Fat)	2.14	2.38
โปรตีน (Crude Protein)	7.08	8.23
เถ้า (Ash)	1.19	1.30
เยื่อใย (Crude Fiber)	1.09	1.04
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	77.94	75.6

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ค่า

การวิเคราะห์หาปริมาณของอะไมโลส (Amylose) และกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในข้าวกล้องสองสายพันธุ์ภายหลังการขัดสี ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะไมโลส และกรดไขมันอิสระของข้าวกล้อง 2 สายพันธุ์

ข้าวกล้องพันธุ์	อะไมโลส (% Drybasis)	กรดไขมันอิสระ (mmole KOH/100g grain)
หอมมะลิ	16.8	0.39
ข้าวตาแห้ง	33.5	0.29

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ค่า

4.2 ผลการศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำ และ คลื่นไมโครเวฟในอุโมงค์ไมโครเวฟ

4.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลา และ อุณหภูมิในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่เหมาะสมแก่ข้าวกล้องบนสายพาน

โดยเปรียบเทียบระดับการเกิดเจลาติไนส์ (DG, %) และหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเจลาติไนส์และปริมาณน้ำในรูปของความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้อง (MC,%) ภายหลังจากให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำ และระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำแก่ข้าวกล้อง บนสายพาน (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ระดับการเจลาติไนส์(DG) และปริมาณความชื้น (MC) ของข้าวกล้องภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ปัจจัย		ข้าวกล้องหอมมะลิ		ข้าวกล้องขาวตาแห้ง	
X_1 °ซ	X_2 นาที	DG %	MC %	DG %	MC %
95	10	38.72	41.65	40.48	35.66
95	20	53.78	43.84	50.97	40.69
95	30	66.46	52.99	51.81	46.86
100	10	42.56	47.82	46.32	35.89
100	20	57.72	46.03	61.92	41.56
100	30	69.63	52.35	63.23	45.36
105	10	44.54	46.80	51.78	39.23
105	20	61.98	50.66	67.57	41.23
105	30	71.33	52.69	66.23	45.11

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง

จากผลการทดลอง สามารถกล่าวได้ว่าข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องขาวตาแห้ง ทั้งสองสายพันธุ์ ควรจะผ่านเข้าอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95°-105°เซลเซียส เป็นระยะเวลาานาน 30 นาที เพื่อให้เมล็ดแป้งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ที่ระดับ 66.46 - 71.33 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 51.81 -66.23 % สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง สามารถดูดซับน้ำไว้ภายในเมล็ดได้ 52.35-52.99 % และ 45.11 - 46.86 % ตามลำดับ

4.2.2 ผลการศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2450 MHz ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

จากการศึกษาการเพิ่มการเจลาติไนส์ของแป้งในเมล็ดข้าวกล้องด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ พบว่าภายหลังการเกิดเจลาติไนส์แป้งในเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟที่บนสายพานมีระดับความเร็ว 0.5 เมตร/ นาที เป็นระยะเวลา 6 นาที พบว่าเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (95° , 100° และ 105° เซลเซียส) ในระยะเวลา 30 นาที นั้นทำให้ข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวตาแห้งซึ่งเดิมมี DG ระหว่าง 66.46 - 71.33 และ 51.81 - 66.23 % ตามลำดับ มีระดับการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้นทั้งสองสายพันธุ์ ในขณะที่ปริมาณความชื้นกลับลดลงดังแสดงใน ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระดับการเจลาติไนส์ (DG) และความชื้น (MC) ของข้าวกล้องภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz

พันธุ์ข้าว	อุโมงค์ไอน้ำ		อุโมงค์ไมโครเวฟ	
	DG %	MC %	DG %	MC %
หอมมะลิ 95° ซ	66.46	52.99	72.67	43.71
หอมมะลิ 100° ซ	69.63	52.35	80.72	42.34
หอมมะลิ 105° ซ	71.33	52.69	82.54	42.80
ข้าวตาแห้ง 95° ซ	51.81	46.86	57.54	38.94
ข้าวตาแห้ง 100° ซ	63.28	45.36	69.18	38.47
ข้าวตาแห้ง 105° ซ	66.23	45.11	71.78	33.64

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยในการทดลอง 2 ครั้ง

4.3 ผลการศึกษาระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์เพื่อใช้ยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันในเมล็ดข้าวกล้อง

จากข้อมูลการทดลองหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าการรมไอลแอลกอฮอล์ข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ที่ระยะเวลา 5 , 10 , 15 นาทีจะทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 24.96 - 25.99 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 23.25- 25.66 % สำหรับข้าวกล้องข้าวตาแห้ง โดยจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์มากขึ้นจะทำให้ความชื้นของข้าวกล้องมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำข้าวกล้องที่ได้ทั้งสองสายพันธุ์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นในช่วง 23 -26 เปอร์เซ็นต์ มาเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 38° เซลเซียส เพื่อพิจารณาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลสไขมันของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องไม่มีความแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(Non Significant) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.5 เนื่องจากปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นไม่แตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Champagne และ Horn (1992) และ Champagne et al (1993) ถึงแม้ว่าในการทดลองผู้ทดลองจะใช้ไอแอลกอฮอล์จากแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 4.5

ดังนั้นในหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันด้วยการรมไอแอลกอฮอล์จากความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำหนดระยะเวลาที่ใช้ได้ 5 หรือ 10 หรือ 15 นาทีก็ได้ ผลในทำนองเดียวกัน(ตารางที่ 4.5) แต่เมื่อพิจารณาถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต ระยะเวลาที่เหมาะสมและสร้างความมั่นใจในกระบวนการผลิตแล้วระยะเวลาในการรมไอแอลกอฮอล์ควรใช้ที่ 10 นาที

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของความชื้นข้าวกล้องภายใต้การรมไอแอลกอฮอล์ และปริมาณกรดไขมันอิสระภายใต้การรมด้วยไอแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 38⁰ เซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ระยะเวลาการรมไอแอลกอฮอล์ (นาที)	ความชื้น %	ข้าวกล้องหอมมะลิ FFA (% as Oleic acid)					ความชื้น %	ข้าวกล้องขาวตาแห้ง FFA (% as Oleic acid)				
		วันที่เก็บรักษา						วันที่เก็บรักษา				
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5	25.99	0.399	0.489	0.485	0.462	0.514	25.66	0.131	0.124	0.134	0.124	0.115
10	24.91	0.395	0.496	0.489	0.478	0.519	24.25	0.132	0.115	0.135	0.129	0.125
15	24.96	0.383	0.491	0.468	0.467	0.499	23.25	0.122	0.135	0.132	0.132	0.118

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

4.4 การพัฒนาแผนผังการผลิตต้นแบบของกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเต็มรูปแบบ

จากการศึกษาหน่วยการผลิตแต่ละหน่วยพบว่าแผนผังกระบวนการผลิตที่สามารถใช้ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมในข้อ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ แผนผังขบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะประกอบไปด้วยหน่วยปฏิบัติการที่จำเป็นในการผลิตคือหน่วยทำความสะอาด (Cleaning) ข้าว หน่วยการทำให้เกิดเจลาตินไนส์ (Gelatinization) หน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันด้วยการรมไอแอลกอฮอล์ (Alcohol Vapourization) การทำแห้ง (Drying) และหน่วยการบรรจุ (Packing) ดังแสดงในภาพที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องทั้งสองสายพันธุ์ที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำมาแล้วมีความชื้นอยู่ระหว่าง 52.35 - 52.99 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 45.11- 46.86 % สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเหลือ 42.34 - 42.80 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 33.64 - 38.94 % สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง (ตารางที่ 4.7) และเมื่อวัดอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าของข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องขาวตาแห้งด้วยเครื่องวัดแบบ Infrared Thermometer หลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำจะมีอุณหภูมิ (T1) อยู่ระหว่าง $70.66^{\circ} - 83.33^{\circ}$ เซลเซียส และ $70.37^{\circ} - 84.42^{\circ}$ เซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่หลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟแล้วมีอุณหภูมิ (T2) อยู่ระหว่าง $81.79^{\circ} - 86.19^{\circ}$ เซลเซียส และ $75.44^{\circ} - 81.41^{\circ}$ เซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบถึงระดับการเจลาติไนส์ระหว่างข้าวกล้องสองสายพันธุ์แล้ว ข้าวกล้องหอมมะลิมีระดับการเจลาติไนส์และความชื้นภายหลังจากผ่านหน่วยปฏิบัติการนี้สูงกว่าข้าวกล้องขาวตาแห้ง โดยข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 105° เซลเซียส จะเกิดการเจลาติไนส์สูงที่สุด (DG_1 และ DG_2 ในตารางที่ 4.6) ในขณะที่ข้าวกล้องขาวตาแห้งที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95° เซลเซียส จะเกิดการเจลาติไนส์ต่ำที่สุด (DG_1 และ DG_2 ในตารางที่ 4.6)

