

รายงาน

โครงการ: ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป *
(Quick Cooking Brown Rice)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา หัวหน้าโครงการ
นางสาว นาฏยา นาคี ผู้ช่วยวิจัย

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ

พ.ศ. 2541

ภายใต้การสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The
Thailand Research Fund) สัญญาเลขที่ PG2/017/2533

รายงาน

โครงการ: ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป *
(Quick Cooking Brown Rice)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา หัวหน้าโครงการ
นางสาว นาฏยา บาลี ผู้ช่วยวิจัย

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ

พ.ศ.2541

* ภายใต้การสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(The
Thailand Research Fund) สัญญาเลขที่ PG2/017/2539

รายงาน

โครงการ: ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป *
(Quick Cooking Brown Rice)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา หัวหน้าโครงการ
นางสาว นามญา บาลี ผู้ช่วยวิจัย

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ

พ.ศ.2541

* ภายใต้การสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(The Thailand Research Fund)
สัญญาเลขที่ PG2/017/2539

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย “ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป(Quick Cooking Brown Rice)” นี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยการสนับสนุนเงินทุนวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The Thailand Research Fund, TRF) โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากงานประสานงาน ชุดโครงการข้าว พืชไร่สำคัญ และพืชอุตสาหกรรม และ ที่สำคัญที่สุดคือจากผู้ประสานงาน(นายอำนาจ คอวนิช) ที่ได้ช่วยเหลือประสานงานในการแก้ไขปัญหาต่างๆของโครงการจนโครงการสามารถดำเนินการได้ กระผมและคณะวิจัย ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ กระผม และคณะวิจัย ต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต้นสังกัดคือ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุญาต และได้ ให้ความอนุเคราะห์ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือ รวมทั้งสถานที่วิจัย กับ กระผม และคณะวิจัย ด้วยเช่นกัน

รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา และคณะวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
คำนำ	1
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	7
สถานที่ทำการทดลอง	7
วัตถุดิบ	8
วิธีการทดลอง	8
ผลการทดลองและวิจารณ์	13
สรุปผลการทดลอง	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	37
ภาคผนวกที่ 1	38
ภาคผนวกที่ 2	39
ภาคผนวกที่ 3	40
ภาคผนวกที่ 4	41
ภาคผนวกที่ 5	42
ภาคผนวกที่ 6	43
ภาคผนวกที่ 7	44

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
คำนำ	1
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	7
สถานที่ทำการทดลอง	7
วัตถุดิบ	8
วิธีการทดลอง	8
ผลการทดลองและวิจารณ์	13
สรุปผลการทดลอง	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	37
ภาคผนวกที่ 1	38
ภาคผนวกที่ 2	39
ภาคผนวกที่ 3	40
ภาคผนวกที่ 4	41
ภาคผนวกที่ 5	42
ภาคผนวกที่ 6	43
ภาคผนวกที่ 7	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สารอาหารของข้าวกล้องเปรียบเทียบกับสารอาหารในข้าวขาว	2
2 ปริมาณกรดไขมันที่พบในข้าวกล้องและข้าวขาว	3
3 ปริมาณวิตามินที่มีอยู่ในข้าวกล้อง	3
4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง	13
5 ปริมาณอะไมโลส กรดไขมันอิสระ และลักษณะของเม็ดแป้งของข้าวกล้อง	14
6 คุณภาพในการหุงต้มของข้าวกล้อง	15
7 ระดับการเจลาติไนส์(DG)และปริมาณความชื้น(MC)ของข้าวกล้องภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ	17
8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์(r)ระหว่างอุณหภูมิในอุโมงค์ไอน้ำ(X_1)และระยะเวลาในการผ่านข้าวกล้องเข้าไปในอุโมงค์(X_2) กับ DG และ MC	17
9 ระดับการเจลาติไนส์(DG)และความชื้น(MC)ของข้าวกล้องภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำ และอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz	18
10 ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องภายหลังจากการทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อน(วิธีที่ 1)	19
11 ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องภายหลังจากการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่ 2) และด้วยอุโมงค์ลมร้อนร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่ 3)	20
12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r)ในการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่ 2) และการทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อนร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่ 3) ระหว่างปัจจัยในการทำแห้งกับปริมาณความชื้น และอุณหภูมิของข้าวกล้องที่ผ่านการทำแห้ง	21
13 ปริมาณของความชื้นข้าวกล้องภายหลังจากการรมไธแอลกอฮอล์และปริมาณ FFA ภายหลังจากการรมไธแอลกอฮอล์ 50% และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 5 วัน	24

