การปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต

THE QUALITY IMPROVEMENT OF QUICK COOKING RICE PRODUCTION BY FREEZING AND MICROWAVE TECHNIQUE

สุภาภรณ์ ธัญญะวานิช

SUPAPORN TANYAVANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-749-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต

THE QUALITY IMPROVEMENT OF QUICK COOKING RICE PRODUCTION BY FREEZING AND MICROWAVE TECHNIQUE

สุภาภรณ์ ธัญญะวานิช

SUPAPORN TANYAVANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ISBN 974-648-749-3

THE QUALITY IMPROVEMENT OF QUICK COOKING RICE PRODUCTION BY FREEZING AND MICROWAVE TECHNIQUE

SUPAPORN TANYAVANICH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2002

ISBN 974-648-749-3

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต
นักศึกษา	นางสาวสุภาภรณ์ ธัญญะวานิช
รหัสประจำตัว	42066013
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

ในการปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิตนั้น วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นตัวแทนของข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ 15.75) และข้าวขาวตาแห้งซึ่งเป็นตัวแทนของข้าวที่มีอะไมโลสสูง (ร้อยละ 33.59) โดยขั้นตอนในกระบวนการผลิตจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำให้ข้าวสุก โดยการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ด้วยอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 30 นาทีสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 30 นาทีสำหรับข้าวขาวตาแห้ง จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –20 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมงร่วมกับการเพิ่มระดับการเกิดเจลลาติไนส์และการทำแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (2450 เมกกะเฮิร์ต) ในอุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 32 นาที แล้วนำมาทำแห้งครั้งสุดท้ายด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อลดระดับความชื้น ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ร้อยละ 99.32 ± 1.30 และปริมาณความชื้นร้อยละ 8.72 ± 0.55 สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ร้อยละ 94.14 ± 2.35 และปริมาณความชื้นร้อยละ 9.53 ± 1.48 สำหรับข้าวขาวตาแห้ง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้นำมาศึกษาหาระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปโดยวิธีการใช้เตาไมโครเวฟระดับครัวเรือนและการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด พบว่าใช้ระยะเวลาในการคืนรูปสั้นกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ โดยการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธีการใช้เตาไมโครเวฟและการเติมน้ำต้มเดือดจะใช้ระยะเวลา 3 และ 4 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งใช้ระยะเวลา 5 และ 8 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ก่อนและหลังการคืนรูปโดยเปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งมีค่า Bulk density สูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มี

จำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ส่วนการตรวจสอบคุณภาพในการหุงต้มพบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีการพองตัวและมีการดูดซับน้ำสูง ในขณะข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศมีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดอยู่สูง และเมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ชิมให้การยอมรับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มากกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง

Thesis Title	The Quality Improvement of Quick Cooking Rice Production by Freezing and Microwave Technique
Student	Miss Supaporn Tanyavanich
Student ID.	42066013
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr.Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

The quality improvement of quick-cooking rice by freezing and microwave technique was study for Khoa-dog-mali 105 rice (low amylose content, 15.75%) and Khoa-ta-hang rice (high amylose content, 33.59%), its comprise three steps. The first step, the rice was gelatinized by cooking in steam tunnel at 100 $^{\circ}$C for 30 minutes for Khoa-dog-mali 105 and 105 $^{\circ}$C for 30 minutes for Khoa-ta-hang. The second step, the cooked rice was frozen for 6 hours after that the frozen rice was increased gelatinization and decreased moisture content by using 2450 MHz microwave in microwave tunnel for 32 minutes. And the final step, the rice was dried in hot air oven at 90 $^{\circ}$C for 30 minutes. Quick-cooking rice from Khoa-dog-mali 105 was 99.32 $\pm$ 1.30% degree of gelatinization and 8.72 $\pm$ 0.55% moisture content. Quick-cooking rice from Khoa-ta-hang was 94.14 $\pm$ 2.35% degree of gelatinization and 9.53 $\pm$ 1.48% moisture content.

For the study of rehydration time of the quick-cooking rice product by microwave oven and rehydration by boiled water, the rehydration time of quick-cooking rice product was shorter than commercial quick-cooking rice. The rehydration time of quick-cooking rice from Khoa-dog-mali 105 by microwave oven and rehydration by boiled water was 3 and 4 minutes, respectively while Khoa-ta-hang rice was 5 and 8 minutes, respectively. The inspections of quick-cooking rice products comparing with commercial quick-cooking rice for bulk density, cooking quality and organoleptic test were done. The bulk density of quick-cooking rice from Khoa-dog-mali 105 and Khoa-ta-hang were higher than commercial quick-cooking rice. For cooking quality of rice, quick-cooking rice from Khoa-dog-mali 105 was high volume expansion and water uptake while commercial quick-cooking rice was high total soluble solid. Organoleptic test by the untraining

panelist accepted quick-cooking rice from Khoa-dog-mali 105 more than commercial quick-cooking rice and quick-cooking rice from Khoa-ta-hang.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอพระคุณ ดร. พอใจ ถามากร และ ดร. กิตติชัย บรรจง ที่ช่วยเหลือแก้ไขและกรุณาให้คำแนะนำงานวิจัยบางส่วนจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณวีรวัฒน์ เหลืองไพบูลย์ศรี และพนักงานฝ่ายหลักประกัน และนิติกรรมของบรรษัทบริหารสินทรัพย์สถาบันการเงิน ที่ได้กรุณาสละเวลาในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ขอขอบคุณ คุณอรวรรณ ปานศิริ และคุณวรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ ผู้ช่วยเหลืองานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคน และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา พี่ น้อง และญาติมิตร ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าและโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุภาภรณ์ ธัญญะวานิช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.2 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว 4

2.2 การเกิดเจลลาติไนส์ของเม็ดแป้ง 6

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าว 7

2.4 การแช่เยือกแข็ง 10

2.5 ไมโครเวฟ 12

2.6 ข้าวหุงสุกเร็ว 15

2.7 การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน 22

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ 22

3.2 สถานที่ดำเนินงาน 23

3.3 ระยะเวลาดำเนินงาน 23

3.4 วิธีการทดลอง 24

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 29

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ 29

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ..29

4.3 การศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต 32

4.4 การศึกษาหาระยะเวลาในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ 38

4.5 การตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ 41

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 49

ข้อเสนอแนะ 51

บรรณานุกรม 52

ภาคผนวก 56

ประวัติผู้เขียน 83

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาว 5

2.2 การจำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลส 8

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของแป้งสุกกับระยะทางที่แป้งเคลื่อนที่ 9

2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก 9

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง 29

4.2 ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ.....30

4.3 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองในขั้นตอนการทำให้ข้าวสุกโดยการผ่านอุโมงค์ไอน้ำกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์และปริมาณความชื้นของข้าว 31

4.4 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลลาติไนส์กับปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ 32

4.5 ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ.....33

4.6 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการในทดลองในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าว ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวหลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ 34

4.7 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ.....36

4.8 ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และค่า Bulk density ของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ 37

4.9 ระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยการใช้เตาไมโครเวฟและการเติมน้ำร้อนที่ผ่านการต้มเดือด 39

4.10 ค่า Bulk density ของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ.....41

4.11 ค่าการพองตัว อัตราการดูดซับน้ำ และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ 43

4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆ 47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ 65

ง 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ 65

ง 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ 65

ง 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ 66

ง 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ 66

ง 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ 66

ง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ 67

ง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ 67

ง 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ 67

ง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ 68

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างพื้นฐานภายในเมล็ดข้าว 5

2.2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเปกติน 7

2.3 ผลของการแช่เยือกแข็งต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช 11

2.4 อุโมงค์ไมโครเวฟที่ใช้ทำแห้งแบบต่อเนื่อง 14

3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ 25

3.2 แผนผังขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ ในการผลิต 26

4.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ.....40

4.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวสาร 42

4.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวหุงสุกเร็ว ที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ 42

4.4 ค่าการพองตัว อัตราการดูดซับน้ำ และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของข้าวหุงสุกเร็ว ที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ 44

ข 1 กราฟมาตราฐานในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส 60

ข 2 กราฟมาตราฐานระหว่างอัตราการเกิดเจลลาติไนส์กับค่าการดูดกลืนแสงของข้าว ขาวดอกมะลิ 105 62

ข 3 กราฟมาตราฐานระหว่างอัตราการเกิดเจลลาติไนส์กับค่าการดูดกลืนแสงของข้าว ขาวตาแห้ง 62

ฉ 1 ขั้นตอนการทำให้ข้าวสุกด้วยอุโมงค์ไอน้ำ 70

ฉ 2 ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งข้าว 71

ฉ 3 ขั้นตอนการทำแห้งข้าวด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ 72

ฉ 4 ขั้นตอนการทำแห้งครั้งสุดท้ายด้วยตู้อบลมร้อน 73

ฉ 5 ขั้นตอนการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน 74

ฉ 6 ขั้นตอนการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยการเติมน้ำต้มเดือด 75

ช 1 ตัวอย่างข้าวสารเปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากการทดลอง 76

ช 2 ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่าย ในตลาดต่างประเทศ 77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ช 3 ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน 78
ช 4 ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด 79
ช 5 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ 80
ช 6 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด 81
ช 7 ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ (Minute rice) 82

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลก โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ และสามารถส่งออกข้าวสู่ตลาดโลกปีละจำนวนมากถึง 4.5 – 5.0 ล้านตัน (ศิริพล ยอดเมืองเจริญ. 2537) แต่อย่างไรก็ตามการส่งออกข้าวไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศยังต้องประสบปัญหาการแข่งขันราคาในตลาดโลก โดยเฉพาะกับประเทศที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า เช่น เวียดนาม ปากีสถาน และพม่า เป็นต้น ดังนั้นนโยบายการส่งออกข้าวของไทยควรจะเน้นเรื่องคุณภาพข้าว และลดปริมาณการผลิตข้าวให้อยู่ในปริมาณที่พอดีกับความต้องการของตลาด เพื่อป้องกันปัญหาผลผลิตข้าวล้นตลาดและราคาข้าวตกต่ำ อีกทั้งส่งเสริมการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวโดยอาศัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการแปรรูปข้าวในระดับอุตสาหกรรมให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้น (นิตยา พุทธโกษา. 2537) ซึ่งการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากข้าวหุงสุกเร็วจะช่วยลดระยะเวลาในการหุง ทำให้สามารถเตรียมได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว จึงเหมาะสำหรับนักเดินทาง ผู้ที่มีเวลาจำกัด หรือใช้ในกิจการทหาร นอกจากนี้ข้าวหุงสุกเร็วยังได้รับความนิยมสูงในตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา

สำหรับกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วนั้นได้มีมานานกว่า 50 ปีแล้ว ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อใช้เป็นอาหารเร่งด่วนหรืออาหารพร้อมบริโภค แต่อย่างไรก็ตามข้าวหุงสุกเร็วยังไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร ซึ่งอาจเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้ในการคืนรูปก่อนการบริโภคข้าวหุงสุกเร็วค่อนข้างยุ่งยากและใช้ระยะเวลาในการคืนรูปนานกว่า 20 นาที ส่วนข้าวหุงสุกเร็วภายหลังการคืนรูปแล้วมักมีลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยเมล็ดข้าวจะมีแนวโน้มแตกเป็นชิ้นเล็กๆ และมีรสชาติไม่เหมือนกับข้าวที่หุงสุกด้วยวิธีโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังมีราคาต่อหน่วยสูง (Luh. 1980) ดังนั้นหากมีการปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วให้สามารถคืนรูปโดยใช้ระยะเวลาสั้นลง และใช้วิธีในการคืนรูปที่ง่าย อีกทั้งลักษณะปรากฏและรสชาติของผลิตภัณฑ์ควรจะเหมือนกับข้าวที่หุงสุกโดยวิธีทั่วไป ซึ่งคาดว่าจะช่วยทำให้การส่งออกข้าวในรูปของข้าวหุงสุกเร็วมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต

1.2.2 เพื่อลดระยะเวลาในการคืนรูปก่อนการบริโภคของข้าวหุงสุกเร็ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต โดยข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบประกอบด้วย 2 สายพันธุ์ คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และข้าวขาวตาแห้งซึ่งใช้เป็นตัวแทนของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง โดยศึกษาระดับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ด้วยอุโมงค์ไอน้ำ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งข้าวด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ และการทำแห้งครั้งสุดท้ายด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสม จากนั้นตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้โดยการหาอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ และระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูป ตลอดจนตรวจสอบคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าว และการยอมรับของผู้บริโภคโดยเปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถปรับปรุงคุณภาพของข้าวหุงสุกเร็วโดยการใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิตได้

1.5.2 เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเจ้าเป็นพืชตระกูลหญ้า (Graminae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ***Oryza sativa L.*** ลักษณะของผลเป็นผลเดี่ยวชนิดที่มีเปลือกหุ้มเมล็ด (Covered caryopsis) เพาะปลูกกันมากในแถบทวีปเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศจีน อินเดีย ไทย เวียดนาม และฟิลิปปินส์ เป็นต้น (วุฒิชัย นาครักษา. 2535)

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เปลือกหุ้มเมล็ด (Hull or Husk) และส่วนของผล (Caryopsis) ซึ่งเมื่อขัดสีเอาส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดออกแล้วจะเหลือส่วนผล ซึ่งส่วนผลนี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

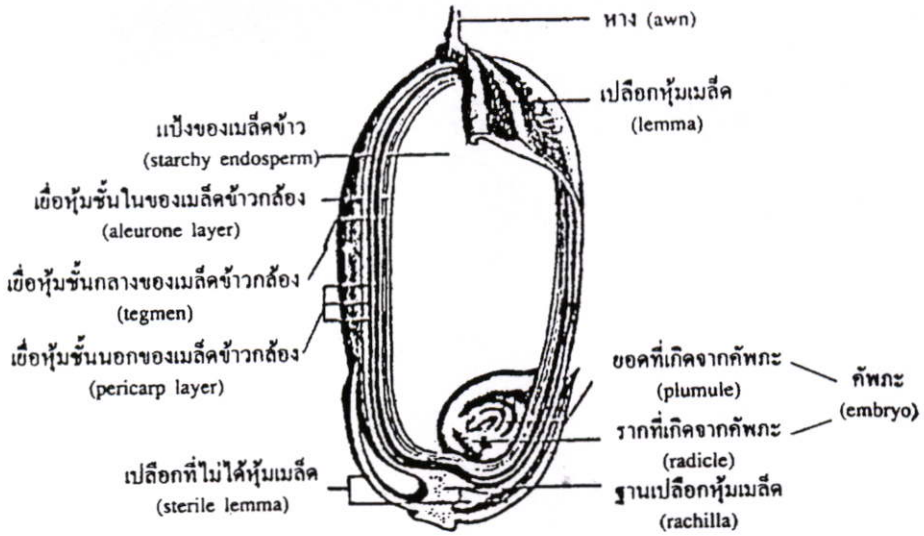
2.1.1.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกหุ้มเมล็ด ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ประกอบด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสสูง

2.1.1.2 เปลือกหุ้มผล (Seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไป เป็นเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกัน ประกอบด้วยไขมันสูง

2.1.1.3 ชั้นอัลลูโรน (Aleurone layer) เป็นเซลที่มีผนังหนาเรียงต่อกันประมาณ 1 – 7 ชั้น หุ้มทั้งเมล็ด ประกอบด้วยโปรตีนและไขมันสูง

2.1.1.4 เอนโดสเปอร์ม (Endosperm) เป็นส่วนที่มีแป้งอยู่สูงถึงร้อยละ 90 ในรูปของเม็ดแป้ง (Starch granule) ที่อัดตัวกันแน่นรวมเป็นสารประกอบแป้ง (Starch compound) และในส่วนนี้ยังมีโปรตีน (Protein body) แทรกอยู่ระหว่างเม็ดแป้งประมาณร้อยละ 8 - 10

2.1.1.5 คัพภะหรือเอมบริโอ (Embryo) จะอยู่ด้านล่างของเมล็ด เป็นแหล่งของสารอาหารจำพวก โปรตีน ไขมัน และวิตามินต่างๆ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานภายในเมล็ดข้าว

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (2539)

2.1.2 องค์ประกอบที่สำคัญของข้าว

เมื่อนำข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกและขัดสีเอาส่วนของแกลบ และรำออกแล้ว จะได้ข้าวสารที่มีสีขาว ซึ่งเป็นส่วนของเอนโดสเปอร์มที่เราใช้บริโภค ดังนั้นข้าวจึงมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย

ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาว

สารอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.0
โปรตีน	6.7
ไขมัน	0.4
เยื่อใย	0.3
แป้ง	80.1
เถ้า	0.5

ที่มา : Kent (1983)

2.1.2.1 คาร์โบไฮเดรต จะสะสมอยู่ในรูปของสตาร์ช และน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโตเซนซึ่งอยู่ในส่วนของเยื่อใย ในการขัดสีข้าวจะพบองค์ประกอบเหล่านี้มากในข้าวกล้อง ข้าวสาร รำหยาบ และรำละเอียด โดยสตาร์ชที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอะไมโลสประมาณร้อยละ 12 – 35 และอะไมโลเปกตินร้อยละ 65 – 88 ส่วนองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลจะพบมากในส่วนของคัพภะและรำข้าว และส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโตเซนจะพบเฉพาะในส่วนของแกลบเท่านั้น

2..1.2.2 โปรตีน มักพบในส่วนของคัพภะประมาณร้อยละ 19–27 ของน้ำหนักของคัพภะ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายอยู่หลายชนิด โดยมีลิวซีน (Leucine) สูงที่สุด รองลงมาคือ วาลีน (Valine) และไลซีน (Lysine) ตามลำดับ

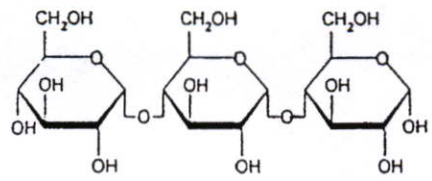
2.1.2.3 ไขมัน เป็นองค์ประกอบที่พบมากในคัพภะ รำหยาบ และรำละเอียด ตามลำดับ โดยไขมันส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ เช่น กรดพาลมิติก (Palmetic acid) กรดโอเลอิค (Oleic acid) และกรดลิโนเลอิค (Linoleic acid) เป็นต้น

2.1.2.4 วิตามิน เป็นองค์ประกอบที่พบในส่วนของรำหยาบ รำละเอียด และคัพภะที่ได้จากการขัดสี ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอะซิน

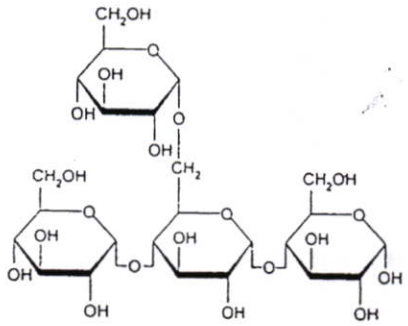
2.1.2.5 เกลือแร่ เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในส่วนของแกลบ รองลงมาคือ รำหยาบ คัพภะ และรำละเอียด ตามลำดับ โดยแร่ธาตุที่พบมากที่สุด ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม ซิลิกอน และแคลเซียม

2.2 การเกิดเจลลาติไนส์ของเม็ดแป้ง

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งซึ่งประกอบด้วยโพลีเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลสเปกติน โดยอะไมโลสจะเป็นโพลีเมอร์ชนิดที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิค ส่วนอะไมโลเปกตินจะมีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งหรือสาขา ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิคในช่วงที่เป็นสายตรง และแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิคในช่วงที่เป็นกิ่งหรือสาขา (วุฒิชัย นาครักษา. 2536)



อะไมโลส



อะไมโลเปกติน

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเปกติน
ที่มา : Oates (1997)

คุณสมบัติเด่นของเม็ดแป้งในน้ำในระหว่างการให้ความร้อนนั้น พบว่าแต่เดิมเม็ดแป้งจะไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะค่อยๆ ดูดซับน้ำมากขึ้น และเกิดการพองตัวยอมให้น้ำแทรกเข้าไปภายใน ซึ่งส่วนที่เป็นอะไมโลสและอะไมโลเปกตินจะเกิดการเคลื่อนที่และไหลออกมาภายนอกรวมอยู่กับน้ำ จึงทำให้ได้ของผสมที่มีความหนืดและใสมากขึ้น และส่วนที่เป็นไบรีฟริงเจน (Birefringence) จะค่อยๆ จางหายไปหมดเมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่งซึ่งเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และของผสมมีความหนืดสูงสุด เรียกอุณหภูมินี้ว่า อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลลาติไนส์เซชั่น (Gelatinization)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าว

2.3.1 ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)

เมล็ดข้าวมีแป้งเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อะไมโลส และอะไมโลเปกติน โดยอะไมโลสจะเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวหุงสุกแล้วมีลักษณะร่วนแข็ง และเป็นรูปเมล็ด ส่วนอะไมโลเปกตินจะเป็นส่วนที่ส่งผลให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะเหนียว ซึ่งอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลสเปกตินจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์ใดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีแนวโน้มเมื่อหุงสุกแล้ว ข้าวจะขึ้นหม้อ ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อหุงสุกแล้วจะลักษณะเหนียวนุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากอะไมโลส

เมื่อต้มให้สุกแล้วตั้งทิ้งไว้จะมีคุณสมบัติคืนตัว (Retrogradation) คือเปลี่ยนแปลงจากสภาพที่ละลายน้ำได้เป็นผลึกหรือของแข็ง ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ข้าวที่มีอะไมโลสสูง เมื่อหุงต้มสุกแล้วจึงร่วนและแข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และการที่ข้าวไม่เหนียวติดกันจึงทำให้เกิดช่องอากาศมากขึ้น จึงทำให้การขยายปริมาตรของข้าวสุกเกิดขึ้นได้ดีกว่า (งามชื่น คงเสรี. 2536)

นอกจากนี้ปริมาณอะไมโลสยังมีผลต่อระยะเวลาในการสุกของข้าว ทั้งนี้เนื่องจากส่วนของอะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเหมือนผลึกจึงทำให้น้ำเข้าไปได้ยาก ในขณะที่ส่วนของอะไมโลสเปกตินมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบและสามารถดูดน้ำได้ดี ดังนั้นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ จึงมีการจำแนกประเภทของข้าวโดยอาศัยปริมาณอะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวได้ ดังนี้

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 – 2	เหนียวมาก
ข้าวอะไมโลสต่ำ	10 – 19	เหนียว
ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20 – 25	เหนียวเล็กน้อย
ข้าวอะไมโลสสูง	25 – 34	ร่วน ค่อนข้างแข็ง

ที่มา : งามชื่น คงเสรี (2536)