เมื่อนำข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยการนำมารมด้วยไอแอลกอฮอล์ ที่ได้มาจากการต้มแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50 % ในตูบไอแบบปิดที่อุณหภูมิของไอ 80° เซลเซียสนาน 10 นาทีพบว่า ไอแอลกอฮอล์ไม่ได้ทำให้การเจลาติไนส์ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้นและความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6 และ 4.7) โดยข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องขาวตาแห้ง มีระดับการเจลาติไนส์ ระหว่าง 74.59 - 85.11 % และ 58.47 - 71.47 % ตามลำดับ ในขณะที่มีความชื้นเหลืออยู่ระหว่าง 37.65 - 41.36 % และ 30.58 - 57.45 % ตามลำดับ

ข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอแอลกอฮอล์ข้างต้นมาเกลี่ยลงบนถาดพลาสติกโพลีโพรพีลีน (18 ซม. x 26 ซม.) ปริมาณ 200 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อถาดสูงเสมอขอบถาด (1 ซม.) ไปผ่านหน่วยปฏิบัติการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz เป็นระยะเวลา 6, 12, 18 นาที พบว่าในการทำแห้งข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟนาน 18 นาทีจะทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 14 % (พิจารณาค่า MC ในทุกการทดลองในตารางที่ 4.7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มีความชื้นเท่ากับ 3.97 - 12.33 % และ 4.03 - 13.93 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องขาวตาแห้งตามลำดับ ดังนั้นในการทำแห้งข้าวกล้องที่เหมาะสมคือ การนำข้าวกล้องมาผ่านคลื่นไมโครเวฟที่ 2450 MHz เป็นระยะเวลา 18 นาที นอกจากนี้ในการตรวจสอบระดับการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการทำแห้งพบว่าการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ยังส่งผลถึงการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องโดยทำให้การเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ในระหว่างการทำแห้งที่ระยะเวลา 6 นาที และ 12 นาที (DG_4 และ DG_5 ตามลำดับ) ในแต่ละการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในขณะที่การทำแห้งที่ระยะเวลา 18 นาทีทำให้มีการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นสูงที่สุดในทุกการทดลอง โดยทำให้ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับไว้สำหรับใช้ศึกษาวิจัยหรือเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลี้อหอมมะลิและข้าวกลี้อขาวตาแห้ง มีระดับการเจลาติโนสอยู่ระหว่าง 92.05 - 93.14 % และ 86.14 - 92.11 % ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการเจลาติโนสที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้งของการทดลองผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้าวพันธุ์เดียวกัน จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.8) โดยมีอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าอยู่ระหว่าง 90.02° - 111.09° เซลเซียส สำหรับข้าวกลี้อหอมมะลิ และ 93.24° - 120.34° เซลเซียส สำหรับข้าวกลี้อขาวตาแห้ง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาคืนรูปที่ได้จากการทดลองทุกการทดลอง ตัวอย่างละ 10 กรัม (น้ำหนักเปียก) มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2450 MHz พบว่าสามารถใช้เวลาในการคืนรูปไม่เกิน 10 นาที ทั้ง 2 สายพันธุ์

ดังนั้นในการทดลองปรับสายการผลิตเพื่อให้เกิดการเจลาติโนสเพิ่มขึ้น เพื่อลดระยะเวลาในการคืนรูปนี้สามารถกระทำได้กับข้าวกลี้อที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่ระดับอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับได้ โดยภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ 6 นาที ซึ่งในกรณีของข้าวกลี้อหอมมะลิจะทำให้การเจลาติโนสเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกลี้อที่มีระดับการเกิดเจลาติโนสประมาณ 90 % สามารถนำมาคืนรูปโดยใช้ระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที



ตารางที่ 4.6 ระดับการเกิดเจลาตินไนส์ (DG) ของข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

พันธุ์ข้าว	หน่วยปฏิบัติการ					
	การทำให้เกิดเจลาตินไนส์		การรวมโอแอลกอสซอลต์	การทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ^๑		
	อุโมงค์ไอน้ำ	อุโมงค์ไมโครเวฟ	50%อุณหภูมิ 80 ^๐ ซ			
	DG ₁	DG ₂	DG ₃	DG ₄	DG ₅	DG ₆
	%	%	%	%	%	%
หอมมะลิ95 ^๐ ซ	66.46 ^a	72.67 ^b	74.59 ^b	80.22 ^c	81.08 ^c	92.05 ^d
หอมมะลิ100 ^๐ ซ	69.63 ^a	80.72 ^b	80.72 ^b	85.83 ^c	85.83 ^c	92.63 ^d
หอมมะลิ105 ^๐ ซ	71.33 ^a	82.54 ^b	85.11 ^b	85.22 ^c	85.22 ^c	93.14 ^d
ขาวตาแห้ง95 ^๐ ซ	51.81 ^a	57.54 ^a	58.47 ^a	77.61 ^b	82.64 ^b	86.14 ^c
ขาวตาแห้ง100 ^๐ ซ	63.28 ^a	69.18 ^a	69.67 ^a	82.95 ^b	83.59 ^b	91.13 ^c
ขาวตาแห้ง105 ^๐ ซ	66.23 ^a	71.78 ^a	71.47 ^a	82.61 ^b	85.23 ^b	92.11 ^c

หมายเหตุ : ก. การทำแห้งข้าวกล้องด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วสายพาน 0.5 เมตรต่อนาที ที่ระยะเวลา 6 (DG₄), 12(DG₅) และ 18(DG₆) นาที

ข. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง และ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกันที่เหมือนกัน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความชื้น (MC) ที่มีอยู่ในข้าวกล้องภายหลังจากที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่าง ๆ
กระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

พันธุ์ข้าว	หน่วยปฏิบัติการ					
	การทำให้เกิดเจลาตินในสั		การรม ไอแอลกอฮอล์	การทำแห้งด้วยอุโมงค์		
	อุโมงค์ไอน้ำ	อุโมงค์ไมโครเวฟ	50%อุณหภูมิ 80 ^o ซ	ไมโครเวฟ ¹		
	MC ₁	MC ₂	MC ₃	MC ₄	MC ₅	MC ₆
	%	%	%	%	%	%
หอมมะลิ95 ^o ซ	52.99 ^a	43.71 ^b	41.36 ^b	30.72 ^c	22.94 ^d	12.33 ^e
หอมมะลิ100 ^o ซ	52.35 ^a	42.34 ^b	40.06 ^b	31.19 ^c	22.02 ^d	5.16 ^e
หอมมะลิ105 ^o ซ	52.69 ^a	42.80 ^b	37.65 ^b	26.49 ^c	17.76 ^d	3.97 ^e
ขาวดาแห้ง95 ^o ซ	46.86 ^a	38.94 ^b	36.37 ^b	29.44 ^c	21.19 ^d	13.93 ^e
ขาวดาแห้ง100 ^o ซ	45.36 ^a	38.47 ^b	37.45 ^b	25.03 ^c	16.06 ^d	5.59 ^e
ขาวดาแห้ง105 ^o ซ	45.11 ^a	33.64 ^b	30.58 ^b	19.75 ^c	12.98 ^d	4.03 ^e

- หมายเหตุ : ก. การทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการการทำให้เจลาตินในสัการรมไอด้วย
อุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วสายพาน 0.5 เมตร ต่อนาที ที่ระยะเวลา 6 (MC₄),
12(MC₅) และ 18(MC₆) นาที
- ข. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่
ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกันที่เหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิที่ผิวหนัง (T) ที่มีอยู่ในข้าวกล้องภายหลังจากที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่าง ๆ
กระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

พันธุ์ข้าว	หน่วยปฏิบัติการ					
	การทำให้เกิดเจลาติโนส		การรมไอลแอลกอฮอล์	การทำแห้งด้วยอุโมงค์		
	อุโมงค์ไอน้ำ	อุโมงค์ไมโครเวฟ	50%อุณหภูมิ 80 ^o ซ	ไมโครเวฟ ¹		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
^o ซ	^o ซ	^o ซ	^o ซ	^o ซ	^o ซ	
หอมมะลิ95 ^o ซ	72.31 ^a	81.79 ^b	ไม่ได้วัด	93.99 ^c	97.48 ^c	95.69 ^c
หอมมะลิ100 ^o ซ	70.66 ^a	86.19 ^b	„	94.53 ^c	94.53 ^c	108.83 ^c
หอมมะลิ105 ^o ซ	83.33 ^a	85.17 ^b	„	90.02 ^c	111.09 ^c	104.06 ^c
ขาวตาแห้ง95 ^o ซ	70.37 ^a	75.44 ^a	„	93.57 ^c	95.36 ^c	100.43 ^c
ขาวตาแห้ง100 ^o ซ	75.95 ^a	77.04 ^a	„	93.24 ^c	94.85 ^c	106.47 ^c
ขาวตาแห้ง105 ^o ซ	84.42 ^a	81.41 ^a	„	100.78 ^c	116.83 ^c	120.34 ^c

- หมายเหตุ : ก. การทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการการทำให้เจลาติโนสการรมไอลแอลกอฮอล์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วสายพาน 0.5 เมตร ต่อนาทีที่ระยะเวลา 6 (T₄), 12(T₅) และ 18(T₆) นาที
- ข. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้งและตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกันที่เหมือนกัน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

4.5 ผลการวิเคราะห์วิตามินบีหนึ่งของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป 2 สายพันธุ์ทั้งกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณวิตามินบีหนึ่ง ที่มีในข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้งสองสายพันธุ์