2.3.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

แม้ว่าปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและการบริโภคแตกต่างกัน แต่ปริมาณอะไมโลสมิใช่ปัจจัยเดียวที่มีผลต่อคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าว โดยในข้าวบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน แต่คุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากแป้งสุกมีความคงตัวไม่เท่ากัน โดยพบว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกต่ำ เมื่อหุงสุกแล้วจะมีลักษณะนิ่มและนุ่มกว่า (Juliano *et al.* 1980)

สำหรับในการหาค่าความคงตัวของแป้งสุกทำได้โดยการวัดระยะทางที่น้ำแป้งสุกเคลื่อนที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยค่าความคงตัวของแป้งสุกจะใช้บอกความแตกต่างของข้าวสุกว่ามีลักษณะนุ่มหรือแข็ง ซึ่งใช้ได้เฉพาะข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 24 – 30 เท่านั้น แต่ถ้าข้าวมีปริมาณอะไมโลสต่ำหรือปานกลางจะใช้ค่าความคงตัวของแป้งสุกบอกคุณภาพของข้าวสุกไม่ได้ เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของแป้งสุกกับระยะทางที่แป้งเคลื่อนที่

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)	ลักษณะข้าวสุก
สูง	27 – 35	แข็ง
ปานกลาง	36 – 49	แข็งปานกลาง
ต่ำ	≥ 50	อ่อนนุ่ม

ที่มา : Gloria *et al.* (1973)

2.3.3 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

อุณหภูมิแป้งสุกคืออุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งเริ่มพองตัวในน้ำ ความร้อนจะทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลในบริเวณผลึก การดูดน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เม็ดแป้งขยายตัวเต็มที่ แป้งจะกลายเป็นเจล และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม ซึ่งข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยระดับอุณหภูมิแป้งสุกนี้สามารถจำแนกประเภทของข้าวได้ 3 ประเภท ดังนี้

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียส)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก
ต่ำกว่า 65	ต่ำ
70 – 74	ปานกลาง
74.5 – 79	สูง

ที่มา : งามชื่น คงเสรี (2536)

2.3.4 กลิ่นหอมของข้าวสุก (Aroma)

เมื่อหุงข้าวสุกใหม่ๆ จะได้กลิ่นซึ่งเกิดจากสารระเหย ซึ่งมีประมาณ 84 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดิไฮด์ (Formaldehyde) แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) กรดอะมิโน (Amino acid) ที่มีพันธะ –SH และสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิล ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สารระเหยในข้าวเก่าประกอบด้วย อะซิโตน (Acetone) อะเซตัลดิไฮด์ (Acetaldehyde) เพนทานอล (Pentanol) และเมทธิลเอทธิลคีโตน (Methyl-ethylketone) ส่วนข้าวหอมมะลิพบว่าเมื่อหุงสุกใหม่ๆ จะมีกลิ่นหอมของสารระเหย 2-octyl-1-pyrroline (วุฒิชัย นาครักษา. 2535)

2.3.5 ปริมาณโปรตีน (Protein content)

โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเมล็ดข้าวจะอยู่ในลักษณะที่เป็นกลุ่ม (Protein bodies) แทรกอยู่ตามเม็ดแป้ง มีความหนาแน่นบริเวณขอบนอกเมล็ด และค่อยบางลงเมื่อเข้าไปถึงกลางเมล็ด เมื่อหุงต้มข้าว โปรตีนโดยเฉพาะส่วนที่อยู่นอกของเมล็ดจะเป็นตัวขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ยาก จึงเป็นผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น และเมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงเมื่อหุงสุก ข้าวจะมีลักษณะแข็งและเหนียวกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (Hamaker. 1994)

2.4 การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็ง คือ การเปลี่ยนสภาวะของน้ำในอาหารจากของเหลวให้กลายเป็นของแข็ง โดยเป็นการลดอุณหภูมิของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถจะดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปคือ –18 °ซ หรือต่ำกว่า (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2539)

2.4.1 กระบวนการแช่เยือกแข็ง

หลักในการแช่เยือกแข็งจะประกอบด้วยลักษณะสำคัญ 2 ส่วน คือ การลดอุณหภูมิลงจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเพื่อทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง และการตกผลึกของน้ำและตัวถูกละลายบางส่วน โดยปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะเกิดควบคู่กันไป ซึ่งการเกิดผลึกน้ำแข็งมีหลักการเช่นเดียวกับการตกผลึกของตัวทำละลายจากน้ำในสารละลาย โดยกระบวนการตกผลึกจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การเกิดนิวเคลียส และการโตเป็นผลึกจากนิวเคลียส โดยนิวเคลียสจะเกิดจากการรวมตัวอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจะมีโมโลกุลอื่นไปเกาะที่นิวเคลียสให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นผลึก ซึ่งการเกิดนิวเคลียสและการเติบโตของนิวเคลียสเป็นผลึกนั้นจะเกิดขึ้นในขณะเดียวกัน (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

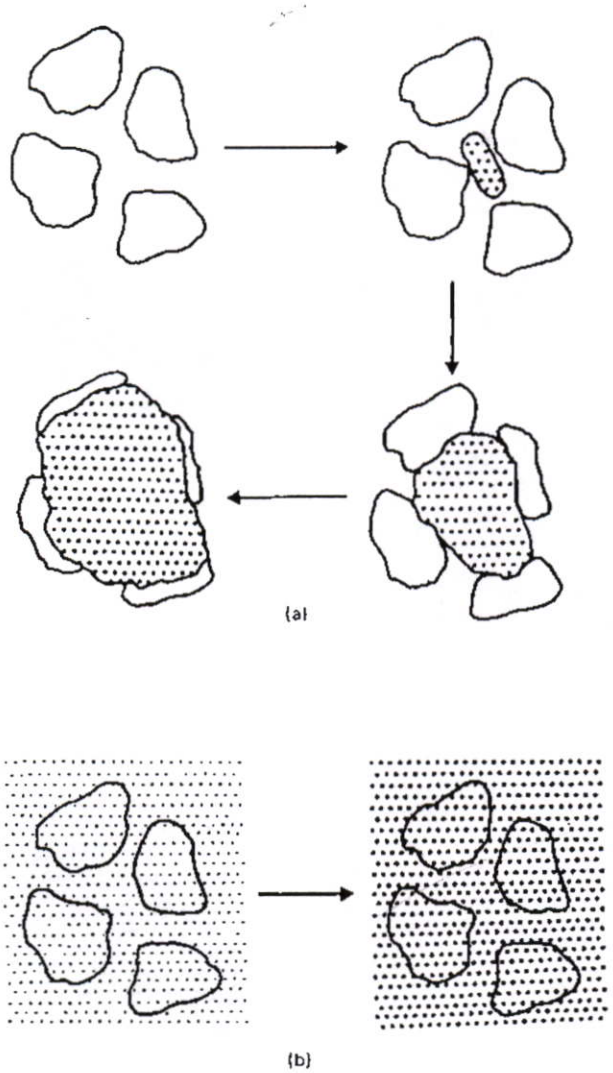
2.4.1.1 การเกิดนิวเคลียส

เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของน้ำมารวมตัวกันอย่างมีระเบียบจนเป็นอนุภาคเล็กๆ ขึ้น โดยในช่วงแรกของการเกิดนิวเคลียสผลึกนั้นจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวแล้วสลายตัวไป จนเมื่อสภาวะเหมาะสมคือ ระดับอุณหภูมิของน้ำหรือสารละลายลดต่ำลงถึงจุดความเย็นยวดยิ่ง (Supercooling) ซึ่งจะอยู่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง การก่อนิวเคลียสผลึกจะเกิดขึ้นอย่างถาวร

2.4.1.2 การเติบโตของผลึกน้ำแข็ง

เป็นปรากฏการณ์ที่ต่อเนื่องจากการเกิดนิวเคลียสผลึก โดยการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งจะเกิดได้ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลว โดยโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวเข้ามาเกาะอยู่กับนิวเคลียสผลึกที่ก่อตัวแล้ว จึงทำให้ขนาดของผลึกเพิ่มขึ้น โดยอัตราการเพิ่มขนาดของ

ผลึกและตำแหน่งที่เกิดผลึกในอาหารแช่เยือกแข็งจะมีผลต่อคุณภาพของอาหาร ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การแช่เยือกแข็งแบบช้าจะทำให้เกิดผลึกขนาดใหญ่และเกิดบริเวณนอกเซลล์ น้ำในเซลล์จะถูกดึงมาช่วยเพิ่มขนาดของผลึกที่ภายนอกเซลล์ เป็นผลให้เซลล์หดตัวลดขนาดลง แต่การแช่เยือกแข็งในอัตราเร็วสูงขึ้นและที่อุณหภูมิต่ำ ผลึกจะเกิดขึ้นได้ทั้งในส่วนภายในเซลล์ และภายนอกเซลล์ได้พร้อมๆ กัน ทำให้ขนาดของผลึกสม่ำเสมอ และกระจายทั่วไปจึงไม่ทำให้เซลล์เกิดการหดตัว (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532)



ภาพที่ 2.3 ผลของการแช่เยือกแข็งต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช

(a) การแช่เยือกแข็งแบบช้า และ (b) การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

ที่มา : Fellows (1988)

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะไปเป็นน้ำแข็ง

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะไปเป็นน้ำแข็งในขณะแช่แข็งนั้น มีผลกระทบต่อลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532)

2.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

น้ำบริสุทธิ์ที่ 0 °ซ จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 9 เมื่อเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นน้ำแข็ง ในขณะเดียวกันความหนาแน่นของน้ำแข็งจะลดลงด้วย ดังนั้นอาหารที่นำมาแช่เยือกแข็งโดยเฉพาะอาหารที่มีน้ำอยู่ปริมาณสูงจะขยายขนาดขึ้น แต่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ ยกเว้นน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อแช่เยือกแข็งจะมีปริมาตรลดลง

2.4.2.2 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อนำสารละลาย สารแขวนลอย หรือเนื้อเยื่อเซลล์ไปทำการแช่เยือกแข็ง องค์ประกอบที่เป็นน้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ทำให้น้ำซึ่งยังมีสถานะเป็นของเหลวมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายในอาหารจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะคล้ายกับการทำแห้ง แต่ต่างกันตรงที่อุณหภูมิของระบบจะต่ำกว่า และน้ำจะแยกออกมาจะอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็ง และยังคงอยู่ในระบบ จากผลดังกล่าวจะทำให้ส่วนที่ไม่แข็งตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ และโครงสร้างของน้ำและปฏิกิริยาระหว่างน้ำและตัวถูกละลายจะเปลี่ยนไป

Roseman (1958) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่เยือกแข็งข้าวสุกต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว พบว่าการแช่เยือกแข็งจะช่วยเพิ่มรูพรุนและความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการแช่เยือกแข็งข้าวที่ผ่านการทำให้สุกแล้วที่อุณหภูมิ –25 °ซ หรือต่ำกว่า แล้วนำมาละลายที่อุณหภูมิ 1.7 °ซ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวขยายขนาดขึ้น และมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ

2.5 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง อยู่ในช่วง 300 – 300,000 เมกกะเฮิร์ต มีแหล่งกำเนิดมาจากหลอดแมกนิตรอน สามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และสามารถทะลุผ่านสสารซึ่งมีคุณสมบัติโปร่งใสได้ สำหรับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่อนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและในระดับครัวเรือนคือ 915 และ 2450 เมกะเฮิร์ต ตามลำดับ (Lambert. 1980)

2.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครเวฟ คือ

Harlfinger (1992) ได้อธิบายถึงคุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นไมโครเวฟไว้ดังนี้

2.5.1.1 การส่งผ่าน (Transmission)

คลื่นไมโครเวฟมีคุณสมบัติที่สามารถทะลุผ่านวัสดุหรือภาชนะที่เป็นแก้ว กระเบื้องเซรามิก กระดาษ ไม้ และพลาสติกบางชนิดได้ โดยไม่มีการดูดซับพลังงานจึงไม่ทำให้เกิดความร้อนขึ้น จากคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาใช้บรรจุอาหารเพื่อใช้ในเตาไมโครเวฟได้

2.5.1.2 การสะท้อน (Reflection)

คลื่นไมโครเวฟจะไม่สามารถทะลุผ่านวัสดุหรือภาชนะที่เป็นโลหะ เช่น เหล็ก และอะลูมิเนียม แต่จะสะท้อนกลับ ด้วยเหตุนี้โลหะจึงไม่ควรนำมาใช้ในการประกอบอาหารในเตาไมโครเวฟ แต่ประโยชน์ของการสะท้อนของโลหะได้ถูกนำมาใช้ทำผนังของเตาอบไมโครเวฟเพื่อป้องกันการรั่วไหลของคลื่นออกสู่ภายนอก และยังทำให้เกิดการสะท้อนจากด้านข้างและด้านล่าง จึงทำให้ชิ้นอาหารได้รับคลื่นทั่วทุกด้าน

2.5.1.3 การดูดกลืน (Absorption)

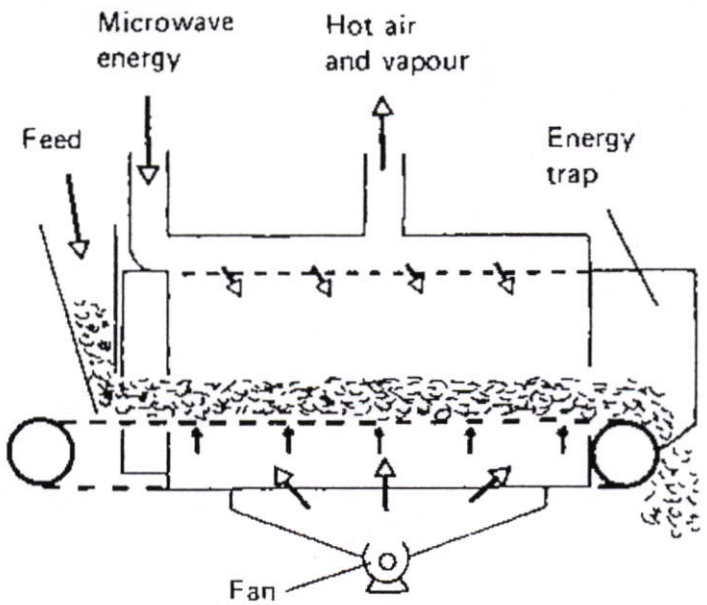
คลื่นไมโครเวฟดูดกลืนได้ดีในโมเลกุลของน้ำ น้ำมัน และน้ำตาลซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารทุกชนิด ทำให้เกิดการขัดสีกันเนื่องจากการชนและการสั่นสะเทือนของโมเลกุลในอาหารจนเกิดความร้อนขึ้น จึงทำให้ชิ้นอาหารสุก และพลังงานที่ใช้จะหมดไปหลังจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุล จึงไม่หลงเหลือคลื่นอยู่ภายในชิ้นอาหาร และไม่มีสิ่งตกค้างที่เป็นอันตรายเหมือนการใช้รังสีทั่วไป

2.5.2 หลักการให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟ

หลอดแมกนิตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง แมกนิตรอนที่อยู่ภายในตู้อบจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลัง 600 – 700 วัตต์ ซึ่งในการทำให้ชิ้นอาหารเกิดความร้อนได้นั้นจะต้องมีสสารที่สามารถดูดกลืนคลื่นได้ เช่น น้ำ หรือโมเลกุลที่มีขั้ว โดยโครงสร้างโมเลกุลของน้ำจะประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มีประจุลบ ซึ่งแยกออกจากอะตอมของไฮโดรเจนที่มีประจุบวก ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ไดโพลทางไฟฟ้า (electric dipole) ประจุไฟฟ้าบวกและลบของโมเลกุลน้ำจะวางตัวอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมมาตรกัน ดังนั้นเมื่อให้รังสีไมโครเวฟหรือสนามแม่เหล็กสลับอย่างรวดเร็วแก่อาหาร ไดโพลในน้ำจะพยายามจัดเรียงตัวตามการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละครั้ง สนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงหลายล้านครั้งต่อวินาที ทำให้น้ำหรือโมเลกุลที่มีขั้วต่างๆ หมุน เพื่อรักษาการจัดเรียงตัวด้วยการเปลี่ยนขั้วอย่างรวดเร็ว ซึ่งการหมุนของโมเลกุลต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดแรงเสียดทานกับตัวกลางที่อยู่รอบๆ และเกิดความร้อนขึ้น (Copson. 1975)

2.5.3 การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้ง

เนื่องจากการใช้ลมร้อนโดยทั่วไปมีข้อบกพร่องหลายประการ เช่น อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสและสมบัติทางโภชนาการเสื่อมเสียเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานเกินไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุและวิตามิน และอาจทำให้เกิดลักษณะแข็งที่ผิวหุ้มความชื้นไว้ในชิ้นอาหาร (Case hardening) จึงทำให้อาหารแห้งช้าลง แต่ในการใช้ไมโครเวฟ ความร้อนจะเกิดขึ้นจากภายในชิ้นอาหาร โดยการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งอาหารนั้นนิยมใช้ในช่วงท้ายของกระบวนการ ซึ่งจะช่วยให้ไม่ต้องใช้อากาศร้อนจำนวนมากและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากออกซิเจนในอากาศร้อน (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537) นอกจากนี้แล้วการใช้ไมโครเวฟยังช่วยประหยัดพลังงานได้มากถึงร้อยละ 75 เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนด้วยวิธีอื่น (Baldwin. 1983) และในการอบแห้งธัญชาตินั้นการใช้ไมโครเวฟจะทำให้มีต้นทุนต่ำ ประสิทธิภาพทางด้านการใช้พลังงานมากกว่า และมีเสียงดังน้อยกว่าการทำแห้งแบบเก่า และยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในเรื่องฝุ่นอีกด้วย (รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. 2539)



ภาพที่ 2.4 อุโมงค์ไมโครเวฟที่ใช้ทำแห้งแบบต่อเนื่อง
ที่มา : Decareau (1985)

Wadsworth และ koltun (1986) ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพในการหุงต้มข้าว พบว่า การใช้ไมโครเวฟไม่ทำให้ค่าความหนืด (Viscosity) แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างที่ทำแห้งแบบใช้อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ 22 $^{\circ}$ซ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60) ส่วนค่าการดูดซับน้ำ (Water uptake capacities)

จะสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำข้าวที่ได้มาขัดสี และหุงสุกแล้ว พบว่าผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟกับตัวอย่างควบคุมได้

Wadsworth (1990) พบว่าการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งข้าวนึ่งก่อนสีนั้น ข้าวที่ได้จะมีคุณภาพเทียบเท่ากับข้าวที่ทำแห้งโดยการใช้ลมร้อนทั่วไป โดยพบว่าการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นจะไม่ทำให้ความหนาแน่นภายในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ในขณะที่วิธีการใช้ลมร้อนในการทำแห้งนั้นจะทำให้เมล็ดข้าวมีแนวโน้มเกิดการหดตัวขึ้นเมื่อทำแห้งเป็นระยะเวลานาน เพราะการใช้ลมร้อนยังมีข้อจำกัดตรงความสามารถในการแพร่กระจายของน้ำภายในเมล็ดสู่บริเวณผิวหน้า และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไมโครเวฟยังช่วยทำให้เมล็ดข้าวเมื่อนำไปขัดสีแล้วจะมีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงขึ้น

Zain และ Barkar (1992) ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าว โดยการนำเมล็ดข้าวมาผ่านไมโครเวฟเป็นเวลา 4 - 20 นาที แล้วจึงนำไปต้มในน้ำเดือด พบว่า ไมโครเวฟจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption) ของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น และมีผลต่อเนื้อสัมผัส โดยการใช้ไมโครเวฟจะทำให้โครงสร้างของแป้งเปลี่ยนแปลง (Starch modification) และเกิดการเจลลาติไนส์มากขึ้น เป็นผลให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเกิดรูพรุน

2.6 ข้าวหุงสุกเร็ว

ปกติการหุงต้มข้าวโดยวิธีทั่วๆไปต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 20 – 30 นาที ทั้งนี้ยังขึ้นกับสายพันธุ์และขนาดของเมล็ดข้าวด้วย โดยข้าวบางพันธุ์อาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการแช่ การล้าง และการหุงต้มนานถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการเสียเวลาและไม่เอื้ออำนวยความสะดวกต่อผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้จึงเกิดความพยามยามที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วขึ้น โดยข้าวหุงสุกเร็วเกิดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1941 โดย A.K. Ozai Durrani ต่อมาในปีค.ศ. 1948 บริษัท เจนเนอรัลฟูดส์ จำกัด ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำข้าวหุงสุกเร็วมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพื่อจำหน่าย โดยมีชื่อทางการค้าว่า Minute rice โดยหลักในการผลิตที่สำคัญคือ การทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ถึงระดับหนึ่งซึ่งอาจจะเกิดบางส่วนหรือเกิดอย่างสมบูรณ์ แล้วนำมาทำแห้งเพื่อทำให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นผลให้สามารถดูดกลับน้ำได้ง่ายและใช้ระยะเวลาสั้น (Luh. 1980)

2.6.1 กระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วและกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วได้ถูกพัฒนามานานกว่า 50 ปีแล้ว ซึ่งกระบวนการผลิตที่ถูกนำมาใช้สามารถจำแนกได้ทั้งหมด 10 กระบวนการ โดยอาศัยการจัดรวมกระบวนการผลิตหลักที่คล้ายคลึงกันไว้เป็นกลุ่มๆ ได้ดังนี้ (Roberts. 1972)

2.6.1.1 กระบวนการผลิตที่มีการแช่ การต้ม การใช้ไอน้ำ และการทำแห้ง (The–Boil-Steam–Dry method) เป็นกระบวนการผลิตที่นำข้าวมาแช่น้ำจนข้าวมีความชื้นร้อยละ 30 จากนั้นนำข้าวไปทำให้สุกในน้ำร้อน ข้าวจะมีความชื้นร้อยละ 50 – 60 จากนั้นนำไปผ่านไอน้ำจนข้าวมีความชื้นร้อยละ 60 – 70 แล้วจึงทำแห้งเพื่อให้ข้าวมีความชื้นเหลือร้อยละ 8 – 14 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะใช้ระยะเวลาในการคืนรูปประมาณ 10 – 15 นาที

2.6.1.2 กระบวนการผลิตที่มีการทำให้เกิดการเจลลาติไนส์บางส่วน ก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง (The expanded dry pregelatinized rice methods) โดยการนำข้าวไปแช่น้ำ ต้มในน้ำเดือด ผ่านไอน้ำหรือหม้อนึ่งความดันจนข้าวเกิดเจลลาติไนส์บางส่วน แล้วจึงทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำ และตามด้วยการทำให้เมล็ดข้าวพองตัวโดยใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นรูพรุน แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีและรสชาติจางลง ส่วนใหญ่วิธีการนี้มักใช้กับข้าวนึ่งจึงจะได้ผลดี

2.6.1.3 กระบวนการผลิตที่มีการใช้การกดอัดด้วยลูกกลิ้ง(The rolling or bumping treatment) โดยการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์บางส่วนก่อนแล้วจึงนำมากดทับด้วยลูกกลิ้งเพื่อให้เมล็ดข้าวแบน และนำไปทำแห้ง

2.6.1.4 กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนทำแห้งเพียงอย่างเดียว (Dry – Heat treatment) โดยข้าวจะถูกทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 65.6 – 315.6 °ซ เพื่อให้ข้าวเกิดเด็กตรินไนส์ และเกิดรอยร้าว หรือทำให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัวโดยไม่ต้องต้มหรือผ่านไอน้ำ

2.6.1.5 กระบวนการผลิตที่มีการใช้การแช่แข็งและการละลาย (The Freeze – Thaw process) โดยกระบวนการนี้จะทำให้ข้าวสุกบางส่วนก่อน แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะวลานานก่อนการทำแห้ง เพื่อป้องกันเมล็ดข้าวเหนียวติดกัน

2.6.1.6 กระบวนการผลิตที่มีการใช้วิธีการลดความดันในระบบสุญญากาศ (Gun puffing) เป็นกระบวนการที่รวมเอาขั้นตอนที่ทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ร่วมกับการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงโดยการลดความดันในระบบสุญญากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการพองตัว แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีเนื้อสัมผัสไม่สม่ำเสมอ

2.6.1.7 กระบวนการผลิตที่ใช้วิธีการทำแห้งภายใต้สภาวะแช่แข็ง (Freezing – drying methods) วิธีการนี้เป็นการนำหลักการทำแห้งในสภาวะแช่แข็งมาใช้โดยการนำข้าวไปทำให้สุก แล้วนำมาสัมผัสกับแผ่นทำความเย็นโดยตรงในสภาวะสุญญากาศหรือสัมผัสโดยตรงกับสารทำความเย็น ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะต้องต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อยเพื่อให้น้ำแข็งระเหิดได้อย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะเป็นรูพรุน แต่วิธีการนี้ต้องใช้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6.1.8 กระบวนการผลิตที่มีการใช้สารเคมี (Chemical treatment) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีร่วมกับกระบวนการผลิตวิธีอื่นๆ ซึ่งมักจะใช้สารเคมีในขั้นตอนการแช่หรือการต้มเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว เช่น สารประกอบฟอสเฟต แคลเซียมซิเตรด โซเดียมซิเตรด และกลีเซอรอล เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีมากเกินไปอาจจะทำให้เมล็ดข้าวแตกหัก และมีผลต่ออายุการเก็บรักษาได้

2.6.1.9 กระบวนการผลิตที่ใช้หลายๆ วิธีร่วมกัน (Combination methods) โดยการรวมเอาวิธีการผลิตต่างๆ ที่กล่าวมาในขั้นต้นมารวมกันตั้งแต่ 2 กระบวนการขึ้นไป เพื่อให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

2.6.1.10 กระบวนการผลิตวิธีอื่นๆ (Miscellaneous process)

2.6.2 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วนั้น กระบวนการที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการที่จดสิทธิบัตรในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศแถบยุโรป ซึ่งกระบวนการผลิตวิธีต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้นจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น กระบวนการผลิตที่มีการทำให้เกิดการเจลลาติไนส์บางส่วนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เมล็ดข้าวแตกหักง่าย ส่วนกระบวนการผลิตที่ใช้วิธีการทำแห้งภายใต้สภาวะแช่แข็งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้คืนรูปได้ง่าย แต่ต้นทุนการผลิตสูง เป็นต้น ดังนั้นขั้นตอนการผลิตที่ใช้เป็นตัวแปรที่สำคัญในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วให้มีคุณภาพเป็นที่ต้องการ และสามารถคืนรูปได้สะดวกและรวดเร็ว มีดังนี้ (Carlson *et al.* 1976 ; Howland. 1972 ; Tanaka and Yukami. 1969 ; Weibye. 1983)

2.6.2.1 ขั้นตอนการแช่ข้าว

เพื่อให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำ ซึ่งน้ำจะเข้าไปในส่วนของเอนโดสเปอร์มทำให้ส่วนของเอนโดสเปอร์มกระจายในน้ำ เมล็ดจึงมีลักษณะขุ่นขึ้น และทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าว ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการทำให้ข้าวสุก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวต้องควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพราะถ้าอุณหภูมิสูงจะเพิ่มการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวและลดระยะเวลาในการแช่ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้แป้งบางส่วนละลายออกมากับน้ำที่ใช้แช่ ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ควรต่ำกว่าอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว และข้าวควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 – 50

2.6.2.2 ขั้นตอนการทำให้สุก

เป็นการทำให้เมล็ดข้าวเกิดเจลลาติไนส์ และทำให้ข้าวมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยในขั้นตอนนี้จะใช้การต้มหรือการผ่านไอน้ำเพื่อทำให้ข้าวสุก โดยอุณหภูมิที่ใช้ต้องเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุก โดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 15 –50 นาที ซึ่งข้าวจะมีปริมาณความชื้นร้อยละ 50 – 75 และมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์น้อยกว่าหรือเท่ากับ

43715

ร้อยละ 80 เพราะถ้าระดับการเกิดเจลลาติไนส์สูงเกินไปจะทำให้เมล็ดข้าวสุกแตกบาน และเหนียวติดกัน ซึ่งทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ได้

2.6.2.3 ขั้นตอนการทำแห้ง

เป็นการลดปริมาณความชื้นให้ต่ำพอที่จะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และยังช่วยทำให้ข้าวเกิดการพองตัวและรูพรุนขึ้น ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ โดยการทำแห้งจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกควรใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 100 – 140 °ซ เป็นเวลา 2 – 3 นาทีเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัว จากนั้นนำมาทำแห้งครั้งที่สอง โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 80 – 90 °ซ เป็นเวลา 20 – 30 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวมีความชื้นร้อยละ 7 –10

2.6.3 คุณลักษณะของข้าวหุงสุกเร็วที่ดี

ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ควรมีลักษณะแห้ง โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 7 –10 เมล็ดควรจะแยกตัวออกจากกันหรือไม่เกาะกันเป็นก้อน ส่วนรูปร่างเมล็ดต้องสมบูรณ์ไม่แตกหัก ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม และควรมีค่า Bulk density อยู่ประมาณ 0.40 – 0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากค่า Bulk density เกี่ยวข้องกับความพรุนของข้าว โดยข้าวที่มีค่า Bulk density ต่ำจะมีความเป็นพรุนมาก และสามารถคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการที่จะทำให้ค่า Bulk density ต่ำนั้นทำได้โดยการทำให้ข้าวสุกดูดซับน้ำเป็นปริมาณมากก่อนที่จะนำไปทำแห้ง และต้องทำแห้งโดยการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานเกินไปอาจจะทำให้ข้าวดูดซับน้ำมากเกินไป ซึ่งเป็นผลทำให้เมื่อนำไปคืนรูปแล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแฉะและมีคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการ (Carlson *et al.* 1976) นอกจากนี้แล้วการใช้วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน เช่น การทำแห้งโดยใช้ลมร้อน การทำแห้งโดยการลดความดันในระบบสุญญากาศ หรือการทำแห้งแบบระเหิดน้ำ จะมีผลต่อความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ (Zogzas *et al.* 1994)

สำหรับวิธีการในการคืนรูปต้องทำได้ไม่ยุ่งยากและสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การต้มในน้ำเดือด การเติมน้ำร้อน และการใช้ไมโครเวฟ เป็นต้น โดยระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปควรสั้นประมาณ 5 – 15 นาที เนื่องจากน้ำจะแทรกเข้าไปในเมล็ดในระยะเวลาอันสั้น เพราะเมล็ดมีความพรุนมาก ซึ่งอาจพิจารณาได้จากค่า Rehydration ratio (น้ำหนักของข้าวที่คืนรูปแล้วต่อน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง) โดยถ้าค่า Rehydration ratio มากแสดงว่าข้าวมีความพรุนมาก เป็นผลให้คืนรูปได้เร็วกว่าข้าวที่มีค่า Rehydration ratio ต่ำ (Smith *et al.* 1985)

ผลิตภัณฑ์เมื่อคืนรูปแล้วควรมีค่า Bulk volume เป็น 1.5 – 3.0 เท่าของผลิตภัณฑ์ก่อนการคืนรูป และควรมีเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติใกล้เคียงกับข้าวที่หุงสุกด้วยวิธีปกติ โดยไม่มีแป้งดิบหรือจุดแข็งตรงกลางเมล็ด เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากผู้บริโภค และควรมีคุณค่าทางโภชนาการหลงเหลืออยู่ให้ได้มากที่สุด (Roberts. 1972)

2.7 การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

ในสภาวะสังคมปัจจุบันความต้องการของผู้บริโภคเปลี่ยนไป โดยผู้บริโภคจะเริ่มให้ความสำคัญในเรื่องของความสะดวกและรวดเร็วในการเตรียมอาหารมากกว่าปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นอาหารเร่งด่วนหรืออาหารพร้อมบริโภคจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วก็ยังไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้ในการคืนรูปก่อนการบริโภคค่อนข้างยุ่งยากและใช้ระยะเวลาในการคืนรูปนานกว่า 20 นาที ส่วนข้าวหุงสุกที่ได้จากการคืนรูปแล้วมักมีลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยเมล็ดข้าวจะมีแนวโน้มแตกเป็นชิ้นเล็กๆ และมีรสชาติไม่เหมือนกับข้าวที่หุงสุกด้วยวิธีโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังมีราคาต่อหน่วยสูง ดังนั้นในช่วงระยะหลังจึงเกิดการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วขึ้นมากมาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการคืนรูปลงให้เหลือเพียง 3 – 5 นาที และใช้วิธีในการคืนรูปที่ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งลักษณะปรากฏและรสชาติของผลิตภัณฑ์ควรจะเหมือนกับข้าวที่หุงสุกโดยวิธีทั่วไป (Luh. 1991) ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วแบบใหม่ๆ ขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยกระบวนการผลิตที่น่าสนใจและเคยมีผู้นำมาใช้ร่วมกับขั้นตอนในการผลิตทั่วไป มีดังนี้

2.7.1 กระบวนการผลิตที่ใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับขั้นตอนการผลิตอื่นๆ

กระบวนการผลิตวิธีนี้เป็นการใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการแช่ การต้ม การผ่านไอน้ำ และการทำแห้ง โดยพบว่าการแช่เยือกแข็งข้าวที่ผ่านการทำให้สุกแล้วมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำในระหว่างการนำคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว โดยการเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ สามารถทำลายโครงสร้างที่เป็นคอลลอยด์ของแป้ง เป็นผลทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดข้าวเกิดรูพรุน โดยกระบวนการผลิตวิธีนี้ทำได้โดยนำข้าวมาแช่น้ำ แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเพื่อให้ข้าวเกิดเจลาติไนส์อย่างสมบูรณ์ แล้วจึงนำมาทำให้เย็นในน้ำ จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็ง ซึ่งขั้นตอนการแช่เยือกแข็งนี้เป็นสิ่งสำคัญมาก ต้องใช้ระยะเวลานาน และต้องไม่ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งก่อนการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นของแข็ง (Supercooling) ดังนั้นข้าวจะถูกแช่เย็นที่ 0 °ซ เป็นเวลา 1 – 3 ชั่วโมง ต่อจากนั้นลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ทำให้การแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นจึงนำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ก่อนที่จะนำไปทำแห้งเพื่อป้องกันเมล็ดข้าวเหนียวติดกันเพราะจะส่งผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้นี้จะใช้ระยะเวลาในการคืนรูปสั้น (Keneaster and Newlin. 1957)

Ishida (1997) ได้จดสิทธิบัตรการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับขั้นตอนการผลิตอื่น เพื่อทำให้ข้าวดูดซับน้ำในปริมาณสูง ซึ่งจะช่วยทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพดีขึ้นโดยการทำให้เกิดเปลือกแข็งบริเวณผิวนอก แต่ภายในเมล็ดนุ่ม และยังลดการเกาะติดกันของ

เมล็ดเมื่อนำไปผ่านขั้นตอนการผลิตต่อไป ซึ่งกระบวนการผลิตวิธีนี้จะเริ่มจากการนำข้าวไปแช่น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 60 – 100 °ซ จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –20 °ซ เป็นเวลา 1 วัน แล้วจึงนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งข้าวจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 72 - 130 เทน้ำออก แล้วจึงนำไปทำแห้ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะใช้ระยะเวลาในการคืนรูปในน้ำเดือด 5 นาที

ภัทรชนก ธีรธิติ (2541) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวอบกุ้งปรุงรสกึ่งสำเร็จรูปโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดระยะเวลาในการคืนรูป โดยการนำเทคนิคการแช่เยือกแข็ง (Freeze-thaw process) มาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตจะเริ่มจากการแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที นำข้าวที่ได้ไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –15 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อจากนั้นจะนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มาพัฒนาเป็นข้าวอบกุ้งปรุงรสกึ่งสำเร็จรูปต่อไป ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะใช้ระยะเวลาในการคืนรูปในน้ำเดือดนาน 7 นาที ซึ่งแต่เดิมจะใช้ระยะเวลาในการคืนรูปนาน 12 นาที

2.7.2 กระบวนการผลิตที่ใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งความร้อน

ในการใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งความร้อนในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วนั้นพบว่าไมโครเวฟจะช่วยลดการเกาะติดกันของเมล็ดข้าว และทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเกิดรูพรุน อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้น จึงช่วยประหยัดพลังงาน โดย Huxsoll และ Morgan (1968) ได้ทดลองใช้อุโมงค์ไมโครเวฟในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว โดยกระบวนการผลิตจะเป็นระบบแบบต่อเนื่อง ซึ่งเริ่มจากการนำข้าวมาแช่ในน้ำอุณหภูมิ 150–160 °ฟ เป็นเวลา 2 – 3 นาที เพื่อทำให้ข้าวมีความชื้นประมาณร้อยละ 25 – 30 จากนั้นนำข้าวมาบรรจุถุงโพรลีเอสทีลีน แล้วนำเข้าอุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 4 นาที โดยข้าวจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 212 °ฟ จากนั้นข้าวที่ผ่านการทำให้สุกแล้วจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 70 – 75 แล้วนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 120 °ฟ เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำมาทำแห้งโดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 350 °ฟ ความเร็วลม 25 ฟุตต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อทำให้เกิดเปลือกแข็ง แล้วจึงนำมาทำแห้งต่อที่อุณหภูมิ 120 °ฟ จนข้าวมีความชื้นประมาณร้อยละ 15 ซึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะมีเมล็ดแตกหักน้อย และใช้ระยะเวลาในการคืนรูปในน้ำเดือดประมาณ 5 – 7 นาที

ณยศ ปณิธานธรรม และธนิต จารุมาลัย (2540) ศึกษากระบวนการผลิตข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูปโดยไมโครเวฟในการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตจะเริ่มจากการนำข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาผ่านเตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานปานกลาง (Medium) เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อทำให้เมล็ดข้าวเกิด

รอยแตกร้าว จากนั้นนำข้าวมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ข้าวจะมีปริมาณความชื้นร้อยละ 35 – 40 แล้วจึงนำมาทำให้สุกโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานสูง (High) เป็นเวลา 5 นาที ข้าวจะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ประมาณร้อยละ 80 จากนั้นจึงนำมาทำแห้งโดยใช้ Fluidize bed dryer ที่อุณหภูมิ 250 °ซ เป็นเวลา 1 นาที แล้วตามด้วยการทำแห้งโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับพลังงานปานกลาง เป็นเวลา 3 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 และมีลักษณะปรากฏดี เมล็ดข้าวแตกหักน้อย และสามารถคืนรูปโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 นาที

นาฏยา บาลี (2543) ได้ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟในการผลิต โดยกระบวนการผลิตจะเริ่มจากการนำข้าวที่ผ่านการฉีดพรมน้ำในอัตราส่วนน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักข้าวเท่ากับ 0.3 ต่อ 1 ส่วน ไปผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำให้ข้าวเกิดการเจลลาติไนส์และดูดซับน้ำมากขึ้น จากนั้นเพิ่มระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าว โดยการนำข้าวมาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต เป็นเวลา 6 นาที ซึ่งข้าวจะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ประมาณร้อยละ 80 แล้วนำมารมไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 10 นาที เพื่อยับยั้งการไฮโดรไลส์ของไขมัน จากนั้นจึงนำมาทำแห้งโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 18 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 6 และใช้ระยะเวลาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 8 นาที และคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือดเป็นเวลา 10 นาที

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ข้าวขาวเมล็ดยาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากท้องตลาดแถบทุ่งกุลาร้องไห้ นำมาเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10 °ซ จนกว่าจะนำมาทดลอง

3.1.1.2 ข้าวขาวเมล็ดยาวพันธุ์ขาวตาแห้ง ตราพระปรางค์สามยอด จากชุมนุมสหกรณ์จังหวัดลพบุรี นำมาเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10 °ซ จนกว่าจะนำมาทดลอง

3.1.1.3 ข้าวขาวเมล็ดยาวกึ่งสำเร็จรูป (Instant long grain white rice) ตรา Minute rice ผลิตโดยบริษัท Kraft Foods ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.4 ถุงพลาสติกชนิดมีซิบ (Polyethylene: PE) ขนาด 11 x 15 นิ้ว ผลิตโดยบริษัทสยามถุงซิบ 1992 จำกัด

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

1) เครื่องไล่อากาศ (Exhauster)	BWS	ไทย
2) ตู้แช่แข็ง	Sanyo	ไทย
3) อุโมงค์ไมโครเวฟ	สจล.สกว.1	ไทย
4) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	040Memmert	เยอรมัน
5) เครื่องวัด-อ่านอุณหภูมิ (Infrared thermometer)	CHINO	ญี่ปุ่น

6) กระบอกฉีดน้ำ

7) เครื่องชั่งชนิดหยาบ

8) ถาดพลาสติก ขนาด 7 x 10 x 0.5 นิ้ว

9) ตระแกรงลวดกรอบไม้ ขนาด 6 x 11 นิ้ว

3.1.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)	Shimadza , UV-1601	ญี่ปุ่น

2) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	Kontron T-42 K	อิตาลี
3) หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)	SS–320	ญี่ปุ่น
4) เครื่องบด (Blender)	National, Mx-T1PN(G)	ไต้หวัน
5) เครื่องบดแห้ง (Restch Miller)	F.Kurt Retsch, GMbH	เยอรมัน
6) ตระแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 200 เมซ		เยอรมัน
7) Vibration mixer	K-550-GE	อเมริกา
8) เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Mettler AE 3000	สวิสเซอร์แลนด์
9) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	Memmert	เยอรมัน
10) เตาไมโครเวฟ	Sharp, R 311	ไทย
11) ไมโครปิเปต ขนาด 100 – 1000 ไมโครลิตร		เยอรมัน
12) ชุดวิเคราะห์โปรตีน	Gerhardt	เยอรมัน
13) ชุดวิเคราะห์ไขมัน	Gerhardt	เยอรมัน
14) ชุดวิเคราะห์เยื่อใย	Gerhardt	เยอรมัน

15) โถดูดความชื้น (Desiccator)

16) อะลูมิเนียมแคน

17) อุปกรณ์เครื่องแก้วและเคมีภัณฑ์

18) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

3.2.1 ห้องปฏิบัติการกระบวนการแปรรูปอาหาร 1 (Processing plant 1) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2.2 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ (Analytical laboratory) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3 ระยะเวลาดำเนินงาน

เดือนตุลาคม 2543 – เดือนพฤศจิกายน 2544

3.4 วิธีการทดลอง

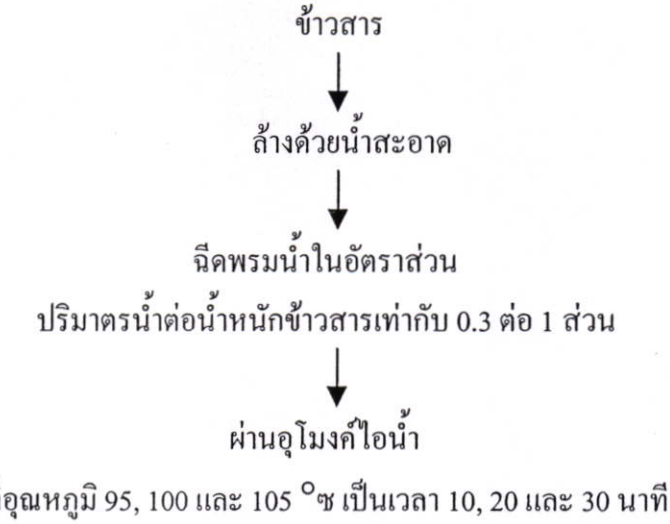
3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

นำข้าวสารทั้ง 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด (Proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC. 1995) และวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส (Juliano. 1971)

3.4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ ทำได้โดยการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Steam) ในอุโมงค์ไอน้ำ (Exhauster) ซึ่งข้าวที่ผ่านการทำให้สุกแล้วที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จะนำมาวิเคราะห์หาระดับการเกิดเจลลาติไนส์ (Degree of gelatinization) ตามวิธีของ Birch และ Priesley (1973) และหาปริมาณความชื้นภายหลังการให้ความร้อนด้วยไอน้ำตามวิธีของ AOAC (1995)

สำหรับขั้นตอนในการทดลองทำได้โดยการนำข้าวสารจำนวน 2 กิโลกรัม มาล้างด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำแล้วเกลี่ยลงในตระแกรงลวดปริมาณ 250 กรัมต่อตระแกรง และมีการฉีดพรมน้ำในอัตราส่วนปริมาตรน้ำต่อน้ำหนักข้าวสารเท่ากับ 0.3 ต่อ 1 ส่วนก่อนที่จะนำข้าวเข้าอุโมงค์ไอน้ำ จากนั้นนำไปผ่านไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำ ซึ่งใช้ระบบสายพานความเร็ว 0.5 เมตรต่อนาที โดยอุณหภูมิในการผ่านไอน้ำจะแปรเป็น 3 ระดับ คือ 95, 100 และ 105 $^{\circ}$ซ และระยะเวลาในการผ่านไอน้ำจะแปรเป็น 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 นาที และทำการทดลองตามแผนผังในภาพที่ 3.1 ดังนั้นการจัดการทดลองในขั้นตอนนี้จะมีทั้งหมด 3 x 3 การทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพข้าวสุกก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่อไปนั้น ข้าวควรจะมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 75 และระดับการเกิดเจลลาติไนส์น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 เพราะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เมล็ดข้าวสุกแตกบานและเหนียวติดกันเกินไป (Howland. 1972) จากนั้นค่าที่ได้จากการทดลองจะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองกับคุณลักษณะของข้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์