พันธุ์ข้าว	ปริมาณวิตามินบีหนึ่งตัวอย่างข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป						เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	
หอมมะลิ 95 ^๐ ช	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.29	0.28
หอมมะลิ 100 ^๐ ช	0.21	0.23	0.20	0.23	0.22	0.22	0.22
หอมมะลิ 105 ^๐ ช	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19
ขาวตาแห้ง 95 ^๐ ช	0.29	0.28	0.26	0.28	0.27	0.26	0.27
ขาวตาแห้ง 100 ^๐ ช	0.24	0.21	0.24	0.24	0.22	0.21	0.22
ขาวตาแห้ง 105 ^๐ ช	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.22

หมายเหตุ : หน่วยของปริมาณวิตามินบีหนึ่งคือ มิลลิกรัม/100 กรัม ข้าวกล้องที่ใช้มีระดับการขัดสี 70 %

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่งในข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าปริมาณวิตามินบีหนึ่งลดลงจากปริมาณวิตามินบีหนึ่งของข้าวกล้องที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยปริมาณวิตามินบีหนึ่งของข้าวกล้องหอมมะลิเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.324 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และ ข้าวกล้องขาวตาแห้งมีปริมาณวิตามินบีหนึ่งเริ่มต้นเท่ากับ 0.315 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

4.6 การศึกษาผลของการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการผลิตจากสายการผลิตจริงมาศึกษาวิธีการคืนรูปโดยคำนึงถึงระยะเวลาในการคืนรูป (ไม่เกิน 10 นาที)

ในการศึกษาจะใช้ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้จากการทดลองทั้ง 6 การทดลองข้อ 4.4 นำมาคืนรูปด้วยวิธีการคืนรูปที่เหมาะสม 2 วิธีคือ

4.6.1 การคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหลังการผลิตด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

โดยนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมาเติมน้ำ ในอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ(น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ต่างๆ กันดังนี้ คือ 100:150 , 200:270 และ 300:400 สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิ และ 100:150, 200:300 และ 300:420 สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้ง แล้วทำให้สุกด้วยคลื่นไมโครเวฟ จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการทำให้ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะนานขึ้นเมื่อปริมาณข้าวกล้องที่ใช้ในการคืนรูปมากขึ้น โดยมีอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ(น้ำหนัก ต่อน้ำหนัก) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ข้าวกล้องไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องกิ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิจะใช้ระยะเวลาในการคั้นรูปสั้นกว่าข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้งในทุกอัตราส่วน ดังนั้นในการคั้นรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ของข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10 นาที ต่อการคั้นรูปข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน 1 ถุง (100 กรัม) โดยเมื่อนำออกจากเตาไมโครเวฟแล้วควรจะต้องปิดฝาภาชนะเอาไว้ก่อนสักเล็กน้อยเพื่อให้ไอน้ำที่เดือดอยู่ได้ลดการเดือดลงแล้วจึงเปิดฝาใช้ช้อนส้อมคนกลับข้าว แล้วชิมข้าว

4.6.2 การคั้นรูปข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปหลังการผลิตด้วยน้ำร้อน

การคั้นรูปด้วยน้ำร้อนสามารถกระทำได้โดยต้มน้ำในอัตราส่วนข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ในภาชนะที่สะอาดตั้งอยู่บนเตาไฟจนกระทั่งน้ำเดือดแล้วจึงเทข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปลงไปพร้อมปิดภาชนะตั้งทิ้งไว้ 5 นาที หลังจากนั้นลดไฟลงตั้งต่อไปอีก 3 – 5 นาที จึงยกลงจากเตาไฟ และเปิดฝาภาชนะพร้อมทั้งใช้ช้อนส้อมคนกลับข้าวให้ทั่วแล้วปิดฝาทิ้งไว้ อีกประมาณ 2-3 นาที ก็จะได้ข้าวกล้องที่สุกพร้อมรับประทานระยะเวลาในการคั้นรูปด้วยน้ำร้อนของข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องขาวตาแห้ง ที่เหมาะสมคือ 10 และ 15 นาที ตามลำดับ โดยอัตราส่วนของน้ำที่ใช้มีแนวโน้มลดลง เมื่อคั้นรูปข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปในปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับการคั้นรูปในข้อ 4.6.1 แต่การคั้นรูปข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้งจะใช้ระยะเวลาในการคั้นรูปนานกว่าข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปขาวตาแห้งมีสูงกว่าทำให้การเจลาติไนส์ และการดูดซึมน้ำยากกว่าข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปหอมมะลิ

ตารางที่ 4.10 ระยะเวลาในการคั้นรูปข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

พันธุ์ข้าว	อัตราส่วนข้าวกล้องกิ่งสำเร็จรูปต่อ น้ำ (น้ำหนักต่อ น้ำหนัก)		
	100:150	200:270	300:400
หอมมะลิ95 ^๐ ซ	8 นาที	9 นาที	10 นาที
หอมมะลิ100 ^๐ ซ	8 นาที	9 นาที	10 นาที
หอมมะลิ105 ^๐ ซ	8 นาที	9 นาที	10 นาที
	100:150	200:300	300:420
ขาวตาแห้ง95 ^๐ ซ	9 นาที	10 นาที	12 นาที
ขาวตาแห้ง100 ^๐ ซ	9 นาที	10 นาที	12 นาที
ขาวตาแห้ง105 ^๐ ซ	9 นาที	10 นาที	12 นาที

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.11 ระยะเวลาในการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยน้ำร้อน

พันธุ์ข้าว	อัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำร้อน (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)		
	100:500	200:700	300:850
หอมมะลิ95 ^o ซ	10 นาที	10 นาที	10 นาที
หอมมะลิ100 ^o ซ	10 นาที	10 นาที	10 นาที
หอมมะลิ105 ^o ซ	10 นาที	10 นาที	10 นาที
	100:500	200:750	300:1000
ขาวตาแห้ง95 ^o ซ	15 นาที	15 นาที	15 นาที
ขาวตาแห้ง100 ^o ซ	15 นาที	15 นาที	15 นาที
ขาวตาแห้ง105 ^o ซ	15 นาที	15 นาที	15 นาที

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง

4.7 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิม (Organoleptic test) ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยการชิมแล้วให้คะแนน

ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคชิมผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคืนรูปที่ได้จากการคืนรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟดังกล่าวแล้วในข้อ 4.6.1 โดยอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่ 100:150 และใช้ระยะเวลาในการคืนรูป 8 และ 9 นาที สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิและขาวตาแห้ง ตามลำดับ เพื่อให้ผู้ชิมชิมแล้วให้คะแนนจากการทดสอบการยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากการทดลองทั้ง 6 การทดลองในข้อ 4.4 ด้วยผู้ชิมจำนวน 22 คน เมื่อนำคะแนนที่ได้จากการชิมมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าผู้ชิมให้การยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ มากกว่าที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้งในทุกคุณลักษณะ โดยข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ100^oเซลเซียส(ตารางที่ 4.12) คือ ข้าวกล้องที่ผ่านอุณหภูมิ 100^o เซลเซียส แล้วนำมาผ่านอุณหภูมิไมโครเวฟ 6 นาที ก่อนการรมด้วยไอแอลกอฮอล์ 50 % ที่อุณหภูมิของไอ 80^o เซลเซียส นาน 10 นาที และผ่านการทำแห้งด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz เป็นระยะเวลา 18 นาที ได้รับการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด (6.909 คะแนน) ถึงแม้ว่าคะแนนเฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ 95^oซ และ 105^oซ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิเหมือนกันแล้วจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม ยกเว้นคุณลักษณะของลักษณะปรากฏ ความนุ่ม และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคืนรูป ซึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิ100^oซ นี้เมื่อคืนรูป จะให้ข้าวกล้องที่มีลักษณะปรากฏ ความนุ่มและกลิ่น ที่ผู้ชิมให้การยอมรับซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภคทดสอบด้วยการชิมแล้วให้คะแนน

พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป					การยอมรับ โดยรวม
	ลักษณะปรากฏ	การเกาะตัว	ความนุ่ม	กลิ่น	รสชาติ	
หอมมะลิ95 ^o ซ	7.136 ^a	6.318 ^a	6.182 ^a	6.864 ^a	6.500 ^a	6.727 ^a
หอมมะลิ100 ^o ซ	6.409 ^{ab}	6.772 ^a	6.727 ^b	6.727 ^a	6.681 ^a	6.909 ^a
หอมมะลิ105 ^o ซ	6.136 ^b	6.691 ^a	6.318 ^{ab}	6.455 ^{ab}	6.818 ^a	6.409 ^a
ขาวตาแห้ง95 ^o ซ	5.591 ^c	5.591 ^b	5.727 ^c	5.091 ^c	5.091 ^b	4.954 ^b
ขาวตาแห้ง100 ^o ซ	6.590 ^{ab}	5.727 ^b	6.091 ^a	6.273 ^b	5.636 ^b	5.454 ^b
ขาวตาแห้ง105 ^o ซ	6.091 ^b	5.773 ^b	6.273 ^{ab}	6.318 ^{ab}	5.364 ^b	5.591 ^b