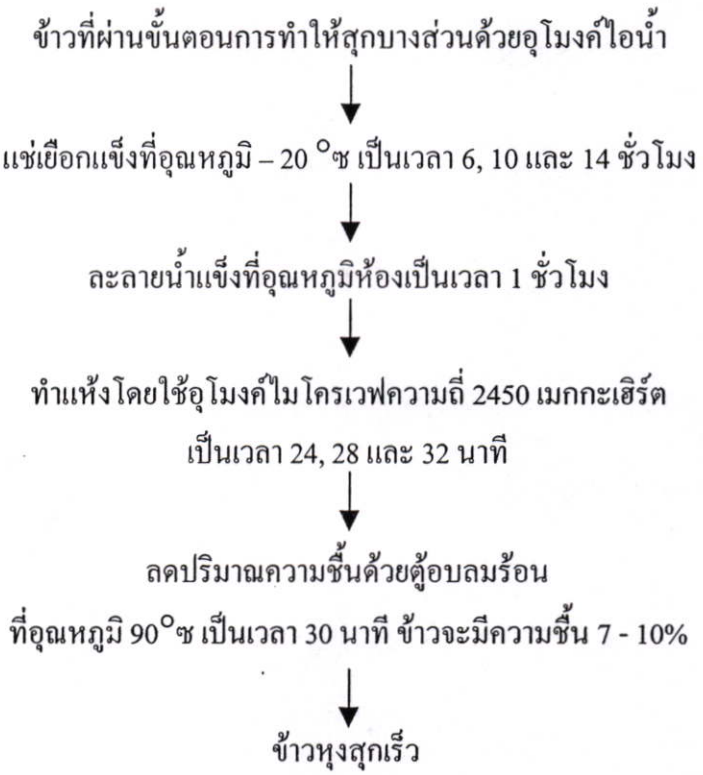
ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

3.4.3 การศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต

ในการศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิตทำได้โดยการนำข้าวที่ผ่านขั้นตอนการทำให้สุกบางส่วนด้วยอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของข้าวแต่ละสายพันธุ์จากข้อ 3.4.2 มาแช่เยือกแข็งบนตระแกรงลวด ที่อุณหภูมิ –20 °ซ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจะแปรเป็น 3 ระดับ คือ 6, 10 และ 14 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลาย (Thawing) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำข้าวมาเกลี่ยลงในถาดพลาสติกปริมาณ 200 กรัมต่อถาด นำมาทำแห้งโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต ด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจะแปรเป็น 3 ระดับ คือ 24, 28 และ 32 นาที ดังนั้นการจัดการทดลองในขั้นตอนนี้จะมีทั้งหมด 3 x 3 การทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ดังแผนผังการทดลองในภาพที่ 3.2 โดยตัวอย่างที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาระดับการเกิดเจลลาติไนส์ตามวิธีของ Birch และ Priesley (1973) วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995) และวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าเมื่อข้าวออกจากอุโมงค์ไมโครเวฟโดยใช้เครื่องวัด-อ่านอุณหภูมิแบบอินฟราเรด จากนั้นค่าที่ได้จากการทดลองจะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองกับคุณลักษณะของข้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เนื่องจากข้าวที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟยังมีปริมาณความชื้นสูงอยู่ ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา ดังนั้นจึงนำข้าวมาผ่านการทำแห้งครั้งที่สองด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ข้าวมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือประมาณร้อยละ 7 – 10 (Carlson *et al.* 1976) ซึ่งสามารถป้องกันการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์

โดยเฉพาะเชื้อรา แล้วบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ใส่ลงในถุงพลาสติกชนิดมีซิบ เพื่อเก็บรักษาต่อไป สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จะนำมาวิเคราะห์หาระดับการเกิดเจลลาติไนส์ตามวิธีของ Birch และ Priesley (1973) วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995) และหาค่า Bulk density โดยน้ำหนักแห้งตามวิธีของ Carlson และคณะ (1976)



ภาพที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต

3.4.4 การศึกษาหาระยะเวลาในการคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้

ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากข้อ 3.4.3 ซึ่งข้าวที่มีระดับการเกิดเจลลาติไนส์สูง มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 และมีค่า Bulk density อยู่ระหว่าง 0.40 – 0.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรจะนำมาหาอัตราส่วนของปริมาตรน้ำต่อน้ำหนักข้าว และระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูป ซึ่งวิธีการในการคืนรูปจะสามารถทำได้โดยการใช้เตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน(ความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต) และการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด ดังนี้

3.4.4.1 การคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว โดยการใช้เตาไมโครเวฟระดับครัวเรือนโดยการนำข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากกระบวนการในข้างต้นมาศึกษาหาระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ โดยใช้ข้าวหุงสุกเร็ว 100 กรัม ใส่ลงในชามแก้วที่มีฝาปิด เติมน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำเข้าเตาไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต จับเวลาจนกระทั่งข้าวสุก ซึ่งข้าวที่สุกแล้วจะ

ไม่มีจุดไตขาวเหลืออยู่ ตามวิธีของ Azeez และ Shafi (1966) โดยการนับจำนวนเมล็ดข้าวสุกต้องมีมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80

3.4.4.2 การคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยการเติมน้ำต้มเดือด ซึ่งการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง จะสามารถทำได้โดยต้มน้ำ 500 มิลลิลิตร ในภาชนะมีฝาปิดที่ตั้งอยู่บนเตาไฟ จนเดือด (น้ำจะมีอุณหภูมิ 100 °ซ) จากนั้นเทข้าวหุงสุกเร็ว 100 กรัมลงในภาชนะ ปิดฝา ยกลงจากเตาไฟ แล้วจับเวลาจนกระทั่งข้าวสุก ซึ่งข้าวที่สุกแล้วจะไม่มีจุดไตขาวเหลืออยู่ ตามวิธีของ Azeez และ Shafi (1966) โดยการนับจำนวนเมล็ดข้าวสุกต้องมีมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80

3.4.5 การตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้

ในการตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วทำได้โดยนำข้าวหุงสุกเร็วจากข้อ 3.4.4 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการคืนรูปสั้นที่สุดมาตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

3.4.5.1 ก่อนการคืนรูป

1) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ หาโดยการหาค่า Bulk density ซึ่งแสดงถึงความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ ตามวิธีของ Carlson และคณะ (1976) เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

2) การตรวจสอบคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค (Cooking and eating quality of grains) โดยการวัดการพองตัว (Volume expansion) อัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio) และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (Total soluble solid, %) ตามวิธีของ Batcher และคณะ (1956) เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

3.4.5.2 หลังการคืนรูป

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆ ได้แก่ สี รูปร่าง กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วไว้นาน 6 เดือน โดยใช้ผู้ชิมแล้วให้คะแนนจำนวน 30 คน ใช้วิธีการทดสอบแบบ 9 – Point hedonic scale (โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Version 7.5 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาว 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	ข้าวขาวดอกมะลิ 105	ข้าวขาวตาแห้ง
ความชื้น (Moisture content)	11.16 ± 0.17	12.04 ± 0.04
โปรตีน (Crude protein)	6.86 ± 0.13	7.35 ± 0.09
ไขมัน (Crude fat)	0.17 ± 0.03	0.14 ± 0.02
เยื่อใย (Crude fiber)	0.10 ± 0.01	0.15 ± 0.02
เถ้า (Ash)	0.28 ± 0.02	0.35 ± 0.01
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	81.43 ± 0.78	79.97 ± 0.31
ปริมาณอะไมโลส	15.75 ± 0.53	33.59 ± 0.34

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ ทำได้โดยการศึกษาอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวสุกบางส่วนด้วยอุโมงค์ไอน้ำ และเมื่อนำตัวอย่างข้าวสุกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ แล้ว นำมาวิเคราะห์หาระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้น ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

ปัจจัย		ข้าวขาวดอกมะลิ 105		ข้าวขาวตาแห้ง	
อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)
95	10	47.20 ± 1.27^{a}	42.33 ± 0.49^{a}	46.43 ± 0.91^{a}	33.00 ± 0.45^{a}
95	20	58.69 ± 1.75^{c}	47.64 ± 1.07^{c}	56.05 ± 1.90^{c}	46.37 ± 2.67^{d}
95	30	67.16 ± 2.43^{de}	55.00 ± 0.59^{f}	66.18 ± 0.64^{e}	54.00 ± 0.82^{f}
100	10	55.27 ± 0.79^{b}	45.76 ± 0.86^{b}	52.35 ± 1.45^{b}	37.03 ± 0.48^{b}
100	20	65.88 ± 0.81^{d}	53.00 ± 0.73^{e}	62.81 ± 0.33^{d}	49.46 ± 0.09^{e}
100	30	78.45 ± 0.34^{f}	60.23 ± 1.01^{g}	71.95 ± 0.64^{g}	58.13 ± 0.91^{g}
105	10	59.25 ± 0.99^{c}	49.45 ± 0.59^{d}	57.59 ± 1.46^{c}	41.00 ± 1.23^{c}
105	20	69.38 ± 1.07^{e}	56.57 ± 0.07^{f}	68.81 ± 0.74^{f}	53.49 ± 0.20^{f}
105	30	81.64 ± 0.23^{g}	64.93 ± 0.76^{h}	77.67 ± 1.09^{h}	61.99 ± 0.68^{h}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ Superscript ที่เหมือนกันในแนวตั้งอย่างน้อย 1 ตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วนั้นในขั้นตอนการทำให้สุก ข้าวควรจะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 75 เพราะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เมล็ดข้าวสุกแตกบานและเหนียวติดกัน ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ (Howland. 1972) โดยจากตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการผ่านไอน้ำมีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์และปริมาณความชื้นของข้าว โดยเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้น ข้าวจะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการผ่านไอน้ำของข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ร้อยละ 78.45 ± 0.34 และมีปริมาณความชื้นร้อยละ 60.23 ± 1.01 ส่วนอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการผ่านไอน้ำของข้าวขาวตาแห้งคือที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ร้อยละ 77.67 ± 1.09 และมีปริมาณความชื้นร้อยละ 61.99 ± 0.68 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการในการทดลองในขั้นตอนการผ่านอุโมงค์ไอน้ำกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองในขั้นตอนการทำให้ข้าวสุกโดยการผ่านอุโมงค์ไอน้ำกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์และปริมาณความชื้นของข้าว

ปัจจัยในการทดลอง	ข้าวขาวดอกมะลิ 105		ข้าวขาวตาแห้ง	
	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)
อุณหภูมิ	0.4788*	0.5169*	0.5090*	0.3412 ns
ระยะเวลา	0.8611**	0.8481**	0.8553**	0.9311**
อุณหภูมิ * ระยะเวลา	0.9056**	0.8974**	0.9012**	0.9597**

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

จากการตารางที่ 4.3 พบว่าในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่ออุณหภูมิในการผ่านไอน้ำสูงขึ้นจะทำให้ข้าวมีระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาในการผ่านไอน้ำนานขึ้นจะทำให้ข้าวมีระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลอง คืออุณหภูมิและระยะเวลาในการผ่านไอน้ำกับระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าว พบว่าปัจจัยในการทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับการเกิดเจลาติไนส์และปริมาณความชื้นของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนในกรณีของข้าวขาวตาแห้งพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการผ่านไอน้ำสูงขึ้นจะทำให้ระดับการเกิดเจลาติไนส์ของข้าวเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่ทำให้เกิดความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาในการผ่านไอน้ำนานขึ้นจะทำให้ระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และยังพบว่าปัจจัยในการทดลองคืออุณหภูมิและระยะเวลาในการผ่านไอน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับการเกิดเจลาติไนส์และปริมาณความชื้นของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

นอกจากนี้เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลลาติไนส์และปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยพบว่าระดับการเกิดเจลลาติไนส์และปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก กล่าวคือ เมื่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์เพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติคล้ายคลึงกันทั้งในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง

ตารางที่ 4.4 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลลาติไนส์กับปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

ปัจจัย	ข้าวขาวดอกมะลิ 105		ข้าวขาวตาแห้ง	
	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)
การเกิดเจลลาติไนส์	1	0.9847 **	1	0.9756 **
ความชื้น	-	1	-	1

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

4.3 การศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต

ในการศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต สามารถทำได้โดยการศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งร่วมกับการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ โดยตัวอย่างข้าวที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วนแล้วจะนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –20 °ซ เป็นระยะเวลา 6, 10 และ 14 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลายที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปทำแห้งโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 24, 28 และ 32 นาที ตัวอย่างที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาระดับการเกิดเจลลาติไนส์ปริมาณความชื้น และวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวเมื่อออกจากอุโมงค์ไมโครเวฟ ซึ่งจะแสดงผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ

ปัจจัยในการผลิต		ข้าวขาวดอกมะลิ 105			ข้าวขาวตาแห้ง		
เวลาแช่เยือกแข็ง (ชั่วโมง)	เวลาทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (นาที)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ผิวหน้า (°ซ)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ผิวหน้า (°ซ)
6	24	86.87 ± 2.47^{ab}	13.10 ± 0.43^{ab}	93.27 ± 5.94^{ab}	82.41 ± 0.88^{ab}	14.25 ± 0.91^{a}	85.27 ± 1.85^{ab}
	28	87.95 ± 2.62^{ab}	11.34 ± 0.39^{cd}	105.77 ± 1.05^{cde}	85.70 ± 1.16^{cd}	13.10 ± 0.70^{ab}	93.08 ± 5.37^{bcd}
	32	94.00 ± 1.48^{d}	9.77 ± 0.89^{d}	112.08 ± 2.85^{e}	90.37 ± 0.53^{c}	11.27 ± 0.91^{b}	96.27 ± 2.28^{cde}
10	24	86.14 ± 1.15^{ab}	13.60 ± 0.59^{a}	84.06 ± 1.76^{a}	81.38 ± 1.06^{a}	14.97 ± 0.29^{a}	81.96 ± 0.52^{a}
	28	89.84 ± 1.46^{bc}	13.00 ± 0.65^{ab}	100.20 ± 7.49^{bcd}	85.47 ± 2.40^{abc}	14.25 ± 0.94^{a}	94.26 ± 5.62^{bcd}
	32	91.89 ± 1.63^{cd}	10.89 ± 0.64^{cd}	109.06 ± 6.40^{de}	87.48 ± 3.62^{cd}	11.12 ± 0.88^{b}	105.20 ± 8.61^{e}
14	24	85.45 ± 0.95^{a}	13.92 ± 0.42^{a}	84.53 ± 4.98^{a}	80.71 ± 2.34^{a}	14.76 ± 1.32^{a}	87.78 ± 1.61^{bc}
	28	86.05 ± 1.35^{ab}	11.65 ± 1.20^{bc}	93.78 ± 1.75^{ab}	84.04 ± 2.91^{ab}	14.10 ± 0.49^{a}	96.15 ± 1.07^{de}
	32	89.65 ± 0.83^{bc}	11.32 ± 0.71^{cd}	97.79 ± 5.98^{bc}	87.65 ± 2.78^{bc}	11.86 ± 0.71^{b}	98.75 ± 0.18^{de}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ Superscript ที่เหมือนกันในแนวตั้งอย่างน้อย 1 ตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 แสดงระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 6, 10 และ 14 ชั่วโมง ร่วมกับการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 24, 28 และ 32 นาที พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้งหลังออกจากจากอุโมงค์ไมโครเวฟแล้วจะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์ร้อยละ 86.14 – 94.00 และ 80.71 – 90.37 ตามลำดับ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.77 – 13.92 และ 11.12 – 14.97 ตามลำดับ และอุณหภูมิที่ผิวหน้าอยู่ในช่วง 84.06 – 109.06 และ 81.96 – 105.20 °ซ ตามลำดับ และยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้นจะทำให้ข้าวมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น ในขณะที่ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ลดลงเล็กน้อยแต่ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนานขึ้น พบว่าข้าวจะมีปริมาณความชื้นลดลง ในขณะที่ระดับการเกิดเจลลาติไนส์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติดังตาราง ANOVA ในภาคผนวก ง (ตารางที่ ง5 – ง10) พบว่าระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งกับระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟไม่มีอิทธิพลร่วมต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าข้าวทั้งในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวข้าวตาแห้ง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวหลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ แสดงผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการในทดลองในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าว ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวหลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ

ปัจจัยในการทดลอง	ข้าวขาวดอกมะลิ 105			ข้าวขาวตาแห้ง		
	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ผิวหน้า (°ซ)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ผิวหน้า (°ซ)
เวลาแช่เยือกแข็ง	-0.3494 ns	0.2589 ns	-0.5061*	-0.2435 ns	0.2263 ns	0.1515 ns
เวลาทำแห้งด้วยไมโครเวฟ	0.7798**	-0.8384**	0.7771**	0.8410**	-0.8904**	0.7656**
แช่เยือกแข็ง * ไมโครเวฟ	-0.0843 ns	-0.0284 ns	-0.2174 ns	0.0478 ns	-0.0908 ns	0.3977 ns

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

จากตารางที่ 4.6 พบว่าปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ มีผลดังนี้ ในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าว โดยเมื่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้นจะทำให้ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวมีแนวโน้มลดลง และทำให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่ทำให้เกิดความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นอุณหภูมิที่ผิวหน้า โดยเมื่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้ามีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟมีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าว โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนานขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าและระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ในกรณีของข้าวขาวตาแห้ง พบว่าระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าว โดยเมื่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าและปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวจะลดลงแต่ไม่ทำให้เกิดความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟมีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าว โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนานขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าและระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลอง คือระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งร่วมกับระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่มีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าว พบว่าปัจจัยในการทดลองไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าว ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ

นอกจากนี้แล้วเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวหลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟแล้ว แสดงผลดังตารางที่ 4.7 โดยพบว่าระดับการเกิดเจลาติไนส์และอุณหภูมิที่ผิวหน้ากับปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ กล่าวคือ ในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวจะมีระดับการเกิดเจลาติไนส์และอุณหภูมิที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนในกรณีของข้าวขาวตาแห้ง พบว่าเมื่อระดับการเกิดเจลาติไนส์เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่อุณหภูมิที่ผิวหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่ทำให้เกิดความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.7 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวภายหลังการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ

ปัจจัย	ข้าวขาวดอกมะลิ 105			ข้าวขาวตาแห้ง		
	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ผิวหน้า (°ซ)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ผิวหน้า (°ซ)
การเกิดเจลลาติไนส์	1	-0.7428**	0.7616**	1	-0.7665**	0.4072 ns
ความชื้น	-	1	-0.7590**	-	1	-0.5937**
อุณหภูมิที่ผิวหน้า	-	-	1	-	-	1

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

หลังจากการทำแห้งโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟแล้ว พบว่าข้าวยังมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 10 – 14 ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ในข้างต้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย เนื่องจากจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา และปริมาณความชื้นสูงยังช่วยเร่งการเกิดกลิ่นเหม็นอับและทำให้ข้าวมีสีคล้ำลงได้ ซึ่งอาจทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นจึงนำข้าวมาทำแห้งครั้งที่สองด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะลดระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วลงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือประมาณร้อยละ 7 – 10 เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานประมาณ 1 ปี (Carlson *et al.* 1976)

หลังจากการทำแห้งครั้งที่สองด้วยตู้อบลมร้อนแล้ว ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จะนำมาวิเคราะห์หาระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และค่า Bulk density โดยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะแสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และค่า Bulk density ของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้

ปัจจัย		ข้าวขาวดอกมะลิ 105			ข้าวขาวตาแห้ง		
เวลาแช่เยือกแข็ง (ชั่วโมง)	เวลาทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (นาที)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	Bulk density (g/cm^3)	การเกิดเจลลาติไนส์ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	Bulk density (g/cm^3)
6	24	90.28 ± 1.79^{a}	10.79 ± 0.42^{ab}	0.63^{a}	87.00 ± 1.06^{a}	11.98 ± 0.69^{a}	0.64^{a}
	28	95.14 ± 3.23^{cd}	9.63 ± 0.57^{bc}	0.60^{b}	89.36 ± 3.10^{ab}	11.56 ± 0.95^{ab}	0.64^{a}
	32	99.32 ± 1.30^{d}	8.72 ± 0.55^{c}	0.56^{c}	94.14 ± 2.35^{c}	9.53 ± 1.48^{c}	0.62^{ab}
10	24	91.33 ± 1.68^{ab}	11.91 ± 1.11^{a}	0.60^{b}	85.85 ± 0.38^{a}	12.54 ± 1.06^{a}	0.63^{a}
	28	93.55 ± 0.34^{abc}	11.45 ± 0.52^{a}	0.59^{b}	89.48 ± 1.22^{ab}	11.30 ± 0.08^{ab}	0.63^{a}
	32	96.95 ± 0.40^{cd}	9.22 ± 0.18^{c}	0.56^{c}	93.90 ± 0.22^{c}	9.58 ± 0.41^{c}	0.60^{ab}
14	24	89.58 ± 0.22^{a}	12.24 ± 0.91^{a}	0.59^{b}	85.84 ± 0.75^{a}	12.92 ± 0.97^{a}	0.61^{ab}
	28	92.00 ± 0.20^{ab}	11.17 ± 0.45^{b}	0.56^{c}	88.78 ± 1.07^{ab}	11.83 ± 0.11^{ab}	0.59^{ab}
	32	96.77 ± 3.22^{cd}	9.35 ± 0.39^{bc}	0.55^{c}	92.66 ± 2.79^{c}	9.88 ± 0.19^{c}	0.57^{b}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ Superscript ที่เหมือนกันในแนวตั้งอย่างน้อย 1 ตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแล้วจะมีปริมาณความชื้นลดลงและระดับการเกิดเจลลาติไนส์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง โดยพบว่าข้าวที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 6 ชั่วโมงร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 32 นาที จะมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์สูงสุดทั้งในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า Bulk density ซึ่งแสดงถึงความเป็นรูพรุนของเมล็ดข้าว โดยจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวในระหว่างการคืนรูป (Carlson. 1976) พบว่าในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้นจะทำให้ข้าวมีค่า Bulk density ลดลงเล็กน้อยแต่ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนานขึ้นจะทำให้ข้าวมีค่า Bulk density ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในกรณีของข้าวขาวตาแห้งพบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนานขึ้นจะทำให้ข้าวมีค่า Bulk density ลดลงเล็กน้อยแต่ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งที่ 6, 10 และ 14 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนาน 32 นาที เพื่อนำไปศึกษาหาระยะเวลาในการคืนรูป เนื่องข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้งจะมีระดับการเกิดเจลลาติไนส์สูง อยู่ในช่วงร้อยละ 96.77 – 99.32 และ 92.66 – 94.14 ตามลำดับ ส่วนปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 8.72 – 9.35 และ 9.53 – 9.88 ตามลำดับ และมีค่า Bulk density อยู่ในช่วง 0.50 – 0.56 และ 0.52 – 0.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว

4.4 การศึกษาหาระยะเวลาในการคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้

การศึกษาหาระยะเวลาในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้โดยเลือกข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งที่ 6, 10 และ 14 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนาน 32 นาที นำมาคืนรูปโดยใช้เตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน และการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด ซึ่ง Juliano และคณะ (1965) พบว่าในการหุงต้มข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ อัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่เหมาะสมเป็น 1.2 – 1.7 เท่า ส่วนการหุงต้มข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงอัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่เหมาะสมเป็น 1.9 – 2.5 เท่า ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ อัตราส่วนของปริมาตรน้ำต่อน้ำหนักข้าวที่เหมาะสมเท่ากับ 1.5 เท่าสำหรับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และอัตราส่วนของปริมาตรน้ำต่อน้ำหนักข้าวที่เหมาะสมเท่ากับ 2.5 เท่าสำหรับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง ซึ่งการคืนรูปจะใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 150 มิลลิลิตรสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 250 มิลลิลิตรสำหรับข้าวขาวตาแห้ง ส่วนการคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วโดยการเติมน้ำต้มเดือด

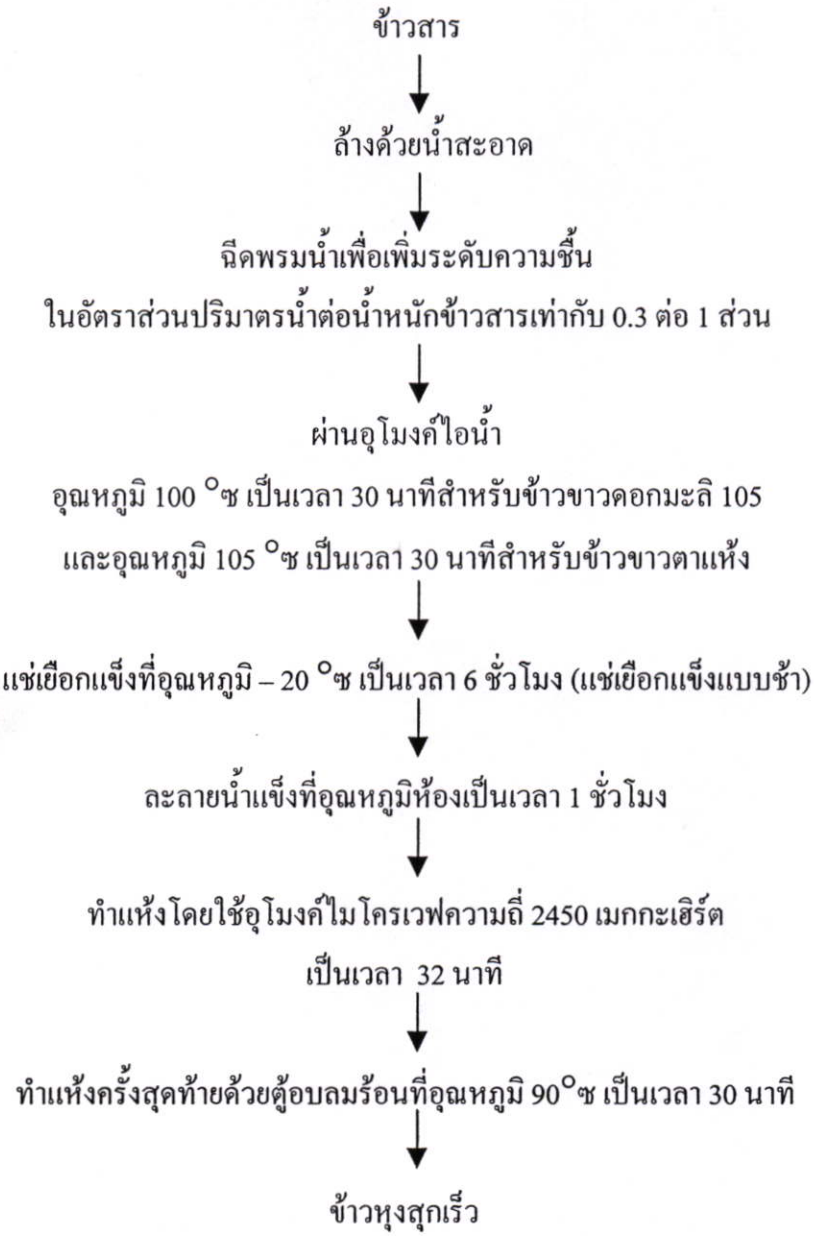
(อุณหภูมิ 100 °ซ) นั้นจะใช้ข้าวหุงสุกเร็ว 100 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตรทั้งในกรณีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปจะแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยการใช้เตาไมโครเวฟและการเติมน้ำร้อนที่ผ่านการต้มเดือด

ปัจจัยในการทดลอง		วิธีการคืนรูป			
		ข้าวขาวดอกมะลิ 105		ข้าวขาวตาแห้ง	
เวลาแช่เยือกแข็ง (ชั่วโมง)	เวลาในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (นาที)	เตาไมโครเวฟ	เติมน้ำต้มเดือด	เตาไมโครเวฟ	เติมน้ำต้มเดือด
6	32	3	4	5	8
10	32	3	4	5	8
14	32	3	4	5	8

หมายเหตุ : ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลอง พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 6, 10 และ 14 ชั่วโมง ร่วมกับการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 32 นาทีจะใช้ระยะเวลาในการคืนรูปไม่แตกต่างกัน โดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะใช้ระยะเวลาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที และคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือดเป็นเวลา 4 นาที ส่วนข้าวขาวตาแห้งจะใช้ระยะเวลาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 5 นาที และคืนรูปโดยการเติมน้ำเดือดเป็นเวลา 8 นาที ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว โดยใช้ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งสั้นที่สุดคือ 6 ชั่วโมงร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 32 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว และนอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 4.1 สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปให้ต่ำกว่า 5 นาทีได้ในกรณีของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ในที่นี้คือข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ในที่นี้คือข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งนั้นไม่สามารถลดระยะเวลาในการคืนรูปให้ต่ำกว่า 5 นาทีได้



ภาพที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ

4.5 การตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้

นำข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากกระบวนการผลิตในข้อที่ 4.4 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็ง 6 ชั่วโมงร่วมกับการทำแห้งในอุโมงค์ไมโครเวฟเป็นเวลา 32 นาที มาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

4.5.1 ก่อนการคืนรูป

4.5.1.1 การหาค่า Bulk density

ในศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ทำได้โดยการหาค่า Bulk density โดยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงถึงความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่จำหน่ายในตลาดต่างประเทศ แสดงผลดังตารางที่ 4.10

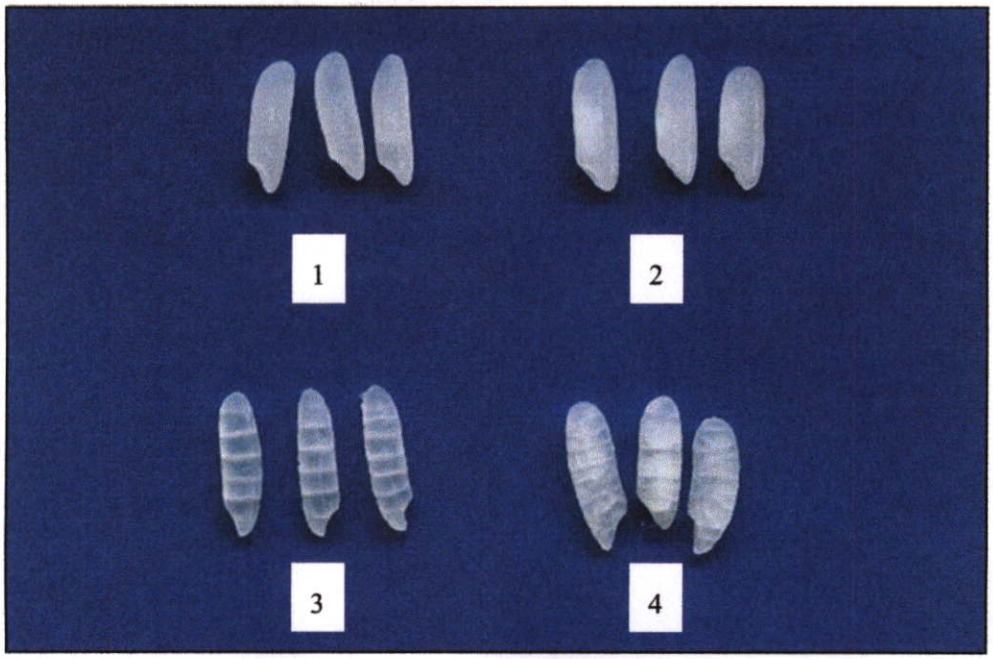
ตารางที่ 4.10 ค่า Bulk density ของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

ชนิดของข้าว	Bulk density (g/cm^3)
ข้าวสารพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105	0.74 [a]
ข้าวสารพันธุ์ข้าวขาวตาแห้ง	0.74 [a]
ข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวขาวดอกมะลิ 105	0.51 [c]
ข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวขาวตาแห้ง	0.56 [b]
ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ	0.31 [d]

หมายเหตุ : 1) ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

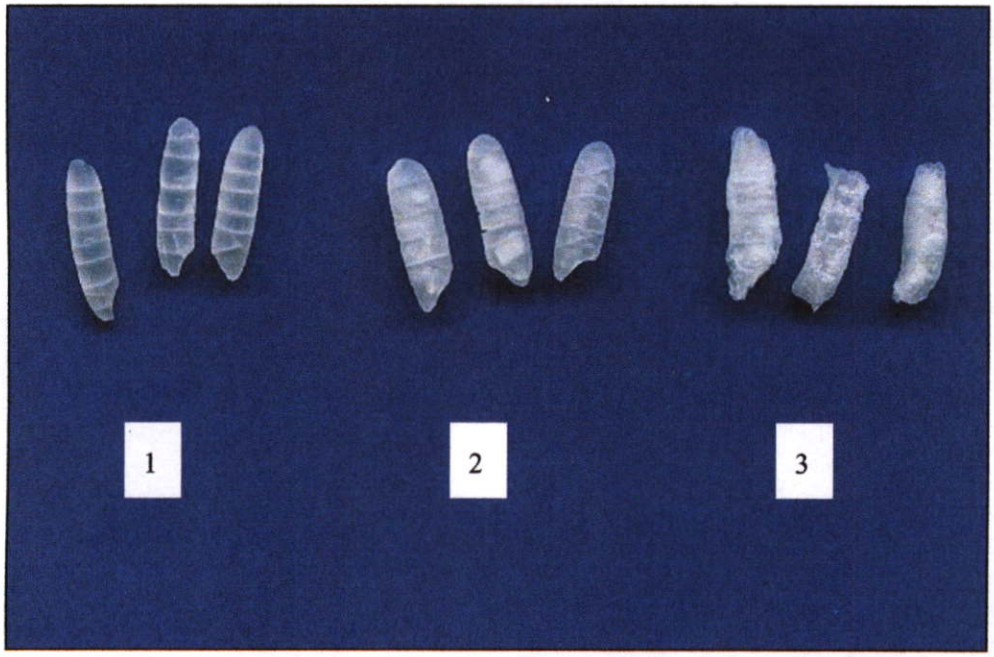
2) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ Superscript ที่เหมือนกันอย่างน้อย 1 ตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เนื่องจากค่า Bulk density เกี่ยวข้องกับความพรุนของเมล็ดข้าว โดยข้าวที่มีค่า Bulk density ต่ำจะมีความพรุนมาก และเมื่อนำไปคืนรูปจะสามารถดูดน้ำกลับได้อย่างรวดเร็ว โดยค่า Bulk density ของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ดีนั้นควรอยู่ในช่วง 0.40 – 0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะถ้าค่า Bulk density มีค่าต่ำมากๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแตกหักง่าย และเมื่อนำมาคืนรูปแล้วจะดูดกลับน้ำมากเกินไป เป็นผลทำให้ข้าวสุกที่ได้แฉะและมีคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการ (Carlson. *et al.* 1976) ซึ่งจากตารางที่ 4.10 พบว่าค่า Bulk density ของข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้งจะมีค่าต่ำกว่าค่า Bulk density ของข้าวสารทั้งสองพันธุ์ ส่วนข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศพบว่าจะมีค่า Bulk density ต่ำเกินไป ซึ่งอาจทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ และเมล็ดข้าวแตกหักได้ง่าย



ภาพที่ 4.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวสาร

1 คือ ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
2 คือ ข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง
3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105
4 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

1 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105
2 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง
3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

จากภาพที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวสาร จะสังเกตเห็นว่าเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากข้าวขาวตาแห้งจะมีลักษณะใสขึ้น และเกิดรอยแตกร้าวตามภาคตัดขวางของเมล็ด ทั้งนี้เนื่องจากการที่ทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์บางส่วนแล้วนำไปทำแห้ง จะทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปิดออกและเกิดรูพรุนขึ้น และจากภาพที่ 4.3 แสดงโครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ จะสังเกตเห็นว่าเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากข้าวขาวตาแห้งจะเกิดรอยแตกร้าวตามภาคตัดขวางของเมล็ด และรูปร่างของเมล็ดข้าวมีลักษณะสมบูรณ์ ไม่แตกหัก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วิธีการแช่เยือกจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งซึ่งจะไปทำลายโครงสร้างที่เป็นคอลลอยด์ของแป้ง เป็นผลทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดข้าวเกิดรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ประกอบกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟจะไม่ทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเกิดการหดตัวเนื่องจากการทำแห้งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างเมล็ดข้าวจะมีลักษณะแตกบาน และเกิดเป็นโพรงตรงกลางเมล็ด

4.5.1.2 การตรวจสอบคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค

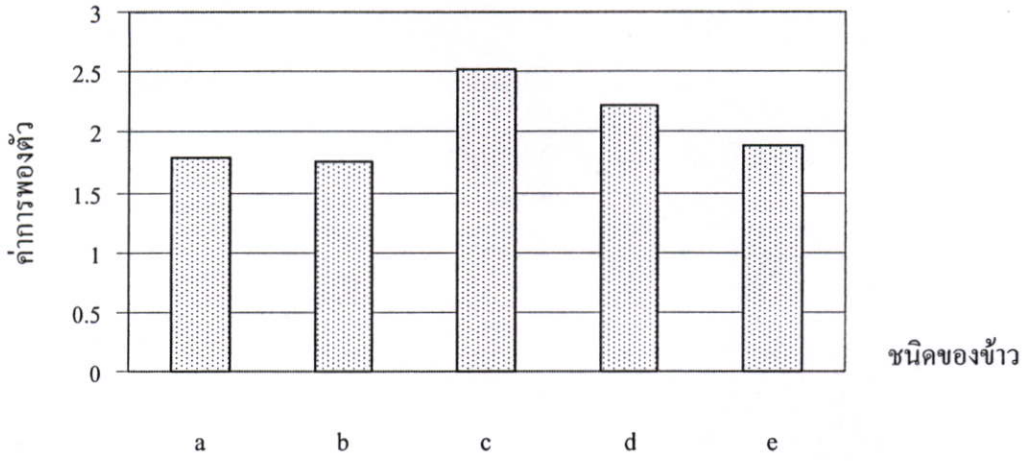
ในการตรวจสอบคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค (Cooking and eating quality of grains) ของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้นั้น ทำได้โดยการหาค่าการพองตัว (Volume expansion) อัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio) และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (Total soluble solid, %) เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ได้ผลดังตารางที่ 4.11

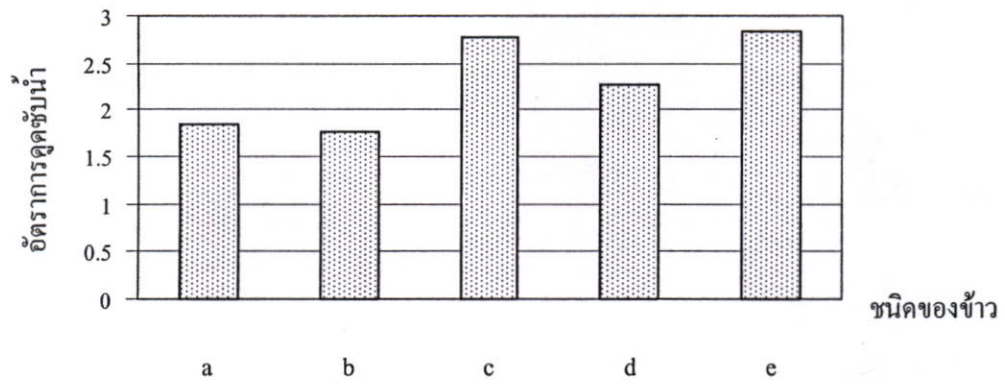
ตารางที่ 4.11 ค่าการพองตัว อัตราการดูดซับน้ำ และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

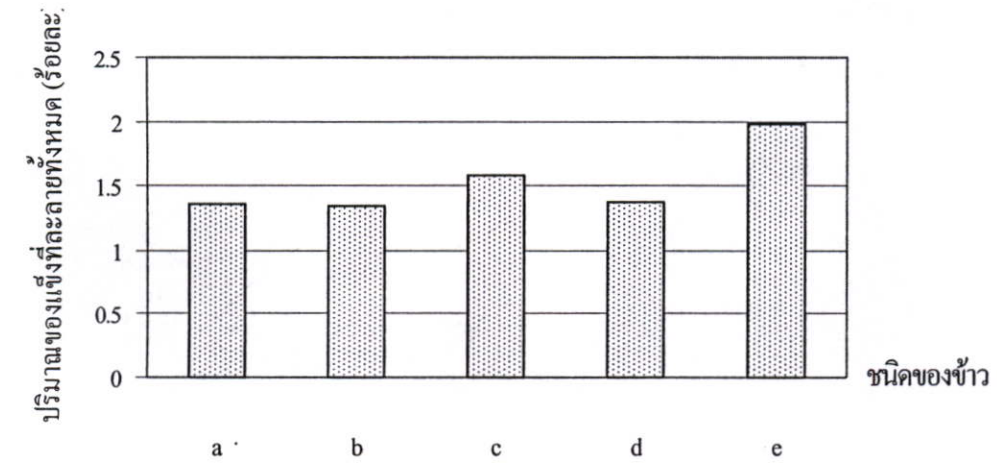
ชนิดของข้าว	ค่าการพองตัว	อัตราการดูดซับน้ำ	ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (ร้อยละ)
ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	1.79 ± 0.03^{a}	1.85 ± 0.04^{a}	1.36 ± 0.06^{a}
ข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง	1.76 ± 0.04^{a}	1.76 ± 0.07^{a}	1.34 ± 0.03^{a}
ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105	2.52 ± 0.13^{c}	2.77 ± 0.19^{c}	1.59 ± 0.16^{ab}
ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง	2.22 ± 0.02^{b}	2.27 ± 0.13^{b}	1.37 ± 0.20^{a}
ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ	1.89 ± 0.14^{a}	2.84 ± 0.07^{c}	1.97 ± 0.24^{c}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ Superscript ที่เหมือนกันในแนวตั้งอย่างน้อย 1 ตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)







ภาพที่ 4.4 ค่าการพองตัว อัตราการดูดซับน้ำ และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ
โดย (a) ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (b) ข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง (c) ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 (d) ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง และ (e) ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

คุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าวแต่ละสายพันธุ์มักจะแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ ลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว ปริมาณอะไมโลส และปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบ เป็นต้น รวมถึงปริมาณการแตกร้าว (Cracked) และปริมาณท้องไข่ (Chalky) ในโครงสร้างของเมล็ดข้าว แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าวนั้นมักจะขึ้นอยู่กับความชอบส่วนบุคคล โดยบางคนอาจชอบข้าวที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม แต่บางคนอาจชอบข้าวที่ร่วน หุงขึ้นหม้อ ดังนั้นเพื่อให้เกิดเป็นมาตราฐานเดียวกันในการวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าวจึงอาศัยการหาปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างที่คืนรูปแล้ว เรียกว่าค่าการพองตัว หรือค่า Bulk volume ซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำและการพองตัวของเมล็ดข้าว โดยผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ดีนั้นควรจะมีค่าการพองตัวเป็น 1.5 – 3.0 เท่าของผลิตภัณฑ์ก่อนการคืนรูป (Roberts. 1972) นอกจากนี้ยังมีการหาอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว โดยการหาน้ำหนักของตัวอย่างที่คืนรูปแล้วต่อน้ำหนักของตัวอย่างก่อนการคืนรูป ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำจะแสดงถึงความเป็นรูพรุนของเมล็ดข้าว โดยข้าวที่มีอัตราการดูดซับน้ำสูงจะสามารถคืนรูปได้เร็วกว่าข้าวที่มีอัตราการดูดซับน้ำต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการดูดซับน้ำของข้าวจะมีค่าประมาณ 2.5 เท่า (Bhattacharya and Sowbhagya. 1971) โดยจากตารางที่ 4.11 พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าการพองตัวสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง ตามลำดับ โดยจะสังเกตเห็นว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศจะมีค่าการพองตัวค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมล็ดข้าวมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลาง จึงทำให้เมื่อคืนรูปแล้วปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการดูดซับน้ำพบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศจะมีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 รองลงมาคือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง ข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง และข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 โครงสร้างจะมีลักษณะเป็นรูพรุน สามารถดูดซับน้ำได้ง่าย และใช้ระยะเวลาในการคืนรูปสั้น

สำหรับในการวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคของข้าวนั้น นอกจากจะหาค่าการพองตัว และอัตราการดูดซับน้ำแล้วยังสามารถหาปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดหรือปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในน้ำที่ใช้หุงต้มข้าว ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว โดยมักพบว่าข้าวเมล็ดยาวจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดต่ำกว่าข้าวเมล็ดยาวปานกลางและข้าวเมล็ดสั้น (Batcher *et al.* 1956) ซึ่งจากตารางที่ 4.11 พบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดสูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ เมื่อนำไปคืนรูปแล้วเมล็ดข้าวจะมีลักษณะแตกหักมากกว่าข้าวหุงสุก

เร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง โดยจากภาพที่ ช3 และ ช4 (ในภาคผนวก ช) จะสังเกตเห็นว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศเมื่อคืนรูปแล้วจะจำนวนข้าวไม่เต็มเมล็ดอยู่มากกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง

4.5.2 หลังการคืนรูป

การตรวจสอบคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้หลังการคืนรูปทำได้โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆ ได้แก่ สี รูปร่าง (ความสมบูรณ์ของเมล็ด และการเกาะติดกันของเมล็ด) กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น ความนุ่ม ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่จำหน่ายในตลาดต่างประเทศ โดยใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ชิมแล้วให้คะแนนจำนวนทั้งหมด 30 คน

สำหรับวิธีการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้เพื่อใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคนั้นจะใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 150 มิลลิลิตรในการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือนเป็นเวลา 3 นาที และใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตรในการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือดเป็นเวลา 4 นาทีสำหรับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และจะใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 250 มิลลิลิตรในการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือนเป็นเวลา 5 นาที และใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตรในการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือดเป็นเวลา 8 นาทีสำหรับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง ส่วนวิธีการเตรียมก่อนการบริโภคของข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศนั้นจะใช้วิธีการตามฉลากข้างกล่อง โดยการคืนรูปโดยใช้ไมโครเวฟจะใช้ข้าวหุงสุกเร็วจำนวน 100 กรัมต่อน้ำ 1 ถ้วยตวง (ประมาณ 160 มิลลิลิตร) นำไปเข้าเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 6 นาที และการคืนรูปโดยการเติมน้ำเดือดจะใช้ข้าวหุงสุกเร็ว 100 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 5 นาที

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆ

ปัจจัย		สี	ความสมบูรณ์ของเมล็ด	การเกาะตัวของเมล็ด	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
ข้าวหุงสุกเร็ว	วิธีการคืนรูป							
ขาวดอกมะลิ 105	ไมโครเวฟ	6.50 ± 1.56^{b}	6.43 ± 1.49^{bc}	6.97 ± 1.34^{b}	6.54 ± 1.70^{b}	6.32 ± 1.60^{d}	6.08 ± 1.51^{b}	6.58 ± 1.51^{cd}
	เติมน้ำต้มเดือด	7.05 ± 1.40^{bc}	6.78 ± 1.53^{c}	7.00 ± 1.43^{b}	6.72 ± 1.51^{b}	6.75 ± 1.49^{d}	6.43 ± 1.69^{b}	6.77 ± 1.48^{cd}
ขาวตาแห้ง	ไมโครเวฟ	6.80 ± 1.40^{b}	6.55 ± 1.75^{bc}	6.11 ± 1.62^{a}	6.08 ± 1.58^{b}	5.07 ± 1.64^{a}	4.95 ± 1.57^{a}	5.50 ± 1.64^{ab}
	เติมน้ำต้มเดือด	7.45 ± 1.35^{c}	6.45 ± 1.70^{bc}	5.77 ± 1.96^{a}	6.08 ± 1.59^{b}	5.28 ± 1.60^{ab}	5.08 ± 1.52^{a}	5.65 ± 1.71^{ab}
ที่มีจำหน่ายใน	ไมโครเวฟ	5.57 ± 1.65^{a}	5.50 ± 1.76^{a}	5.72 ± 1.80^{a}	4.92 ± 1.84^{a}	5.68 ± 1.65^{bc}	5.45 ± 1.73^{a}	5.42 ± 1.73^{a}
ตลาดต่างประเทศ	เติมน้ำต้มเดือด	6.60 ± 1.29^{b}	6.00 ± 1.52^{ab}	6.03 ± 1.61^{a}	5.25 ± 1.90^{a}	6.18 ± 1.49^{cd}	5.47 ± 1.72^{a}	6.07 ± 1.59^{bc}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากผู้ชิมทั้งหมด 30 คน ชิมแล้วให้คะแนน โดย 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด 2 คือ ไม่ชอบมาก 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย 5 คือ เฉยๆ 6 คือ ชอบเล็กน้อย 7 คือชอบปานกลาง 8 คือชอบมาก และ 9 คือชอบมากที่สุด

2) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ Superscript ที่เหมือนกันในแนวตั้งอย่างน้อย 1 ตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$))

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆ พบว่า ในด้านสีของผลิตภัณฑ์ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งจะได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ตามลำดับ ทั้งในกรณีของการคืนรูปโดยโดยการใช้เตาไมโครเวฟและการเติมน้ำต้มเดือด ส่วนในด้านความสมบูรณ์ของเมล็ด และกลิ่นข้าวสุก พบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งจะได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศทั้งในกรณีของการคืนรูปโดยการใช้เตาไมโครเวฟและการเติมน้ำต้มเดือด ส่วนในด้านการเกาะตัวของเมล็ดพบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศจะได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผู้ชิมชอบข้าวที่มีลักษณะเหนียวและนุ่มมากกว่าข้าวที่มีลักษณะร่วนแข็งเป็นรูปเมล็ด ส่วนในด้านของรสชาติและเนื้อสัมผัสพบว่า ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกรณีของการคืนรูปโดยการใช้เตาไมโครเวฟและการเติมน้ำต้มเดือด และเมื่อพิจารณาถึงการยอมรับโดยรวมพบว่า ผู้ชิมให้การยอมรับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มากที่สุด ในขณะที่ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศได้รับการยอมรับต่ำที่สุด ส่วนวิธีการคืนรูปโดยการใช้เตาไมโครเวฟและวิธีการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือดจะได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกรณีของข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวเกิดการเจลลาติไนส์ในอุโมงค์ไอน้ำ โดยการนำข้าวสารมาล้างน้ำสะอาด แล้วฉีดพรมน้ำในอัตราส่วนปริมาตรน้ำต่อน้ำหนักข้าวสารเท่ากับ 0.3 ต่อ 1 ส่วนเพื่อเพิ่มระดับความชื้นก่อนนำเข้าอุโมงค์ไอน้ำ จากนั้นจึงนำเข้าอุโมงค์ไอน้ำ โดยพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการผ่านอุโมงค์ไอน้ำเท่ากับ 100 °ซ เป็นเวลา 30 นาที สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และอุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 30 นาทีสำหรับข้าวขาวตาแห้ง เพื่อทำให้ข้าวเกิดการเจลลาติไนส์ประมาณร้อยละ 80 และมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50 - 75

2. เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลอง มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองกับคุณลักษณะของข้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าอุณหภูมิในการผ่านอุโมงค์ไอน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ระยะเวลาในการผ่านอุโมงค์ไอน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และยังพบว่าปัจจัยในการทดลองคืออุณหภูมิและระยะเวลาในการผ่านอุโมงค์ไอน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

3. การศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต พบว่าควรนำข้าวที่เกิดการเจลลาติไนส์ในอุโมงค์ไอน้ำมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –20 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 °ซ) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำมาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต เป็นเวลา 32 นาที

4. เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลอง มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองกับคุณลักษณะของข้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งไม่มีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ระยะเวลาในการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และยังพบว่าปัจจัยในการทดลองคือระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟไม่มีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิที่ผิวหน้าข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5. ในกระบวนการผลิต ข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟแล้วจำเป็นต้องอาศัยการทำแห้งครั้งที่สองในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อลดระดับความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 10

6. ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟมใช้ระยะเวลาในการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต และการเติมน้ำต้มเดือดสั้นกว่า 5 นาที ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ข้าวขาวดอกมะลิ 105)

7. ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตมีค่า Bulk density 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความชื้นร้อยละ 8.72 ในกรณีที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ข้าวขาวดอกมะลิ 105) และมีค่า Bulk density 0.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความชื้นร้อยละ 9.53 ในกรณีที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ข้าวขาวตาแห้ง)

8. การตรวจสอบคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคของข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีค่าการพองตัว และอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จึงทำให้สามารถคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว

9. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ผู้ชิมให้การยอมรับโดยรวมต่อข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟโดยใช้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำเป็นวัตถุดิบในการผลิตมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง และข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการศึกษาใช้วิธีการแช่เยือกแข็งแบบช้า เพื่อทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ซึ่งจะส่งผลต่อความเป็นรูพรุนของเมล็ดข้าวภายหลังการทำแห้งแล้ว ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรจะมีการศึกษาการใช้วิธีการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว เพื่อทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กอย่างสม่ำเสมอ

บรรณานุกรม

กมลทิพย์ มั่นภักดี. 2533. "ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว." ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537. **กระบวนการแปรรูปอาหาร.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2539. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. 2536. **เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว.** ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

งามชื่น คงเสรี. 2540. "คุณภาพข้าวสุก." **วารสารจาร์พา.** 38 : 41-44.

ณยศ ปณิธานธรรม และ ธนิต จารุมาลัย. 2540. "การศึกษากระบวนการผลิตข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป." ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นาฏยา บาลี. 2543. "การศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิตยา พุทธโกษา. 2537. "ก้าวใหม่ของข้าวไทย." หน้า 11-19. ใน **การประชุมวิชาการข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ : คณะอนุกรรมการประสานงานวิจัย และพัฒนาข้าวและผลิตภัณฑ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ภัทรชนก ธีรธิติ. 2541. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวอบกุ้งปรุงรสกึ่งสำเร็จรูป." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รตนชนม์ ธันโยดม และนัฐธีร์ ศรีสุภาพ. 2532. "การศึกษาสมบัติของ Gel consistency และ Gelatinization temperature ที่มีต่อคุณภาพข้าวหุงสุกไว." ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. 2539. **เอกสารประกอบการสอนชุดการถนอมและการแปรรูปอาหาร.** สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

วุฒิชัย นาครักษา. 2535. **เทคโนโลยีธัญพืช.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย นาครักษา. 2536. **คาร์โบไฮเดรตในอาหาร.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศิริพล ยอดเมืองเจริญ. 2537. "กลยุทธ์ในการแข่งขันกับตลาดโลก." หน้า 33-41. ใน **การประชุมวิชาการข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ : คณะอนุกรรมการประสานงานวิจัย และพัฒนาข้าวและผลิตภัณฑ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

Ando, M., Minami, J., Takata, M. and Ohnishi, F. **Process for Producing Instant-Cooking Rice.** US Patent no.4233327, Nov 1980.

AOAC. Official Method of Analysis. 1995. 16th[ed]. **The Association of Analysis Chemists.** Arlington, Virginia.

Azeez, M.A. and Shafi, D.C. 1966. "Quality in rice." **Department Agriculture (W.Pakistan) Technology Bulletin.** 13 : 23.

Baldwin, R.E. 1983. "Microwave Cooking : an Overview." **Journal of Food Protection.** 46(3) : 266-269.

Batcher, O.M., Helmintoller, K.F. and Dawson, E.H. 1956. "Development and Application of Methods for Evaluating Cooking and Eating Quality of Rice." **The Rice Journal.** 59(13) : 4-8, 32.

Bhattacharya, K.R. and Sowbhagya, C.M. 1971. "Water Uptake by Rice." **Cereal Science Today.** 16(12) : 420-424.

Birch, G.G. and Priestly,R.J. 1973. "Degree of Gelatinization of Cooked Rice." **Die Starke.** 25(3) : 98-100.

Carlson, R.A., Roberts, R.L. and Farkas, D.F. 1976. "Preparation of Quick – Cooking Rice Products Using a Centrifugal Fluidized Bed." **Journal of Food Science.** 41(5) : 1171 – 1179.

Copson, D.A. 1975. **Microwave Heating.** Connecticut : AVI Publishing Co.

Decareau, R.V. 1985. **Microwaves in the Food Processing Industry.** Florida : Academic Press.

Fellows, P.J. 1988. **Food Processing Technology Principles and Practice.** London : Ellis Horwood Limited.

Ghosh, A.K. and Mukherjee, S. 1988. "Studies on the Development of Methods for Production of Quick Cooking Rice." **Journal of Food Science and Technology.** 25(4) : 182-185.

Gloria, B.C, Perez, C.M. and Juliano,B.O. 1973. "A Gel Consistency Test for Eating Quality of Rice." **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 24 : 1589-1594.

Hamaker, B.R. 1994. "The Influence of Rice Protein on Rice Quality." 177-193. in Marshall, W.E and Wadsworth, S.I. **Rice Science and Technology.** USA : Marcel Dekker.

Harlfinger, L. 1992. "Microwave Food Processing Equipment Throughout The World." **Journal Food Technology.** 6 : 99-105.

Howland, R.F. **Quick Cooking Rice Product and Process for Preparing Same.** US Patent no.3694226, Sept 1972.

Huxsoll, C.C and Morgan, A.I. 1968. "Microwave for Quick-Cooking Rice." **Cereal Science Today.** 13(5) : 203-206.

Ishida, Y. **Highly Water Absorbing Rice, Method of producing same and Application of Same.** US Patent no.5591475, Jan 1997.

Juliano, B.O., Onate, L.U. and Mundo, A.M. 1965. "Relation of Starch Composition Protein Content and Gelatinization Temperature to Cooking and Eating Qualities of Milled Rice." **Food Technology.** 19 : 1006-1011.

Juliano, B.O. 1971. "A Simplified Assay for Milled-rice Amylose." **Cereal Science Today.** 16(10) : 334-360.

Juliano,B.O., Perez, C.M., Blakeney, A.B., Breckenridge, C., Castillo, T.D., Choudury, N.H., Kogseree, N., Laignelet, B., Merca, F.E., Paule, C.M. and Webb, B.D. 1980. "Report of The International Cooperative Testing on The Gel Consistency of Milled Rice." **Riso.** 29 : 233-237.

Keneaster, K.K. and Newlin, H.E. 1957. "Process for Producing a Quick-Cooking Product of Rice or Other Starchy Vegetable." 381-399. in Houston, D.F. **Rice Chemistry and Technology.** USA. : American Association of Cereal Chemists.

Kent, N.L. 1983. **Technology of Cereals.** England. : Pergamon Press.

Lambert, J.P. 1980. "Biological Hazards of Microwave Radiation." **Journal of Food Protection.** 43(8) : 625-628.

Luh, B.S. 1980. **Rice : Production & Utilization.** USA. : The AVI Publishing Company.

Luh, B.S. 1991. **Rice : Utilization.** Volume 2. 2end ed. USA. : Van Nostrand Reinhold.

Oates, C.G. 1997. "Towards an Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis." **Trends in Food Science and Technology.** 8 : 375-383.

Robert, L.R. 1972. "Quick-Cooking Rice." 381-399. In Houston, D.F. **Rice Chemistry and Technology.** USA. : American Association of Cereal Chemists.

Roseman, A.S. 1958. "The Effect of Freezing on the Hydration Characteristics of Rice." 167-175. In Luh, B.S. 1991. **Rice : Utilization.** Volume2. 2end ed. USA. : Van Nostrand Reinhold.

Sangnikornkiat, S. 1995. "A Study of Dry Heat Pretreatment for Preparing Quick Cooking Rice." Master Degree of Science, Asian Institute of Technology.

Smith, D.A., Rao, R.M., Liuzzo, J.A. and Champagne, E. 1985. "Chemical Treatment and Process Modification for Producing Improved Quick-Cooking Rice." **Journal of Food Science.** 50 : 926-931.

Tanaka, M and Yukami, S. **Method of Preparing Precooked Dry Rice.** US Patent no.3484249, Dec 1983.

Wadsworth, J.I. 1994. "Microwave-Vacuum Drying." 299-339. in Marshall, W.E and Wadsworth, S.I. **Rice Science and Technology.** USA : Marcel Dekker.

Wadsworth, J.I. and Koltun, S.P. 1986. "Physicochemical Properties and Cooking Quality of Microwave-Dried Rice." **Cereal Chemistry.** 63(4) : 346-348.

Weibye, B. **Quick Cooking and Process for Making The Same.** US Patent no.4385074, May 1983.

Zain, A.M. and Bakar, N.A. 1992. **Effect of Microwave Heating on Physical Characteristic of Rice (Oryza sativa L.).** [CD-ROM].

Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. 1994. "Densities, Shrinkage and Porosity of Some During Air Drying." **Drying Technology.** 12(7) : 1653-1666.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การหาปริมาณความชื้น (AOAC. Method no.32.1.03, 1995)

1.1 ชั่งน้ำหนักอลูมิเนียมแคนพร้อมฝา ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่อจนกว่าได้น้ำหนักคงที่

1.2 ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในอลูมิเนียมแคนที่ชั่งไว้แล้ว เปิดฝา นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่อจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไปในการอบ x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

2. การหาปริมาณโปรตีน (AOAC. Method no.984.13, 1995)

2.1 นำตัวอย่าง 3 – 5 กรัมใส่ลงในลงในหลอดย่อย (Kjeldahl flask)

2.2 เติมโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4. Anhydrous) 4.5 กรัม เติมคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 . 5H_2O$) 0.5 กรัม เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเติม Glass beads ประมาณ 2 – 3 เม็ด

2.3 เติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร

2.4 นำไปย่อยบนเตาไฟจนได้ของเหลวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2.5 เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร

2.6 เตรียมกรดบอริกเข้มข้น 4% จำนวน 50 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวจับแอมโมเนียที่กลั่นได้จากตัวอย่าง หยดเมทิล-เมทิลีนบลู 4 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์

2.7 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อย แล้วนำไปกลั่น

2.8 นำสารละลายที่กลั่นได้มาไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ แล้วคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{\text{(N HCl) (ml. HCl ของตัวอย่าง – ml. HCl ของ Blank) (14) x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg.)}}$$

$$\text{โปรตีน (ร้อยละ)} = \text{ร้อยละของไนโตรเจน x Conversion factor}$$

3. การหาปริมาณไขมัน (AOAC. Method no.920.39, 1995)

3.1 อบบีกเกอร์ไขมันและ boiling chip ที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่อจนกว่าได้น้ำหนักคงที่

3.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ลงใน Thimble ปิดด้านบนด้วยสำลี

3.3 ใส่ Thimble ลงในหลอดสกัดที่ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในบีกเกอร์ไขมัน 25 มิลลิลิตร

3.4 สกัดไขมันจากตัวอย่าง 5 ชั่วโมง โดยใช้ Soxhlet apparatus โดยให้มีอัตราการควบแน่นของปิโตรเลียมอีเทอร์ 5 – 6 หยดต่อนาที และรักษาระดับปริมาณของปิโตรเลียมอีเทอร์ให้คงที่ในระหว่างการสกัด

3.5 นำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมันที่สกัดได้ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

4. การหาปริมาณเยื่อใย (AOAC. Method no.962.09, 1995)

4.1 ชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมัน และไล่ความชื้นออกแล้ว 2 กรัม (W_2) ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร

4.2 เติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1.25 % จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วหยด Antifoam หรือ Glass beads 3 เม็ด วางบีกเกอร์ลงบน Digestion apparatus แล้ววาง Condenser ทรงกลมบนปากบีกเกอร์

4.3 เปิด Cooling water ให้ไหลผ่าน แล้วต้มให้เดือด 30 นาที

4.4 คนสารละลายในบีกเกอร์เพื่อไม่ให้มีของแข็งติดอยู่ข้างบีกเกอร์ แล้วนำมากรองด้วยชุดกรอง

4.5 ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำต้ม 50 – 75 มิลลิลิตร โดยให้ผ่าน Bushner funnel

4.6 ล้างซ้ำอีกครั้งโดยใช้น้ำ 50 มิลลิลิตร เพื่อล้างกรดออกให้หมด แล้วทดสอบความเป็นกรดด้วยกระดาษลิตมัส

4.7 เทกากใส่ลงในบีกเกอร์เดิม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.25 % จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วต้ม 30 นาที

4.8 นำมากรอง แล้วล้างด้วยกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1.25 % จำนวน 25 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร และตามด้วยแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร

4.9 นำกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (อบที่อุณหภูมิ 130 °ซ จนน้ำหนักคงที่, W_b) และกากที่เหลือใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (อบที่อุณหภูมิ 130 °ซ จนน้ำหนักคงที่, W_a) นำไปทำแห้งโดยอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 2 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_c)

4.10 นำไปเผาใน Furnace ที่อุณหภูมิ 600 ± 15 °ซ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งกากเป็นสีเทา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_d)

$$\text{เยื่อใย (ร้อยละ)} = \frac{(W_c - W_b) - (W_d - W_a) \times 100}{W_{s\ (\text{dry basis})}}$$

5. การหาปริมาณเถ้า (AOAC. Method no.32.105, 1995)

5.1 ชั่งตัวอย่าง 3 – 5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

5.2 เผาบน Hot plate จนไม่มีควันดำ

5.3 นำไปเผาต่อใน Furnace ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกว่าจะได้เถ้าสีขาว หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ชั่งน้ำหนัก

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสและอัตราการเกิดเจลลาติไนส์

1. การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส (Juliano. 1971)

1.1 การทำกราฟมาตราฐาน (Standard curve)

1.1.1 ชั่ง Pure potato amylose 0.0400 กรัม ลงใน Volumetric flash ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.1.2 เติมเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 % จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ คนเพื่อล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ข้าง Flash ออก

1.1.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรจำนวน 9 มิลลิลิตร ไม่ต้องคน

1.1.4 นำมาต้มใน Water bath นาน 10 นาที แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง

1.1.5 ปิเปตสารละลายอะไมโลสมาตราฐาน (Standard amylose solution) จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงใน Volumetric flash ขนาด 100 มิลลิลิตร

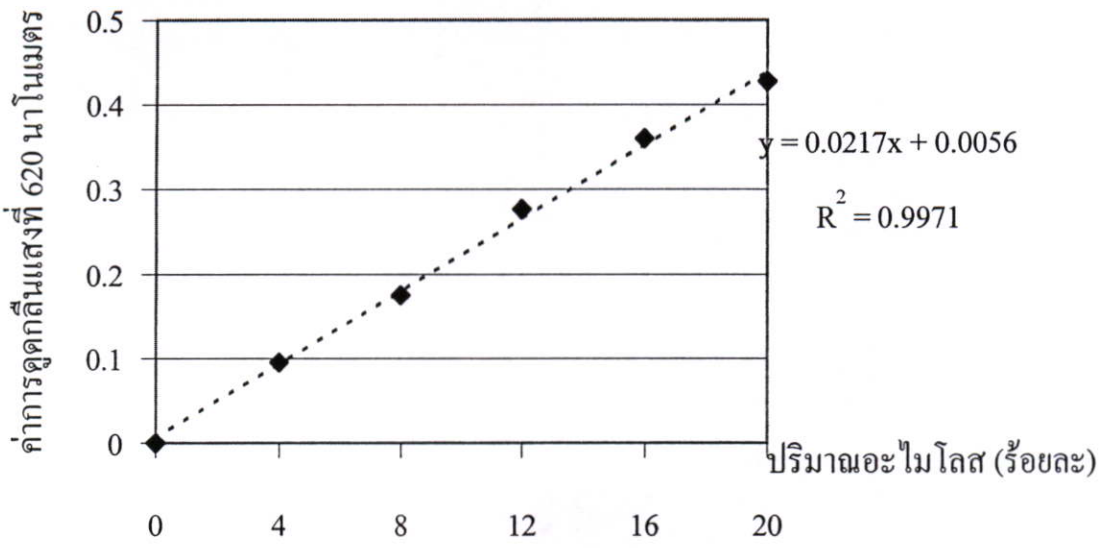
1.1.6 เติมสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในแต่ละ Flash ตามลำดับ