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการชิมด้วยผู้ชิม 22 คน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกัน (ในแนวตั้ง) ที่เหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

4.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ได้จากกระบวนการผลิต หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในภาชนะบรรจุเพื่อการจำหน่ายปลีก โดยจะนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษาไว้มาตรวจเช็คปริมาณความชื้น และปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ทุก ๆ 2 เดือน ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านขบวนการแปรรูปจะมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านขบวนการแปรรูปทั้ง 3 อุณหภูมิ ผลที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้ง 2 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณความชื้นและกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหลัง
จากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง

พันธุ์ข้าว	ปริมาณความชื้น (%) ^a				ปริมาณกรดไขมันอิสระ ^b			
	เริ่มต้น	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	เริ่มต้น	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ข้าวคิบบหอมมะลิ	11.08	11.16	11.42	12.36	0.37	0.85	1.32	1.47
หอมมะลิ95 ^o ช	11.04	11.14	11.43	11.68	0.24	0.25	0.26	0.30
หอมมะลิ100 ^o ช	9.53	9.65	9.79	10.59	0.21	0.22	0.23	0.28
หอมมะลิ105 ^o ช	10.12	10.32	11.16	11.58	0.21	0.22	0.22	0.26
ข้าวคิบบขาวตาแห้ง	10.98	10.88	10.75	10.95	0.29	0.66	0.97	1.12
ขาวตาแห้ง95 ^o ช	10.15	10.48	10.81	10.55	0.15	0.15	0.16	0.19
ขาวตาแห้ง100 ^o ช	11.21	11.59	11.81	12.11	0.12	0.12	0.12	0.13
ขาวตาแห้ง105 ^o ช	11.54	11.58	11.97	12.26	0.11	0.12	0.12	0.13

หมายเหตุ : ก. ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์ เก็บทุก ๆ 2 เดือน

ข. ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์ เก็บทุก ๆ 2 เดือน

เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิมข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหลังจากการเก็บ
รักษาข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ผู้บริโภคยอมรับข้าวกล้องกึ่ง
สำเร็จรูปหอมมะลิมากกว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปขาวตาแห้ง (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการทดสอบการชิมข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังเก็บไว้ 6 เดือน

พันธุ์ข้าว	คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป					
	ลักษณะปรากฏ	การเกาะตัว	ความนุ่ม	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
หอมมะลิ95 ^o ช	6.85 ^a	6.70 ^a	7.10 ^a	7.10 ^a	6.55 ^a	6.65 ^a
หอมมะลิ100 ^o ช	6.65 ^a	6.65 ^a	6.75 ^a	6.75 ^a	7.05 ^a	7.20 ^a
หอมมะลิ105 ^o ช	6.45 ^a	6.25 ^a	6.30 ^a	6.75 ^a	7.05 ^a	6.35 ^a
ขาวตาแห้ง95 ^o ช	4.50 ^c	3.90 ^c	4.0 ^c	4.65 ^b	4.00 ^c	4.30 ^c
ขาวตาแห้ง100 ^o ช	5.70 ^b	3.90 ^c	4.45 ^c	5.30 ^b	5.00 ^b	5.35 ^b
ขาวตาแห้ง105 ^o ช	5.45 ^b	3.75 ^c	4.0 ^c	5.25 ^b	5.25 ^b	4.95 ^{bc}

หมายเหตุ : แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการชิมด้วยผู้ชิม 20 คน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยก
ขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกัน (ในแนวตั้ง) ที่เหมือนกัน หมายถึงไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 คุณลักษณะทางเคมีของข้าวกล้อง

5.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องหอมมะลิประกอบด้วยความชื้น, ไขมัน, โปรตีน, เถ้า, เยื่อใย,คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 10.56, 2.14, 7.08, 1.19, 1.09, 77.94 ตามลำดับ

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมี ของข้าวกล้องขาวตาแห้งประกอบด้วย ความชื้น, ไขมัน, โปรตีน, เถ้า, เยื่อใย,คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 11.45, 2.38, 8.23, 1.30, 1.04, 75.6 ตามลำดับ

5.1.3 ปริมาณอะไมโลสในข้าวกล้องหอมมะลิและขาวตาแห้ง คิดเป็นร้อยละ 16.8 และ 33.5 ตามลำดับ

5.1.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระของ ข้าวกล้องหอมมะลิและขาวตาแห้ง มีค่า 0.39 และ 0.29 (m mole KOH/100g) ตามลำดับ

5.2 การศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำ และ คลื่นไมโครเวฟ ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

5.2.1 ข้าวกล้องหอมมะลิและขาวตาแห้งทั้งสองสายพันธุ์ควรผ่านเข้าอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ $95^{\circ} - 105^{\circ}$ เซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้เม็ดแป้งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ที่ระดับ 66.46 – 71.33 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 51.81 – 66.23 % สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง

5.2.2 ผลของข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ และผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 6 นาที จะมีค่าการเจลาติไนส์เพิ่มสูงขึ้น และค่าของความชื้นลดลง การเจลาติไนส์ข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่ 100° เซลเซียสผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 6 นาที มีค่าที่ได้ผลใกล้เคียงกับการผ่านข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่อุโมงค์ไอน้ำ 105° เซลเซียสผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 6 นาที และผลที่ได้ดีกว่าข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิของอุโมงค์ไอน้ำ 95° เซลเซียสและผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 6 นาที ดังนั้นจึงเลือกวิธีการผ่านข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ที่อุณหภูมิของอุโมงค์ไอน้ำ 100° เซลเซียสและผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 6 นาที

5.2.3 ผลของการศึกษาระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50 % เพื่อใช้ยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันในเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 นาที จะทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 24.96 - 25.99 % สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 23.25 - 25.66 % สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง โดยจะเห็นว่า เมื่อผ่านระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์มากขึ้น จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ความชื้นของข้าวกล้องมีแนวโน้มลดลงเมื่อนำข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่มีความชื้นในช่วง 23 – 26 % มาเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 38^o เซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ปริมาณของกรดไขมันอิสระมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อพิจารณาถึงการประหยัดค่าใช้จ่าย ในการผลิต และความมั่นใจในการผลิตควรใช้ระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์ที่ 10 นาที

5.3 แผนผังต้นแบบของกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะประกอบไปด้วยหน่วยต่าง ๆ ดังนี้

5.3.1 การทำความสะอาด เลือกละเอียด รวด ทราบ เศษสิ่งของต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนมาออกให้หมด ฉีดพรมน้ำตามปริมาณที่กำหนดให้ทั่วเมล็ดข้าวกล้อง

5.3.2 การทำให้เกิดการเจลาติไนส์ด้วยการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ ที่ 100^o เซลเซียส และอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 6 นาที

5.3.3 การยับยั้งการไฮโดรไลสด้วยการรมไอลแอลกอฮอล์โดยใช้ระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์ นาน 10 นาที

5.3.4 การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟในอุโมงค์ไมโครเวฟสำหรับข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ด้วยผ่านข้าวกล้องเข้าอุโมงค์ไมโครเวฟทั้งหมด 3 รอบ โดยในแต่ละรอบจะใช้เวลานาน 6 นาที รวมเวลานาน 18 นาที

5.3.5 การบรรจุข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์หลังจากผ่านกระบวนการผลิตในหน่วยการผลิตต่าง ๆ จะใช้ถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนขนาด 6 x 9 นิ้ว น้ำหนักถุงละ 100 กรัมปิดผนึกแล้วบรรจุลงกล่องกระดาษ 4 ถุงต่อ 1 กล่อง

5.4 ผลการวิเคราะห์วิตามินบีหนึ่ง

ผลการวิเคราะห์วิตามินบีหนึ่งของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป อย่างละ 6 ตัวอย่าง ข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ปริมาณวิตามินบีหนึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าน้อยกว่าปริมาณวิตามินบีหนึ่งในข้าวกล้องที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการแปรรูป

5.5 วิธีการคืนรูปของข้าวกล้องหอมมะลิถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟ หรือการต้มด้วยน้ำร้อน

จะใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิถึงสำเร็จรูป ที่มีปริมาณ 100 – 300 กรัม และวิธีการคืนรูปข้าวกล้องขาวตาแห้งถึงสำเร็จรูปทั้ง 2 วิธี จะใช้เวลาในการคืนรูปนาน ไม่เกิน 15 นาทีต่อปริมาณข้าว 100 – 300 กรัม ในขณะที่ ถ้าหุงข้าวกล้องธรรมดาที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปจะต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานถึง 30 นาที และผลการยอมรับของผู้ชิม นิยมข้าวกล้องถึงสำเร็จรูปหอมมะลิมากกว่าข้าวกล้องถึงสำเร็จรูปขาวตาแห้ง

5.6 ข้าวกล้องถึงสำเร็จรูป หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในระบบบรรจุเพื่อการจำหน่ายปลีก