1.1.7 เติมสารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 1 กรัม และโปตัสเซียมไอโอไดด์ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร) จำนวน 2 มิลิลิตร ลงในแต่ละ Flash

1.1.8 ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.1.9 นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (Optical density ; OD) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

1.1.10 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะไมโลสในสารละลายมาตรฐาน



ภาพที่ ข1 กราฟมาตราฐานในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 เตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวโดยนำมาบด แล้วร่อนผ่านตะแกงร่อนขนาด 60 เมส สกัดไขมันออกโดยใช้ Soxlet extractor ด้วยเมทานอลเข้มข้น 85 % จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้วมาระเหยเมทานอลออก แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

1.2.2 ชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้ว 0.1000 กรัม ลงใน Volumetric flash ขนาด 100 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกับการทำกราฟมาตรฐานในข้อ 2 - 4

1.2.3 ปิเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Volumetric flash ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร

1.2.4 สารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร

1.2.5 เติมสารละลายไอโอดีน 2 ml.แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.2.6 นำไปวัดนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และคำนวณกลับเพื่อหาร้อยละของปริมาณอะไมโลส ในตัวอย่างโดยเทียบกับกราฟมาตราฐาน

2. การวิเคราะห์หาอัตราการเกิดเจลลาติไนส์ (Birch and Priestley. 1973)

2.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำกราฟมาตราฐาน

2.1.1 เตรียมตัวอย่างข้าวที่ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ 0 % โดยการบดข้าว แล้ว ร่อนผ่านตระแกรงขนาด 200 เมส

2.1.2 เตรียมตัวอย่างข้าวที่ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ 100 % โดยการนำตัวอย่างข้าวมาเติมน้ำในอัตราส่วนข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน ทำให้สุกโดยใช้หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างข้าวสุกไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 58 °ซ บดตัวอย่างข้าว ร่อนผ่านตระแกรงขนาด 200 เมส

2.1.3 เตรียมตัวอย่างข้าวที่ระดับการเกิดเจลลาติไนส์ต่างๆ โดยการนำแป้งข้าวในข้อ 1และข้อ 2 มาผสมกันตามอัตราการเกิดเจลลาติไนส์ดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 %

2.2 การทำกราฟมาตราฐาน (Standard curve)

2.2.1 ชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่น 98 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 โมลต่อลิตร จำนวน 2 มิลลิลิตร คนเบาๆ 5 นาที

2.2.2 นำไปเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ปิเปตแยกส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

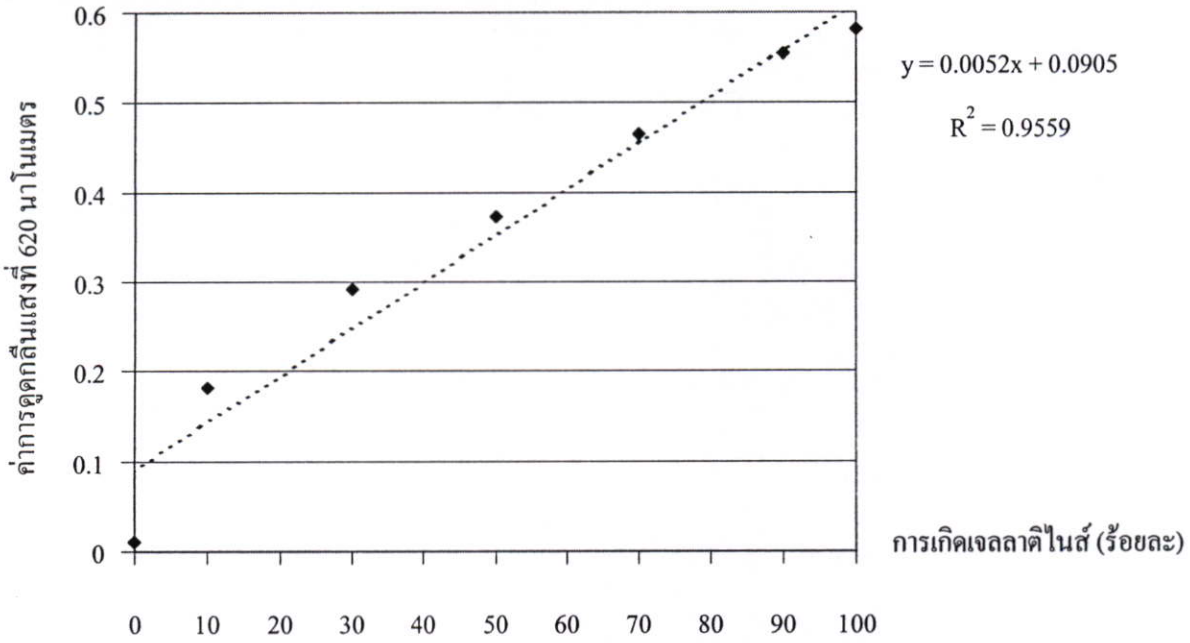
2.2.3 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร จำนวน 0.4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 10 มิลลิลิตร

2.2.4 เติมสารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 1 กรัม และโปตัสเซียมไอโอไดด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร) จำนวน 0.1 มิลิลิตร เขย่าเบาๆ

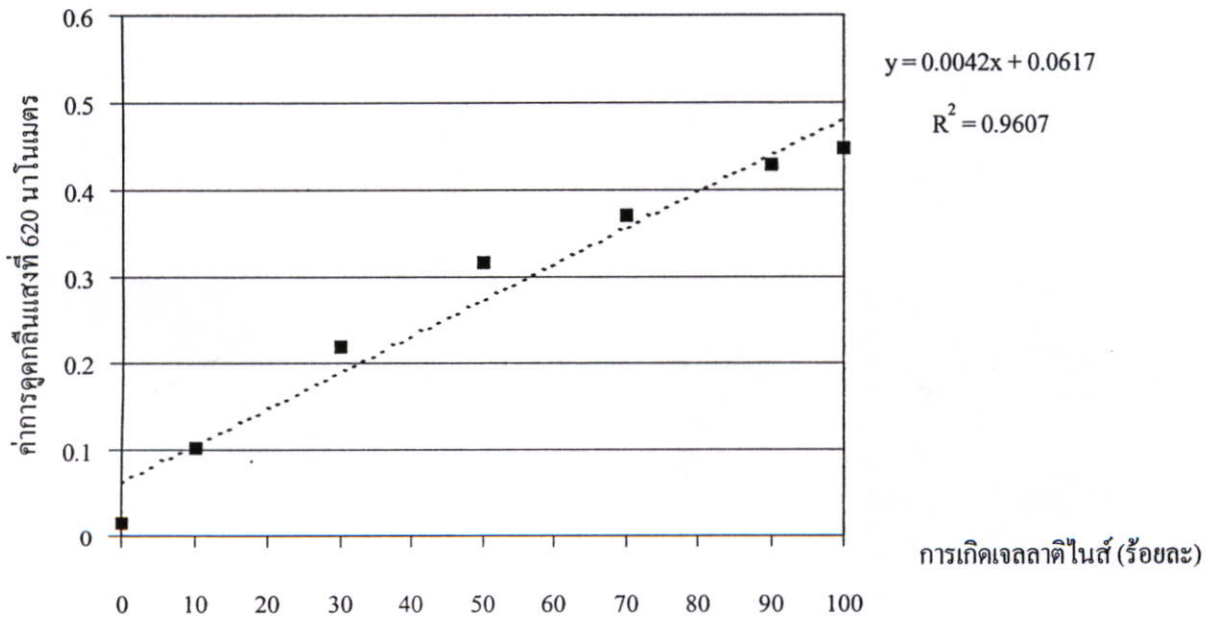
2.2.5 นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับระดับการเกิดเจลลาติไนส์ในสารละลายมาตรฐาน

2.3 วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างข้าวมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 58 °ซ บดตัวอย่างข้าวร่อนผ่านตระแกรงขนาด 200 เมส จากนั้นทำตามวิธีการทำกราฟมาตราฐานในข้อ 1 – 4 นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เพื่อหาร้อยละของอัตราการเกิดเจลลาติไนส์เทียบกับกราฟมาตราฐาน



ภาพที่ ข2 กราฟมาตราฐานระหว่างอัตราการเกิดเจลลาติไนส์กับค่าการดูดกลืนแสงของข้าวขาวดอกมะลิ 105



ภาพที่ ข3 กราฟมาตราฐานระหว่างอัตราการเกิดเจลลาติไนส์กับค่าการดูดกลืนแสงของข้าวขาวตาแห้ง

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบคุณภาพข้าว

1. การหาระยะเวลาในการคืนรูปข้าว (ดัดแปลงจากวิธีของ Azeez and Shafi. 1966)

8.1 คืนรูปข้าว 100 กรัม ตามวิธีการที่กำหนด โดยใช้เตาไมโครเวฟ และการเติมน้ำต้มเดือด

8.2 ใช้ตระแกรงตักข้าวขึ้นจากน้ำเดือด สะเด็ดน้ำ

8.3 วางเมล็ดข้าวบนแผ่นกระจกนาฬิกา ใช้แท่งแก้วกดทับเมล็ดข้าวจำนวน 100 เมล็ด นับจำนวนเมล็ดข้าวสุกที่ไม่มีจุดไตข้าวเหลืออยู่ ทำเช่นนี้ทุกๆ นาทีจนกว่าจะไม่มีจุดไตขาวปรากฏอยู่ร้อยละ 80 แล้วนับระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูป

2. การหาค่า Bulk density (Carlson *et al.* 1976)

นำตัวอย่างข้าวใส่ในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตรที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจนเต็มถึงขีด 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งค่า Bulk density โดยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์หาได้จาก

$$\text{Bulk density (กรัม / มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - (\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times \text{ปริมาณความชื้น} / 100)}{100}$$

3. การวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าว (Cooking and eating quality of grains)

เป็นการทดสอบหน่วยเล็กๆ เพื่อวัดคุณภาพของข้าวสุก (The small - scale cooking tests) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Batcher et *al.*(1956)

3.1 ชั่งตัวอย่างข้าว 8 $\pm$ 0.10 กรัม ใส่ลงใน Cylinder – wire basket

3.2 วัดความสูงของข้าวที่อยู่ใน Cylinder – wire basket ด้วย Caliper

3.3 นำข้าวไปคืนรูปโดยต้มน้ำ 160 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตรจนเดือด นำข้าวที่ใส่ใน Cylinder – wire basket จุ่มลงในบีกเกอร์ ยกลงจากเตาไฟ ปิดด้วยกระจานาฬิกา เป็นเวลา 5 นาที

3.4 รินน้ำออกจากข้าวเป็นเวลา 2 นาที

3.5 วัดความสูงของตัวอย่างข้าวสุกที่อยู่ใน Cylinder – wire basket แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volume expansion) และอัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio)

3.6 ปิเปตตัวอย่างน้ำข้าวที่เหลือจากการหุงต้ม 10 มิลลิลิตร ใส่ในอะลูมิเนียมแคนที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (อบที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3 $^{\circ}$ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่อจนกว่าได้น้ำหนักคงที่)

3.7 นำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 °ซ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W) เพื่อคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (Total soluble solid, %)

$$\text{ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volume expansion)} = \frac{\text{ความสูงของข้าวสุก (มิลลิเมตร)}}{\text{ความสูงของข้าวสาร (มิลลิเมตร)}}$$

$$\text{อัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวสุก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของข้าวสาร (กรัม)}}$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (Total soluble solid, \%)} = (W \times 160 / 10) \times 100 / 8$$

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ง1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	1932.689	241.586	153.751	.000
Temperature	2	489.619	244.809	155.802	.000
Time	2	1431.743	715.871	455.597	.000
Temperature * Time	4	11.327	2.832	1.802	.213
Error	9	14.142	1.571		
Total	17	1946.830			

ตารางที่ ง2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	836.690	104.586	189.854	.000
Temperature	2	225.379	112.689	204.563	.000
Time	2	606.531	303.265	550.513	.000
Temperature * Time	4	4.781	1.195	2.170	.154
Error	9	4.958	.551		
Total	17	841.648			

ตารางที่ ง3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	1597.520	199.690	158.827	.000
Temperature	2	417.967	208.983	166.218	.000
Time	2	1178.029	589.014	468.482	.000
Temperature * Time	4	1.525	.381	.303	.869
Error	9	11.316	1.257		
Total	17	1608.836			

ตารางที่ ง4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์โดยผ่านอุโมงค์ไอน้ำ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	1525.872	190.734	136.439	.000
Temperature	2	178.143	89.072	63.716	.000
Time	2	1346.943	673.471	451.758	.000
Temperature * Time	4	.786	.196	.141	.963
Error	9	12.582	1.398		
Total	17	1538.453			

ตารางที่ ง5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	136.840	17.105	6.219	.006
Freeze	2	23.194	11.597	4.216	.051
Microwave	2	101.616	50.808	18.472	.001
Freeze * Microwave	4	12.030	3.008	1.093	.416
Error	9	24.755	2.751		
Total	17	161.595			

ตารางที่ ง6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	31.293	3.912	7.934	.003
Freeze	2	4.040	2.020	4.098	.054
Microwave	2	24.954	12.477	25.308	.000
Freeze * Microwave	4	2.298	.575	1.165	.388
Error	9	4.437	.493		
Total	17	35.730			

ตารางที่ ง7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	1603.812	200.477	8.667	.002
Freeze	2	419.611	209.806	9.070	.007
Microwave	2	1109.398	554.699	23.981	.000
Freeze * Microwave	4	74.803	18.701	.808	.550
Error	9	208.178	23.131		
Total	17	207.259			

ตารางที่ ง8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการเกิดเจลลาติไนส์ของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	163.729	20.466	4.176	.024
Freeze	2	12.880	6.440	1.314	.316
Microwave	2	147.018	73.509	14.999	.001
Freeze * Microwave	4	3.832	.958	.195	.195
Error	9	44.107	4.901		
Total	17	207.836			

ตารางที่ ง9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	36.713	4.589	6.472	.006
Freeze	2	1.670	.835	1.177	.351
Microwave	2	33.981	16.990	23.960	.000
Freeze * Microwave	4	1.063	.266	.375	.821
Error	9	6.382	.709		
Total	17	43.095			

ตารางที่ ง10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของอุณหภูมิที่ผิวหน้าของข้าวขาวตาแห้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งร่วมกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Treatment	8	825.211	103.151	6.308	.006
Freeze	2	25.069	12.534	.766	.493
Microwave	2	696.491	348.246	21.295	.000
Freeze * Microwave	4	103.651	25.913	1.585	.313
Error	9	147.181	16.353		
Total	17	972.391			

ภาคผนวก จ

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ ..... เพศ ..... อายุ .....

วันที่ .....

ผลิตภัณฑ์ ข้าวหุงสุกเร็ว

คุณเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วหรือข้าวกึ่งสำเร็จรูปมาก่อนหรือไม่.....

กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยในระหว่างการเปลี่ยนตัวอย่างควรดื่มน้ำเพื่อล้างปากก่อนชิมตัวอย่างถัดไป แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบจาก 1-9 ดังนี้

1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

2 คือ ไม่ชอบมาก

3 คือ ไม่ชอบปานกลาง

4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย

5 คือ เฉยๆ

6 คือ ชอบเล็กน้อย

7 คือชอบปานกลาง

8 คือชอบมาก

9 คือชอบมากที่สุด

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ตัวอย่าง					
1) สี						
2) ความสมบูรณ์ของเมล็ด						
3) การเกาะตัวกันของเมล็ด						
4) กลิ่น						
5) รสชาติ						
6) เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความนุ่ม เหนียว						
7) การยอมรับโดยรวม						

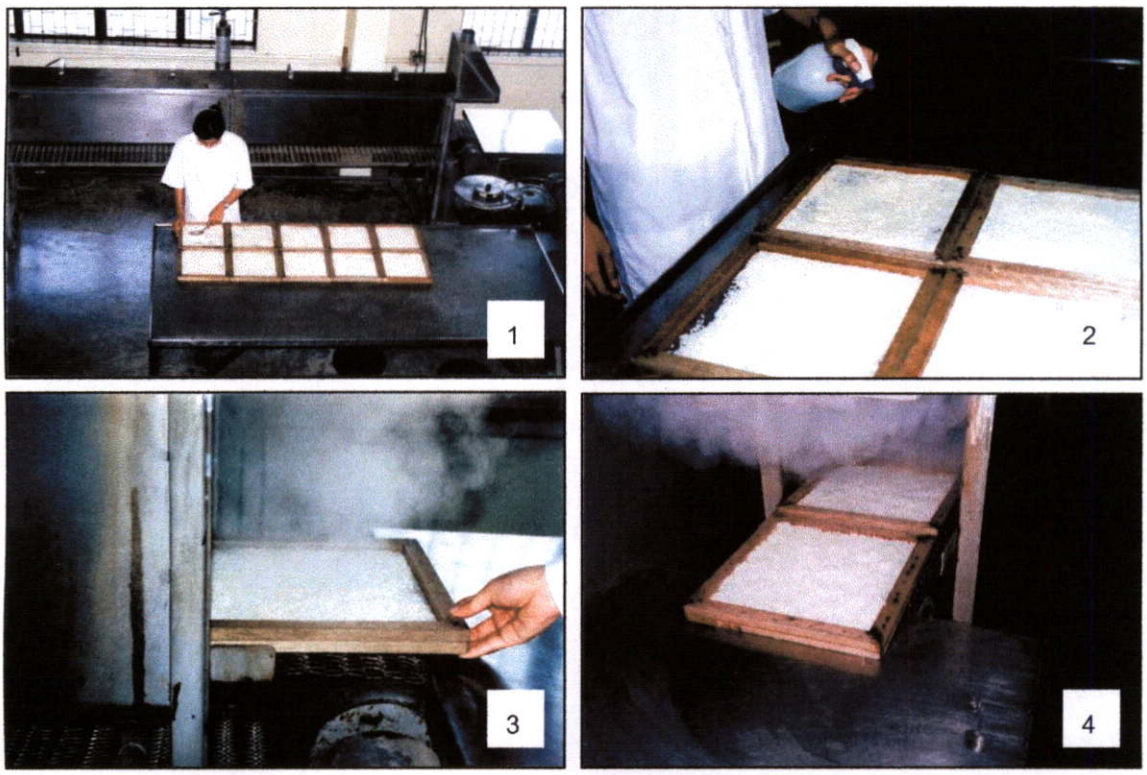
ข้อเสนอแนะ : .....

.....

.....

ภาคผนวก ฉ

ภาพจากการทดลอง



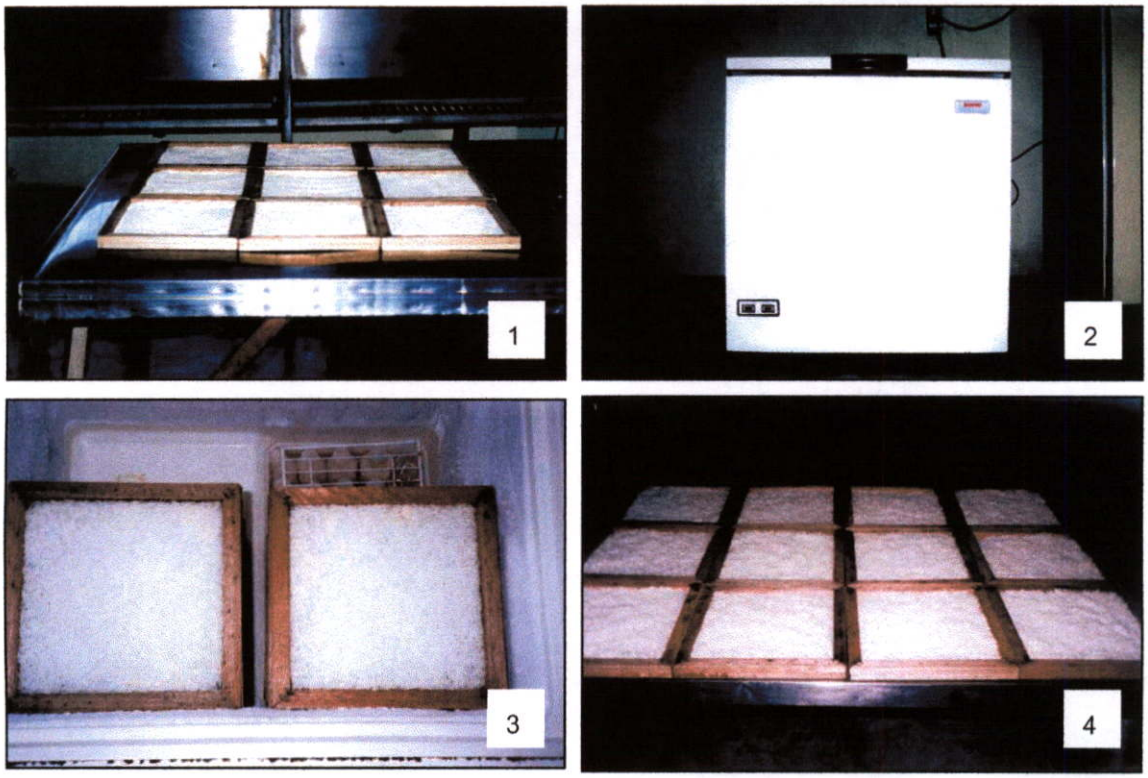
ภาพที่ ฉ1 ขั้นตอนการทำให้ข้าวสุกด้วยอุโมงค์ไอน้ำ