ค่าของความชื้น เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิม โดยเปรียบเทียบกับข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการขัดสีใหม่ ๆ ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิถึงสำเร็จรูป จากผลการทดลองทุกหน่วยการผลิต สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิถึงสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือข้าวกล้องหอมมะลิ ที่ผ่านหน่วยทำความสะอาดแล้วนำมาทำให้เกิดการเจลาติไนส์ ด้วยไอน้ำบนสายพาน (ความเร็ว 0.5 เมตร / นาที) ในอุโมงค์ไอน้ำที่ 100° เซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เกิดการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz. ในอุโมงค์ไมโครเวฟที่ ความเร็วสายพาน (ความเร็ว 0.5 เมตร / นาที) เป็นเวลา 6 นาที ทำให้ข้าวกล้องมีระดับการเจลาติไนส์ (Degree of Gelatinization, DG) อยู่ประมาณ 80 % และมีความชื้น 42 % หลังจากนั้นจึงนำมาผ่านหน่วยขยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยไอแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 50 % ที่อุณหภูมิ 80° เซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที และทำแห้งด้วยการทำแห้ง โดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความเร็วสายพาน 0.5 เมตร / นาที เป็นเวลา 18 นาที ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องถึงสำเร็จรูป สามารถคืนรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน ที่ความถี่ 2450 MHz. หรือต้มด้วยน้ำร้อนภายในระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที ต่อน้ำหนักข้าว 100 กรัม วิธีการดังกล่าวนี้เป็นแนวทางเบื้องต้น ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิถึงสำเร็จรูปสู่ระดับอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2539. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วาสนา วรมิทร์. 2538. **การปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอมของไทย**. พิษณุโลก : ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วุฒิชัย นาคร์รักษา. 2535. **เทคโนโลยีข้าวพิช**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- AOAC. 1995. **Official Method of Analysis**. 16th edition, edited by Patricia Cunniff. The Association Of Official Analytical Chemists (AOAC) International, Virginia USA.
- Atallah, K. and Durani, O. 1948. **Quick - Cooking Rice and Process**. US - Patent 2, 438939.
- Bhaskar, G. et. al. 1989. **Effect of Phosphate and Citrate on Quick - Cooking of Rice**. Journal of Food Science and Technology. 26(5): 286-287.
- Bhattacharya, K. R. and Sowbhagya, C.M. 1971. **Water Uptake by Rice During Cooking**. Cereal Science Today. 16(12): 420-424.
- Bhattacharya, K. R. et. al. 1972. **Interrelation Between Certain Physicochemical Properties of Rice**. Journal of Food Science. 37: 733-735.
- Brich, G. G. and Priestley, R. J. 1973. **Degree of Gelatinization of Cooked Rice**. Die Starke. 25 (3): 98-100.
- Chakrabrathy, T. K. and Dwarakanath, K. R. 1980. **Studies on Some Aspects of Instantization of Rice**. Journal of Food Science and Technology. 17(4): 159-161.
- Champange, E. T. et. al. 1991. **Stabilizing Brown Rice Products by Aqueous Ethanol Extraction**. Cereal Chem. 68 (3): 267-271.
- Champange, E. T. and Horn, R. J. 1992. **Stabilizing Brown Rice to Lipolytic Hydrolysis by Ethanol Vapours**. Cereal Chem. 69(2): 152-156.
- Champange, E. T. et. al. 1993. **Stabilizing Unmilled Brown Rice by ethanol Vapours**. US-Patent. 5,209,940.
- Champange, E. T. 1994. **Brown Rice Stabilization**. In. Rice Science and Thechnology. ed. by Marshall, W. E. and J. I. Wadsworth. Mercel Dekker, Inc., New York, p 17-43.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cox, J. P. and Cox, J. M. 1975. **Process for Preparing Quick-Cooking Rice.** US-Patent 3,879,566.
- Dhaiwal, et. al. 1990. **Effect of Drying and Storage on the Fatty Acid of Rice.** Journal of Food Science and Technology. 27(2): 107-108.
- Ghosh, A. K. and Mukherjee, S. 1988. **Studies on the Devenlopment of Methods for Production of Quick Cooking Rice.** Journal of Food Science and thechnology. 25(4): 182-185.
- Guraya, H. S. and Toledo, R. T. 1993. **Determiation Gelatinized Starch in Dry Starchy Product.** Journal of Food Science. 58(4): 888-898.
- Hirokawa, T. et. al. 1986. **Method for Heat Treating Brown Rice.** US-Patent 4, 582.713.
- Juliano, B. O. 1971. **A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose.** Cereal Science Today. 16 (10): 334 -340.
- Juliano, B. O. et. al. 1990. **Grain Quality Characteristics of Export Rices in Selected Markets.** Cereal Chem. 67(2): 192-197.
- Kester, E. B. 1951. **Stabilization of Brown Rice.** US-Patent. 2,538,007.
- McCabe, D. 1976. **Process for Preparing Quick-Cooking Brown Rice and the Resulting Product.** US-patent. 3,959,515.
- Prabhakara Bhat, B. et. al. 1973. **Studies on Development of Quick-Cooking Rice.** Indian Food Package. 44-45.
- Smith, D. A. et. al.1985. **Chemical Treatment and Process Modification for Producing Improved Quick Cooking Rice.** Journal of Food Science 50. 926-931.
- The Association of Vitamin Chemists. 1966. **Method of Vitamin Assay.** 3 th ed. Interscience Publishers. New York. 425p.
- Welbye, B. 1983. **Quicking Rice and Process for Making the Same.** US-patent 4, 385.074.

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสในข้าว

1. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมเอทานอล 95 % 1 มิลลิลิตร ลงไปเพื่อล้างตัวอย่างที่ติดข้างขวดแก้ว เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล จำนวน 9 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 - 24 ชั่วโมง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะไมโลส

ชั่งโพเทโดอะไมโลสบริสุทธิ์ 0.4 กรัม ใส่ลงในขวดแก้ว ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 95 % 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล จำนวน 9 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15 - 24 ชั่วโมง และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายไอโอดีน

ชั่งสารไอโอดีนจำนวน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอดีน 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไอโอดีนไว้ในขวดสีชา

4. การเตรียมสารละลายเบงก์ (Blank)

เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.09 นอร์มอล 5 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดอะซิติก 1 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 20 นาที

5. การทำกราฟสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะไมโลส

5.1 คูดสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะไมโลสใส่ขวดแก้ว วัดปริมาณขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ ปริมาณ 1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ปริมาณสารละลายดังกล่าวจะเทียบเท่ากับอะไมโลสร้อยละ 8,16,24,32 และ 40 ของอะไมโลสแป้ง)

5.2 เติมน้ำกลั่นจำนวน 50 มิลลิลิตร

5.3 เติมสารละลายกรดอะซิติก 1 นอร์มอล จำนวน 0.2,0.4,0.6,0.8 และ 1 มิลลิลิตร

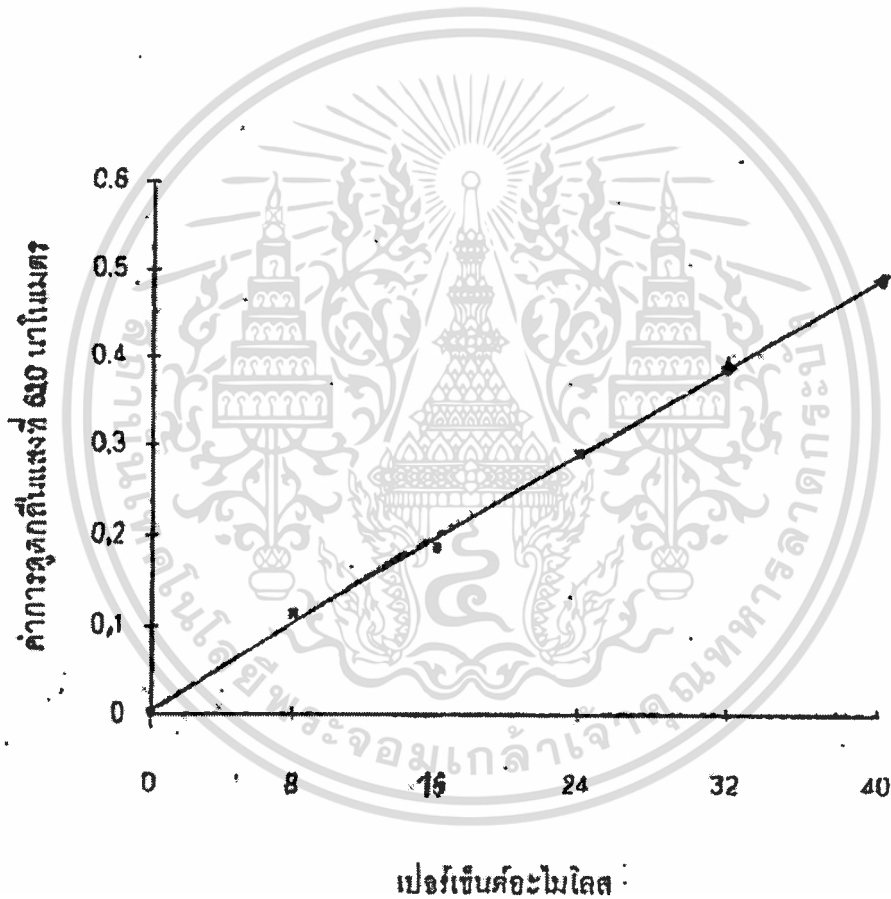
5.4 เติมสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร

5.5 เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

5.6 นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

ตาราง ก. แสดงค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานอะไมโลสที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

ปริมาณสารละลายมาตรฐานอะไมโลส (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.102
2	0.188
3	0.286
4	0.382
5	0.464



แสดงกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

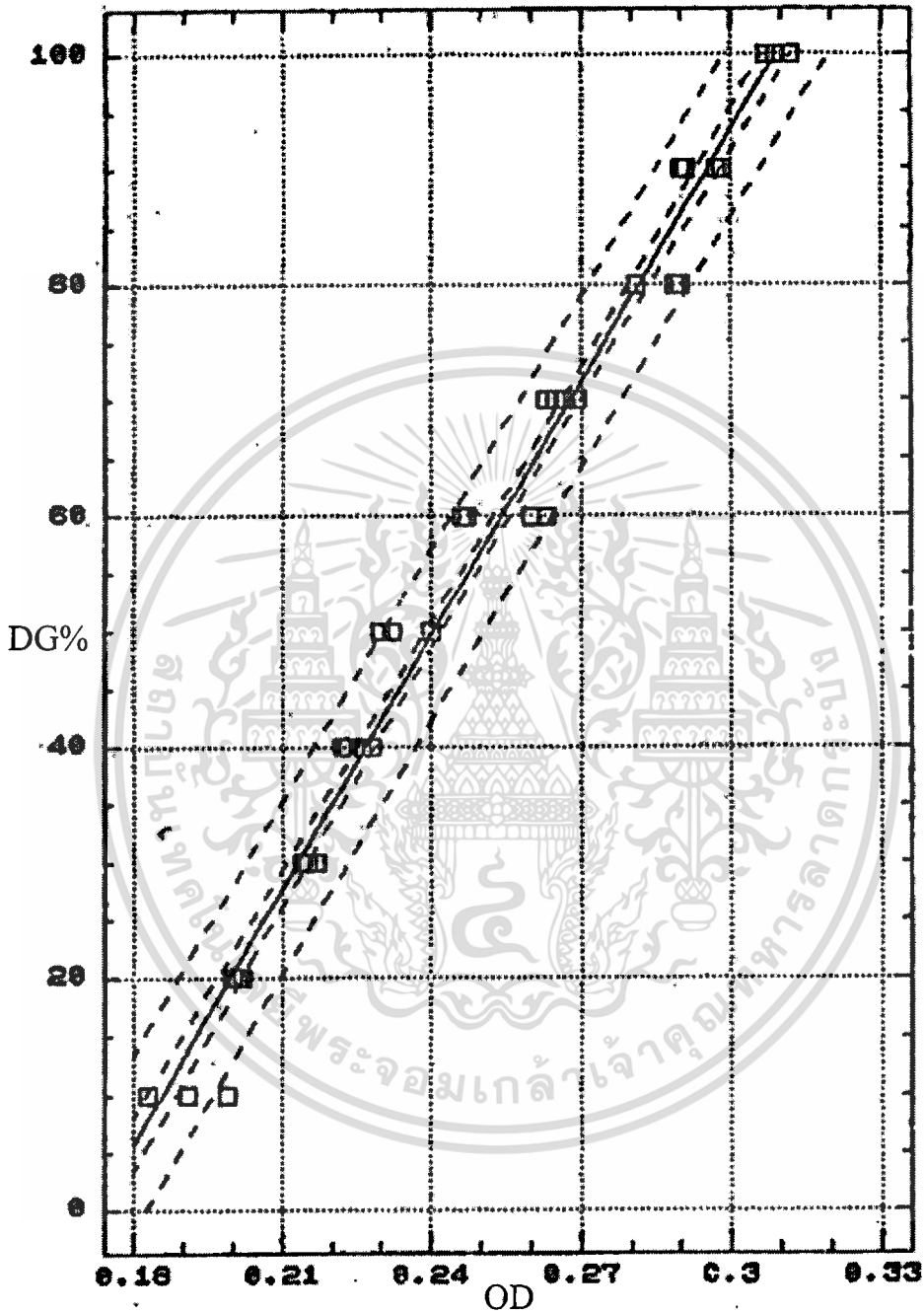
วิธีการวิเคราะห์หาอัตราการเกิดเจลลาคีในสีของข้าวกล้อง

การหาอัตราการเกิดเจลลาคีในสีของข้าวสุก (Degree of Gelatinization of Cooked Rice)

(Birch and Priestley 1993)

1. การทำกราฟมาตรฐาน นำตัวอย่างข้าวกล้องมาเติมน้ำอัตราส่วน 1 : 2 นำเข้าหม้อหนึ่ง ความดันไอ (Autoclave) ที่ 15 Psi เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวเกิดการ เจลลาคีในสี 100 % แล้วทำให้แห้งด้วยการเกลี่ยใส่ถาดเข้าตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส บดข้าวที่เจลลาคีในสี 100 % ร่อนผ่านตะแกรง (Sieve) ขนาด 200 เมส หลังจากนั้น นำไปผสมกับข้าวดิบที่ผ่านการบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมส เพื่อให้ได้อัตราการเกิดเจลลาคีในสีเป็น 0 , 10 , 20 , 30 , 40 , 50 , 60 , 70, 80 , 90 และ 100 % เติมน้ำ 98 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 10 โมล 2 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆเป็นเวลา 5 นาที นำไปเหวี่ยง แล้วบีบคั้นส่วนของสารละลายใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร (Volum flask) 10 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมล จำนวน 0.4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 10 มิลลิลิตร เติมไอโอดีน รีเอเจนต์ (Iodine Reagent) (เตรียมโดยชั่งไอโอดีน 1 กรัม และ โพตัสเซียมไอโอไดด์ 4 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร) 0.1 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่า การดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้แบลนค์ (Blank) ปรับค่าก่อนทำการวัด นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

2. การวิเคราะห์หาอัตราการเกิดเจลลาคีในสีของตัวอย่างต้มข้าวที่อุณหภูมิ น้ำเดือด โดยใช้ระยะเวลาในการต้มต่าง ๆ กัน เทน้ำข้าวทิ้งและริน (Rinsing) ด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง เทน้ำทิ้งอีกครั้ง และทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดและร่อน ผ่านตะแกรงขนาด 200 เมส จากนั้นชั่งตัวอย่างข้าว 0.2 กรัม และเติมน้ำ 98 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำตามวิธีการทำกราฟมาตรฐาน ข้อ 1 นำค่าการดูดกลืนแสง (ภาพที่ ข.1 สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ ข.2 สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง) ของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้ มาหาอัตราการเกิดเจลลาคีในสี จากกราฟมาตรฐาน



$$DG(\%) = 731.06 (OD) - 125.81$$

ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณDG(%) ของข้าวกล้องหอมมะลิที่ 620 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณทางสถิติของสมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณ DG (%) ของข้าวกล้องหอมมะลิ ที่ 620 นาโนเมตร

Regression Analysis- Linear model : $y = a+bx$

Dependent variable : DG (%)

Independent variable : OD

Parameter	Estimate	Standard Error	T-Value	Prob. Level
Intercept	-125.81	3.68537	-34.1377	0.00000
Slope	731.062	14.7191	49.6676	0.00000