1 คือ การเตรียมข้าวก่อนเข้าอุโมงค์ไอน้ำ

2 คือ การฉีดพรมน้ำก่อนเข้าอุโมงค์ไอน้ำ

3 คือ การนำข้าวเข้าอุโมงค์ไอน้ำ

4 คือ ข้าวที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำ



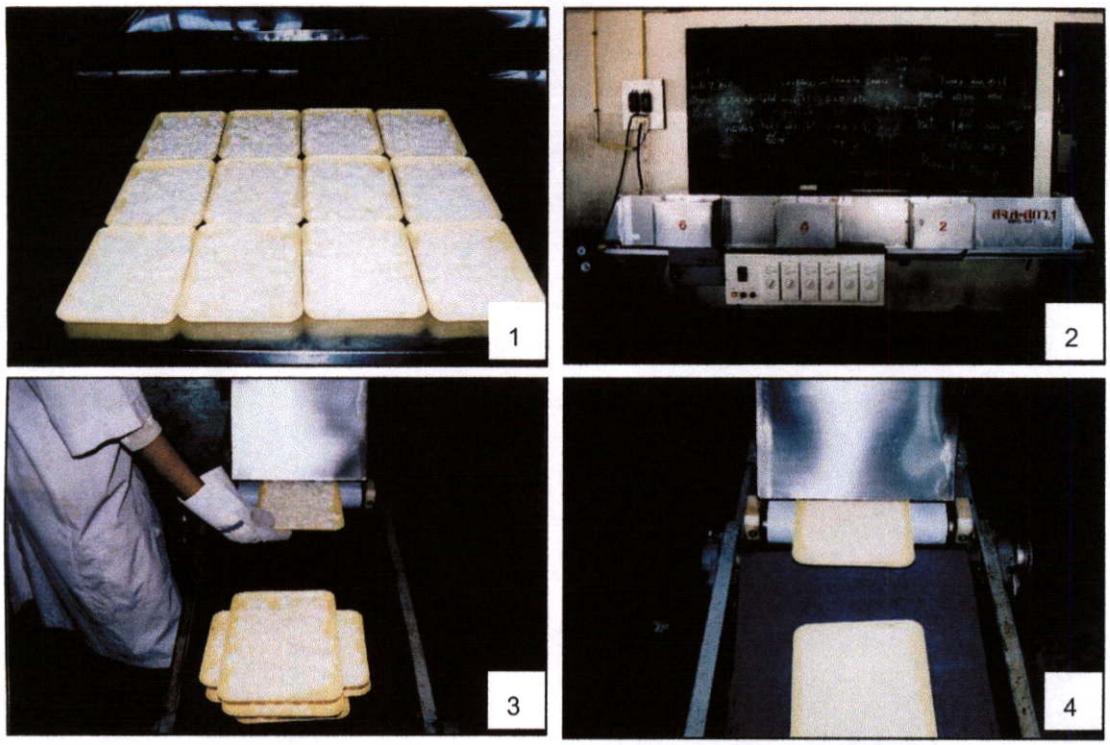
ภาพที่ ฉ2 ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งข้าว

1 คือ ข้าวสุกที่เตรียมเพื่อเข้าแช่เยือกแข็ง

2 คือ ตู้แช่เยือกแข็ง

3 คือ ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งข้าว

4 คือ ข้าวแช่เยือกแข็งแล้ว นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง



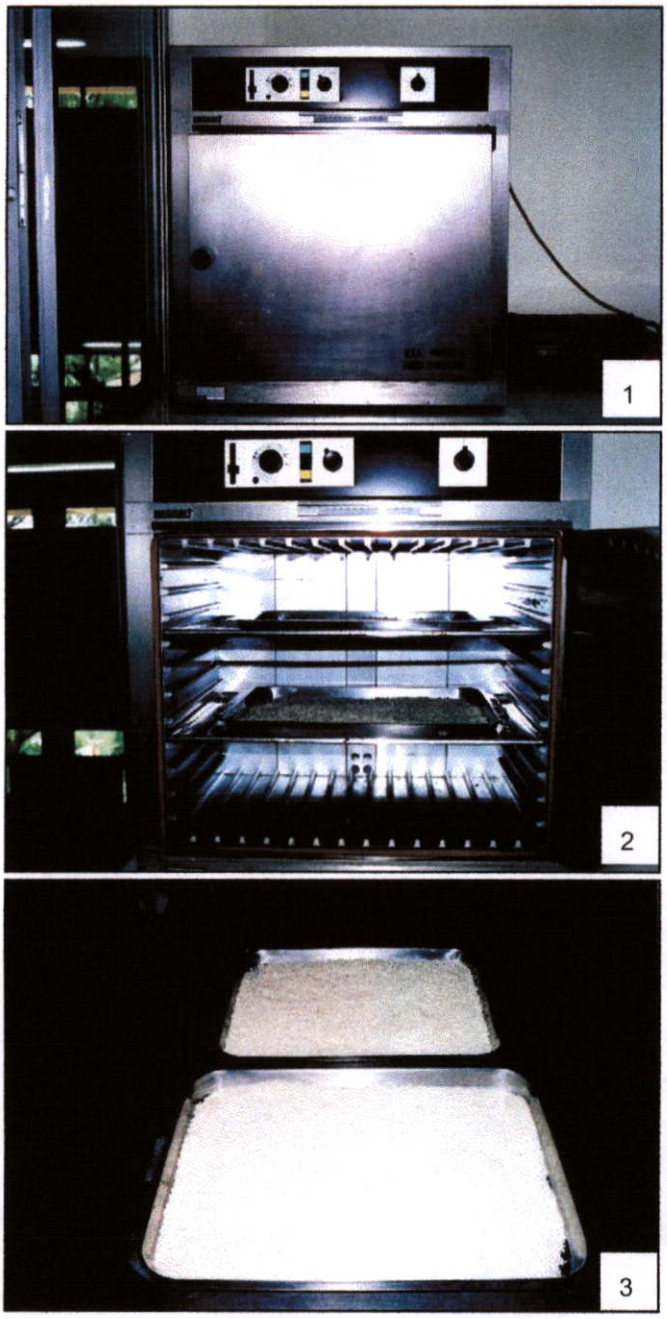
ภาพที่ ฉ3 ขั้นตอนการทำแห้งข้าวด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

1 คือ ข้าวที่ละลายน้ำแข็งแล้ว เกลี่ยใส่ถาด

2 คือ อุโมงค์ไมโครเวฟ

3 คือ การนำข้าวเข้าอุโมงค์ไมโครเวฟ

4 คือ ข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

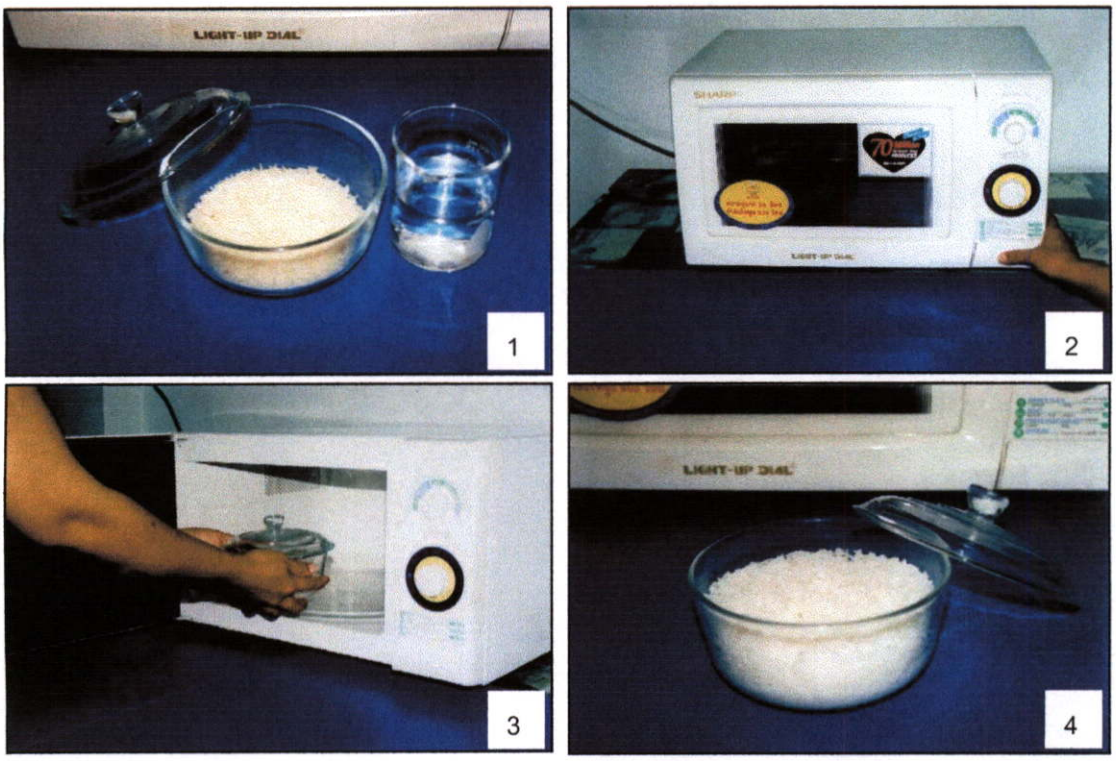


ภาพที่ ฉ4 ขั้นตอนการทำแห้งครั้งสุดท้ายด้วยตู้อบลมร้อน

1 คือ ตู้อบลมร้อน

2 คือ การนำข้าวเข้าตู้อบลมร้อน

3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้



ภาพที่ ฉ5 ขั้นตอนการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

1 คือ การเตรียมข้าวหุงสุกเร็ว และน้ำ

2 คือ เตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

3 คือ การนำข้าวเข้าเตาไมโครเวฟ

4 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ

ภาพที่ ฉ6 ขั้นตอนการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยการเติมน้ำต้มเดือด

1 คือ ต้มน้ำให้เดือด

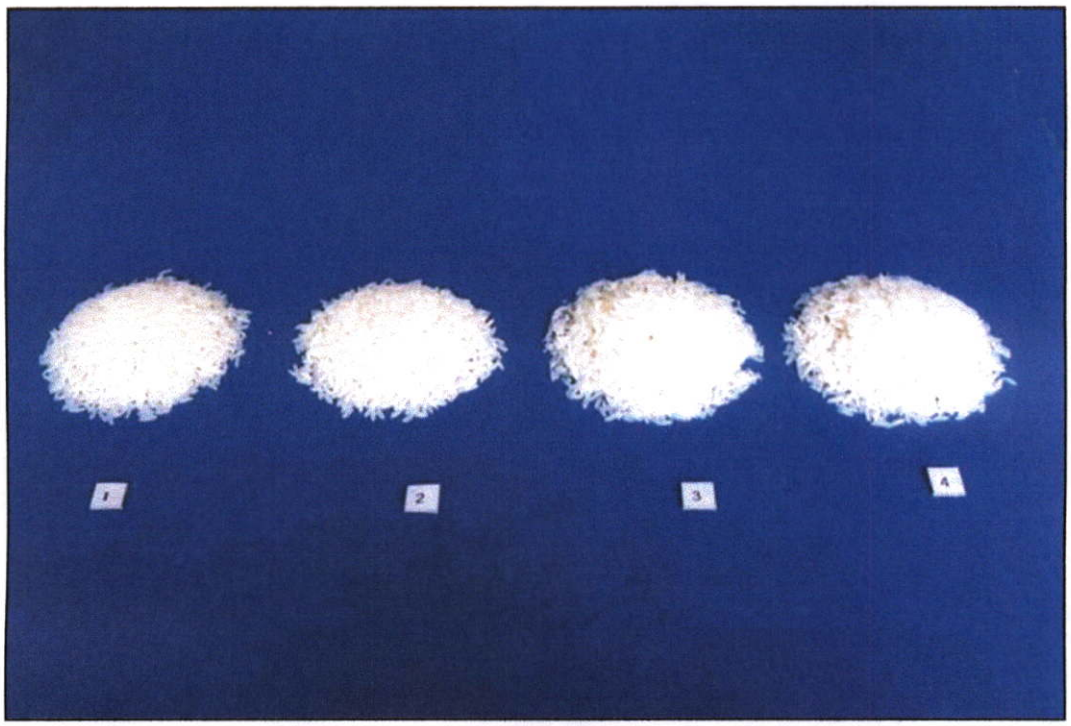
2 คือ เทข้าวลงในภาชนะ

3 คือ ดับไฟ แล้วปิดฝาภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนด

4 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด

ภาคผนวก ช

ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากการทดลอง



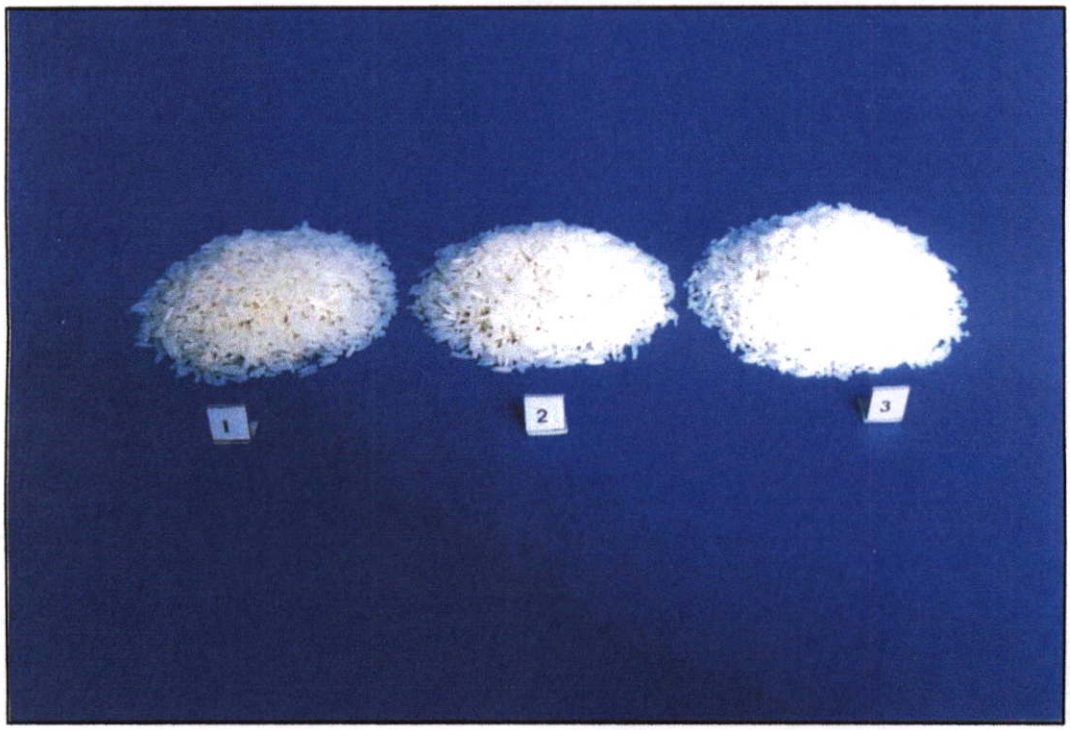
ภาพที่ ช1 ตัวอย่างข้าวสารเปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากการทดลอง

1 คือ ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 กรัม

2 คือ ข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง จำนวน 100 กรัม

3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 กรัม

4 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง จำนวน 100 กรัม

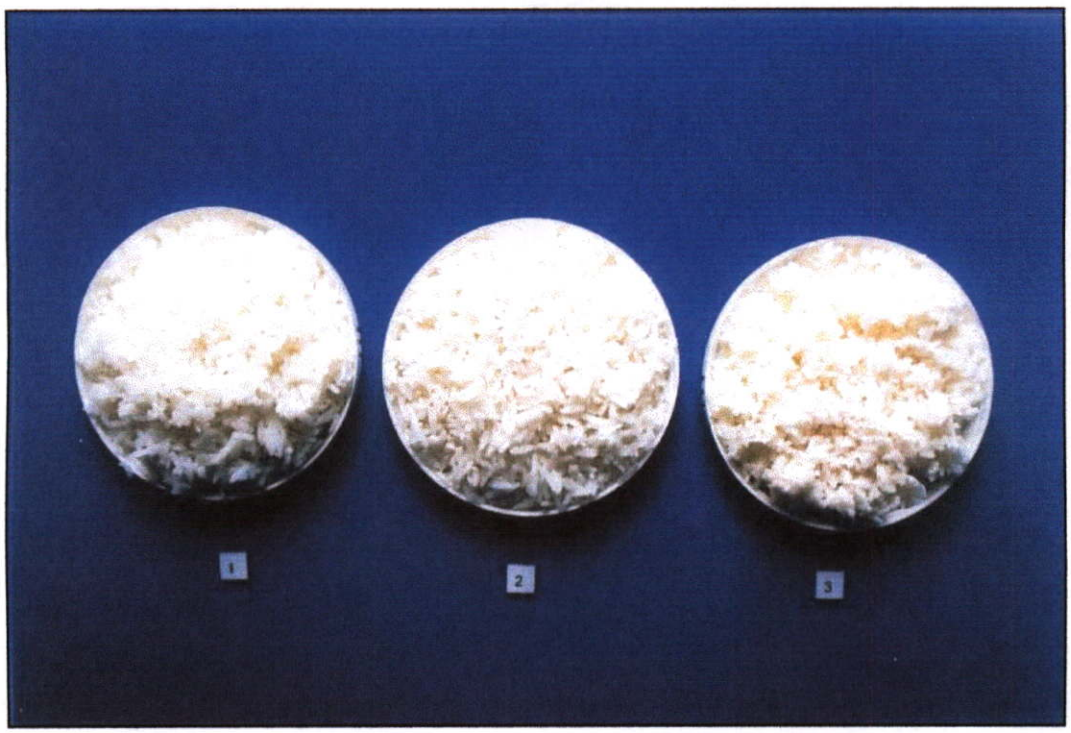


ภาพที่ ช2 ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

1 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 กรัม

2 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง จำนวน 100 กรัม

3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ จำนวน 100 กรัม



ภาพที่ ช3 ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

1 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 กรัม

2 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง จำนวน 100 กรัม

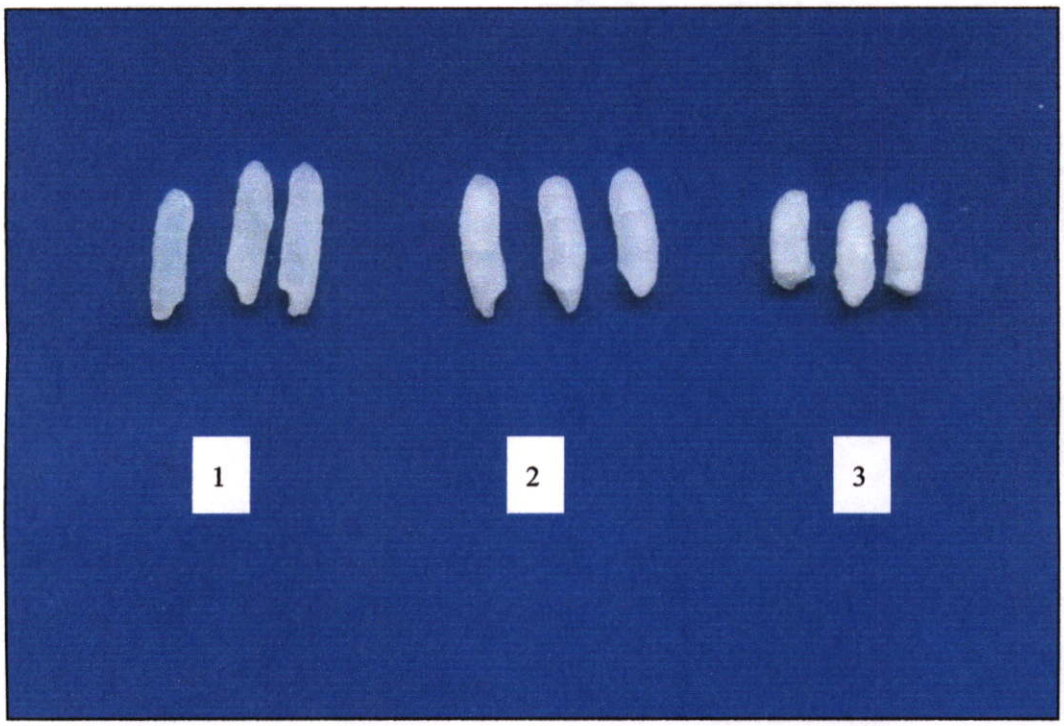
3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ จำนวน 100 กรัม

ภาพที่ ช4 ตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด

1 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 กรัม

2 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง จำนวน 100 กรัม

3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ จำนวน 100 กรัม

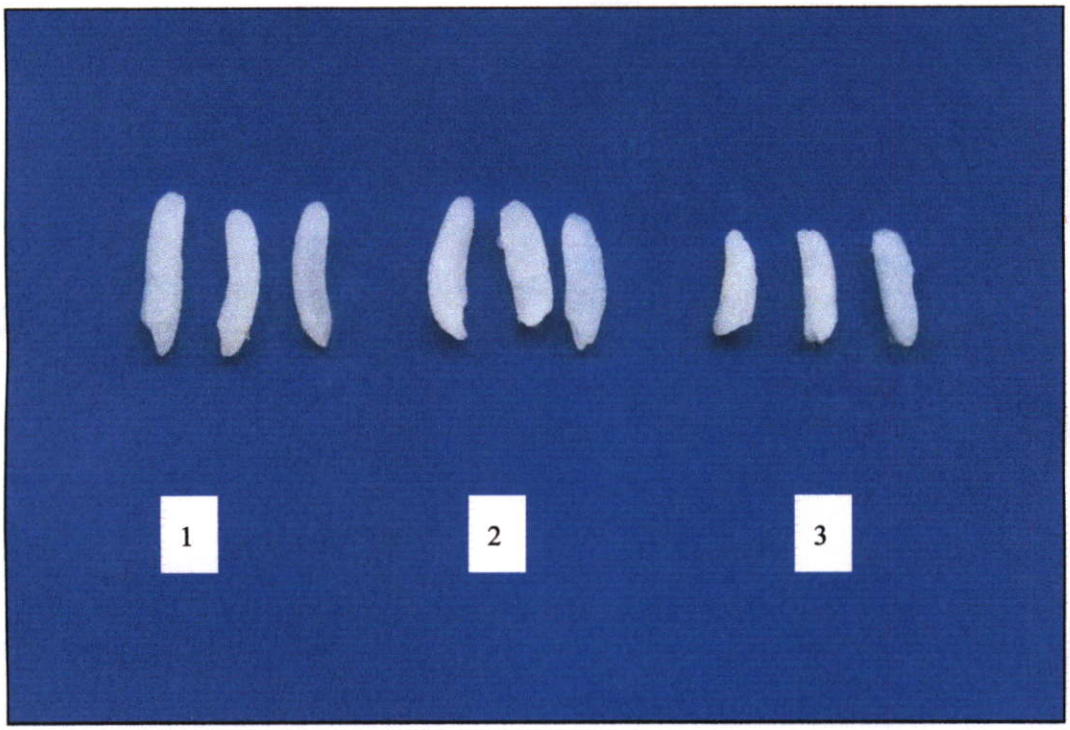


ภาพที่ ช5 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ

1 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105

2 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง

3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ



ภาพที่ ช6 โครงสร้างของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปโดยการเติมน้ำต้มเดือด

1 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105

2 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้ง

3 คือ ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

ภาพที่ ช7 ข้าวหุงสุกเร็วที่มีจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ (Minute rice)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุภาภรณ์ ธัญญะวานิช เกิดวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ปีการศึกษา 2542 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ในปี พ.ศ. 2542 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2545