Analysis of Variance

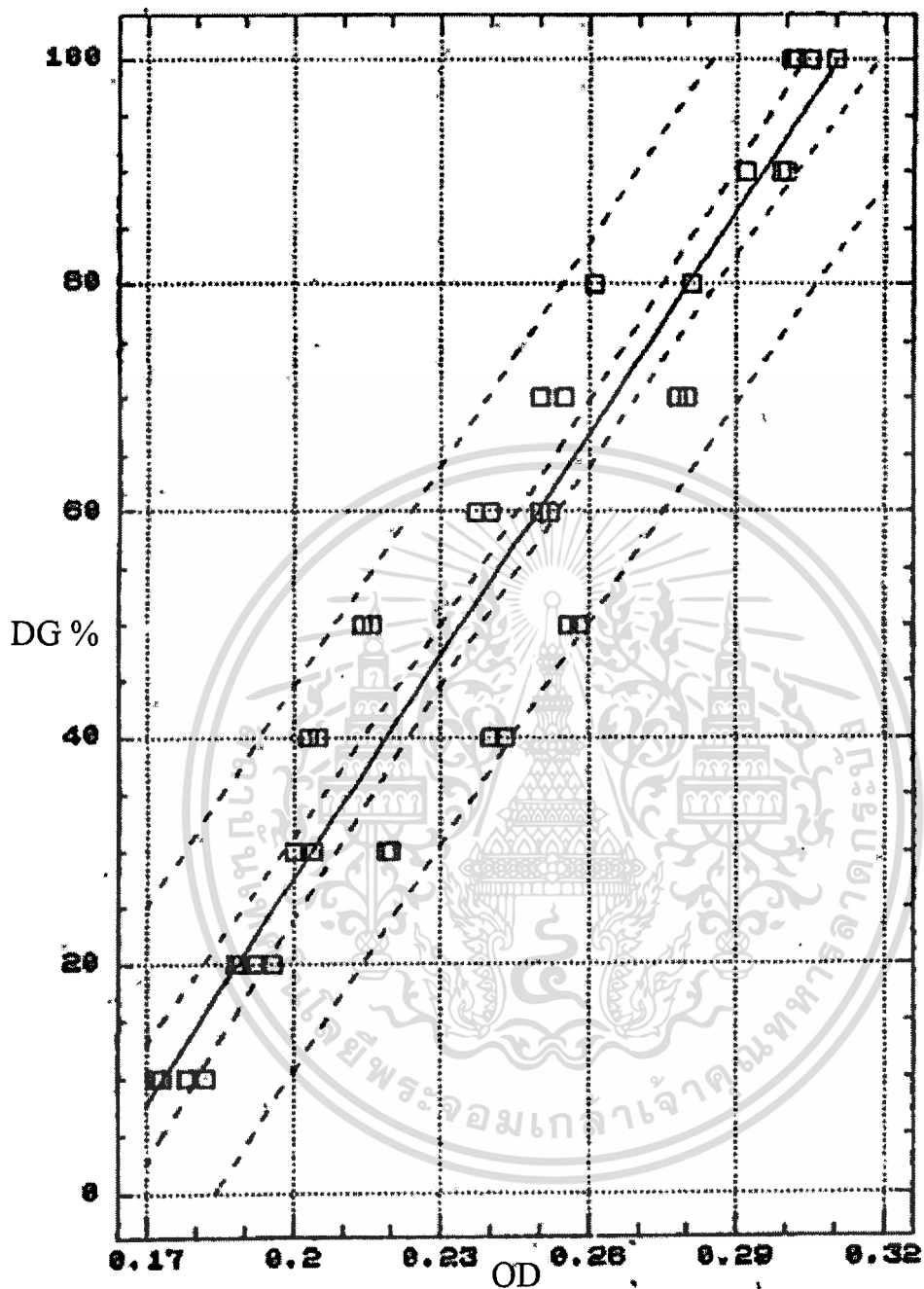
Source	Sum of square	DF	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	32499.372	1	32499.372	2466.86	0.00000
Error	500.62758	38	13.17441		
Total (Corr)	33000.000	39			

Correlation Coefficient = 0.992386

R-Square = 98.48

Std.Error of Est = 3.62966

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$DG (\%) = 655.39 (OD) - 103.23 \text{ ที่ } 620 \text{ nm.}$$

ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณDG(%)ของข้าวกล้องขาวตาแห้งที่620นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณทางสถิติของสมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณ DG (%) ของข้าวกล้องขาวตาแห้ง ที่ 620 นาโนเมตร

Regression Analysis- Linear model : $y = a+bx$

Dependent variable : DG (%)

Indepent variable : OD

Parameter	Estimate	Standard Error	T-Value	Prob. Level
Intercept	-103.52	7.5177	-13.7795	0.00000
Slope	655.39	30.6203	21.4038	0.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	30472.408	1	30472.408	458.12	0.00000
Error	2527.5916	38	66.5156		
Total (Corr)	33000.00	39			

Correlation Coefficient = 0.96094

R-Square = 92.34

Std.Error of Est = 8.15571

ภาคผนวก ก.

แบบทดสอบการชิมผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องึ่งสำเร็จรูป

วันที่.....

ชื่อ..... อายุ.....ปี เพศ..... รับประทานข้าววันละ.....มื้อ

โปรดให้คะแนนคุณลักษณะต่าง ๆ ของข้าวตัวอย่างผลิตภัณฑ์

คุณลักษณะ Characteristics	ตัวอย่าง (Sample No.)		
ลักษณะปรากฏ (Apprance)			
การเกาะตัว (Cohesiveness or Stickness)			
ความนุ่ม (Tenderness or Firmness)			
กลิ่น (Aroma)			
รสชาติ (Tast)			
การยอมรับโดยรวม (Palatability)			

การให้คะแนนจะเป็นการให้คะแนนตามความชอบแบบ Hedonic Scale ตั้งแต่ 1 ถึง 9 โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike Extremely) ; 9 = ชอบมากที่สุด (Like Extrimely)

ภาคผนวก ง.

โพลีโพรพิลีน (Polypropylene , PP) มีคุณสมบัติในการต้านแรงดันขาดสูงไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่อุณหภูมิห้อง ไม่ยอมให้น้ำมัน และไขมันพืชซึมผ่าน ยอมให้ก๊าซและไอน้ำซึมผ่านได้ต่ำมาก โครงสร้างของโพลีโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัวแบบผลึก (Crystallinity) จะทำให้ความใสลดลง และอุณหภูมิในการเกิดผลึกด้วยความร้อนมีช่วงกว้างขึ้น ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นฟิล์ม มีความสามารถในการต้านทานแรงดึงขาดดีกว่าโพลีเอทธีลีน โพลีโพรพิลีนที่ใช้อยู่ปัจจุบันมี 2 ชนิดคือ

1. Cast Polypropylene (CPP) มีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำผ่านได้น้อยมาก แต่ยอมให้ก๊าซต่าง ๆ ซึมผ่านได้มาก สามารถใช้ความร้อนในการเชื่อมปิด ทนความร้อนและแรงดึงขาดสูง ต้านทานต่อการซึมผ่านของไขมัน และน้ำมัน

2. Oriented Polypropylene (OPP) มีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำผ่านได้ครึ่งหนึ่งของ CPP ยอมให้ก๊าซต่าง ๆ ซึมผ่านได้ต่ำกว่า CPP ทนความร้อน และแรงดึงขาดสูงกว่า CPP ต้านทานต่อการซึมผ่าน ของไขมันและน้ำมัน การเชื่อมปิดความร้อนทำได้ยาก

ตารางที่ ง : คุณสมบัติของถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนขนาด 6 x 9 นิ้ว 2 ประการ

คุณสมบัติ
1. อุณหภูมิในการใช้งาน (Utilization Temperature) สูงสุด (Maximum Temperature, °เซลเซียส) 130° – 140°เซลเซียสต่ำสุด (Minimum Temperature, °เซลเซียส) 0°
2. ความหนา (Thickness , ไมครอน) 25 –30
3. การยอมให้ไอน้ำซึมผ่าน (Water Vapour Transmission Rate, WVTR; g.0.025 mm/m ² .d/24 hr 90 % RH at 40°เซลเซียส
4. การยอมให้ก๊าซซึมผ่าน (Gas Transission Rate, GTR; CC.0.025 mm/cm ² .d.bar)

ที่มา : บริษัทสตรองแพ็ค จำกัด

ภาคผนวก จ.

การวัดความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

ตารางที่ จ. แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ ของแอลกอฮอล์ที่มีในสารละลายเอทานอล 50 %
เมื่อผ่านกรรมวิธีกรรมไอแอลกอฮอล์ ที่ 5 , 10 , 15 นาที

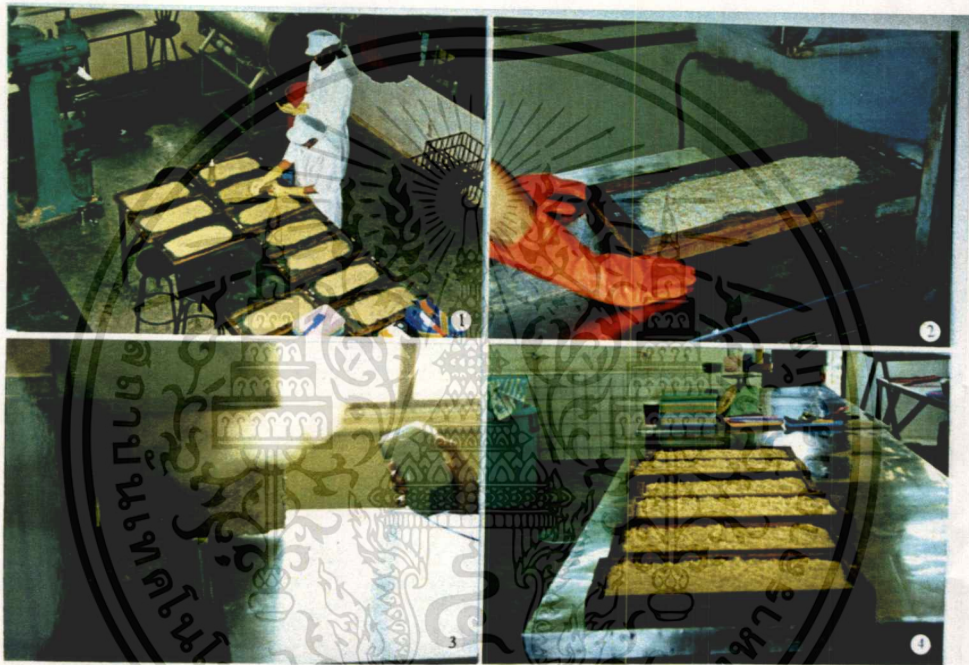
ระยะเวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่วัดได้			
	เริ่มต้นครั้งที่1	หลังกรรมวิธีครั้งที่1	เริ่มต้นครั้งที่2	หลังกรรมวิธีครั้งที่2
5	49.85	49.67	49.19	49.01
10	49.85	49.52	49.19	48.80
15	49.85	49.47	49.19	48.63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ภาพจากการทดลอง



ภาพที่ ฉ.1 แสดงการเตรียมข้าวกลิ้งผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

1. การเตรียมข้าวกลิ้ง
2. ข้าวกลิ้งผ่านเข้าอุโมงค์ไอน้ำ
3. ข้าวกลิ้งออกจากอุโมงค์ไอน้ำ และการตรวจวัดอุณหภูมิผิวหนังของข้าวกลิ้ง
4. ข้าวกลิ้งที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ฉ.2 แสดงการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟเพื่อให้อ่าวกลิ้งเกิดการเจลาติไนส์

1. อ่าวกลิ้งเข้าอุโมงค์ไมโครเวฟ
2. ชุดอุโมงค์ไมโครเวฟ
3. อ่าวกลิ้งออกจากอุโมงค์ไมโครเวฟ
4. การตรวจวัดอุณหภูมิผิวหน้าของอ่าวกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓.3 แสดงชุดและวิธีการรวมไอแอลกอฮอล์ของข้าวกล้อง

1. ชุดรวมไอแอลกอฮอล์
2. ข้าวกล้องเรียงเข้าตู้รวมไอแอลกอฮอล์
3. หม้อความดันบรรจุแอลกอฮอล์
4. ข้าวกล้องที่ผ่านการรวมไอแอลกอฮอล์

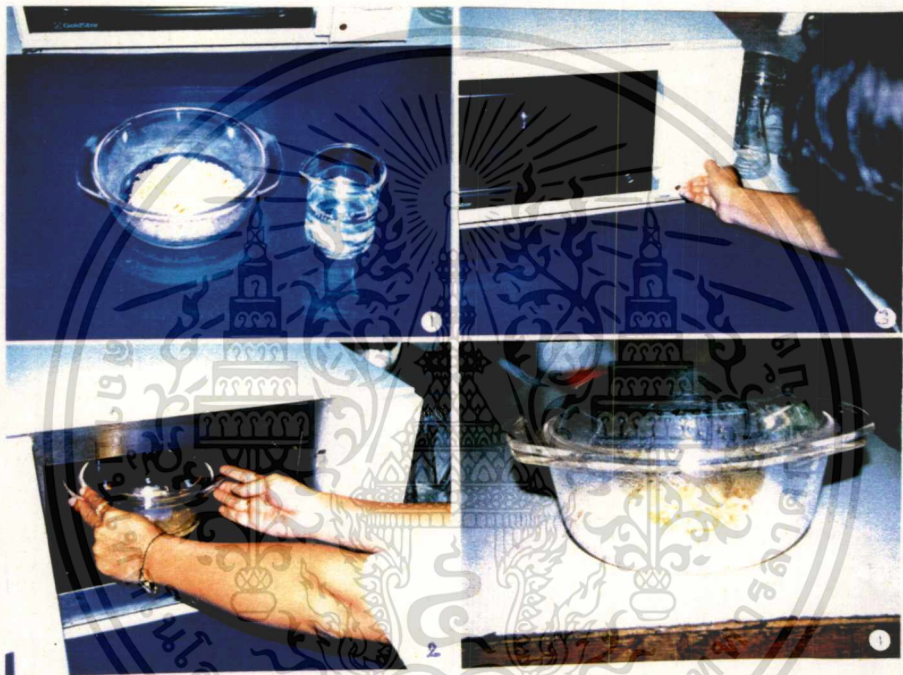
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓.๔ แสดงการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟในการทำแห้งข้าวกลิ้ง

1. ข้าวกลิ้งใส่ในถาดพลาสติก
2. ข้าวกลิ้งผ่านเข้าอุโมงค์ไมโครเวฟ
3. ชุดอุโมงค์ไมโครเวฟ
4. ข้าวกลิ้งออกจากอุโมงค์ไมโครเวฟ
5. วัตถุดิบหมักที่ผิวหน้าของข้าวกลิ้ง
6. ข้าวกลิ้งที่ทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓.๕ แสดงการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

1. เตรียมข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป และน้ำ
2. ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเข้าเตาไมโครเวฟ
3. ตั้งเวลาเตาไมโครเวฟ
4. ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ

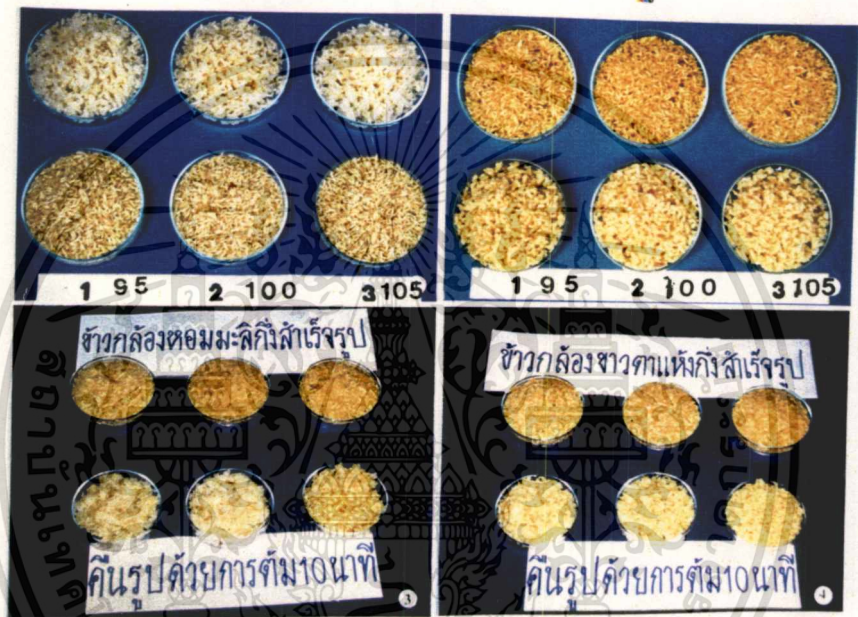
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓.๖ แสดงการคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยการต้มน้ำร้อน

1. เทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปในน้ำร้อน
2. ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปในภาชนะ
3. ปิดฝาภาชนะตามระยะเวลาที่กำหนด
4. ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปคั้นรูปด้วยน้ำร้อนพร้อมรับประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๗.7 ตัวอย่างข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปหอมมะลิ คั้นรูปด้วยเตาไมโครเวฟ และการต้มด้วยน้ำร้อน

1. คั้นรูปข้าวกลิ้งหอมมะลิด้วยเตาไมโครเวฟ
2. คั้นรูปข้าวกลิ้งข้าวตาแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ
3. คั้นรูปข้าวกลิ้งหอมมะลิด้วยการต้มน้ำร้อน
4. คั้นรูปข้าวกลิ้งข้าวตาแห้งด้วยการต้มน้ำร้อน

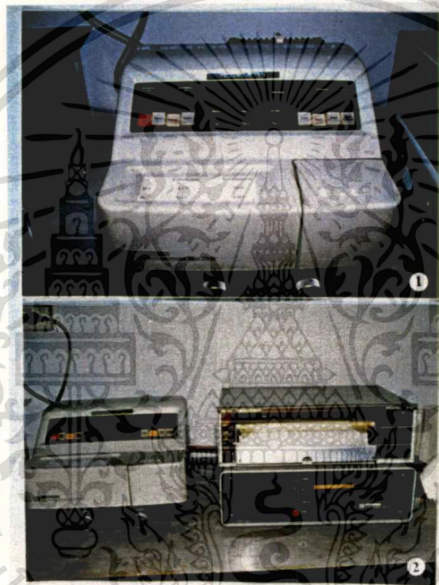
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓.๘ ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 สายพันธุ์ในภาชนะบรรจุกล่องกระดาษ

1. การปิดผนึกถุงพลาสติกบรรจุข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูป
2. ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปบรรจุในถุงพลาสติกน้ำหนัก 100 กรัม
3. กล่องกระดาษสำหรับบรรจุข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูป
4. ข้าวกลิ้งกึ่งสำเร็จรูปบรรจุ 4 ถุงต่อ 1 กล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๙.๙ เครื่องวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง
2. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีหนึ่งและเครื่องพิมพ์ค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ฉ.10 แสดงเครื่องแอลกอฮอล์มิเตอร์ และวิธีการวัดความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

1. เครื่องแอลกอฮอล์มิเตอร์ พร้อม แอลกอฮอล์
2. ตัวอย่างแอลกอฮอล์ในหม้อความดัน
3. การทดสอบแอลกอฮอล์ในหม้อความดัน
4. วัดความเข้มข้นตัวอย่างแอลกอฮอล์
5. เครื่องวัดแสดงค่าให้อ่าน
6. แสดงความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนาฏยา บาลี เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2502 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี การศึกษามัธยมศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา 2524 และศึกษาต่อในระดับ ประกาศนียบัตรบัณฑิต การประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในปี พ.ศ. 2532 เข้ารับราชการในตำแหน่งเจ้าหน้าที่งานในพระองค์ ระดับ 3 ปัจจุบันรับราชการตำแหน่ง พนักงานเอก หัวหน้าโรงงานน้ำผลไม้บรรจุกระป๋อง โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา สำนักพระราชวัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้