(ต่อ)

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
14 ระดับการเกิดเจลาติโนส(DG)ของข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆ ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	26
15 ปริมาณความชื้น(MC)ของข้าวกล้องภายหลังจากที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆ ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	27
16 อุณหภูมิที่ผิวหน้า(T)ของข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆในกระบวนการ การผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	28
17 ระยะเวลาในการคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟ ระดับครัวเรือน	30
18 ระยะเวลาในการคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยน้ำร้อน	30
19 การยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภคทดสอบด้วยการชิมแล้วให้คะแนน	32
20 ปริมาณและกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป(การทดลองที่ 2) ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง	33
21 การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังจากการเก็บรักษา 6 เดือนที่ อุณหภูมิห้อง	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 เม็ดแป้งของข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ(1)และข้าวตาแห้ง(2)ที่กำลังขยาย 3000เท่า	14
2 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป	22

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการ การทำความสะอาด การทำให้เม็ดแบ่งในเมล็ดข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ด้วยไอน้ำในอุณหภูมิไอน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ในอุณหภูมิไมโครเวฟ การยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยการรวมด้วยไฮแอลกอฮอล์ การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ในอุณหภูมิไมโครเวฟ และการบรรจุ ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 เดือนโดยที่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับภายหลังจากนำมาคืนรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ หรือน้ำร้อนภายในระยะเวลา 10 นาที โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ มากกว่าข้าวกล้องขาวตาแห้ง ทั้งในเรื่องของ กลิ่น ความนุ่ม และการยอมรับโดยรวม ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการทำความสะอาด แล้วทำให้เกิดระดับการเจลาติไนส์ (Degree of gelatinization, DG) ประมาณ 80% รวมด้วยไฮแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 นาที และ ผ่านการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟในอุณหภูมิไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 18 นาที โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% มีระดับการเจลาติไนส์ประมาณ 90% สามารถคืนรูปได้ด้วยคลื่นไมโครเวฟด้วยเตาไมโครเวฟในระดับครัวเรือน หรือน้ำร้อนภายใน 8 และ 10 นาทีตามลำดับ

Abstract

Quick cooking brown rice was able to be produced by using the processing that composed of the cleaning unit, the gelatinization unit with steam in steam tunnel together with microwave at frequency 2450 MHz in microwave tunnel, the inhibition of lipid hydrolysis unit with alcohol vapour, the drying unit with microwave at frequency 2450 MHz in microwave tunnel and the packing unit. The products could be storage at room temperature at least 6 months and could be recondition with microwave in microwave oven or with hot water about 10 min. Regarding with the sensory evaluations of the product, the tester liked to consume the product from Jasmine brown rice more than Kaotahang brown rice because of its aroma, tenderness and overall palatability characteristics. Quick cooking brown rice from Jasmine brown rice that had the highest acceptable scores from consumers, was produced by cleaning, gelatinization with 80% degree of gelatinization(DG), alcohol vapourization at 80°C for 10 min, drying with microwave in microwave tunnel for 18 min, and packing. This product had about 5% moisture content and about 90% DG, and could be reconstitutioned to consume within 8 min by using microwave oven or 10 min by using hot water.

คำนำ

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศที่เป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลก(Juliano, 1990) คุณภาพของข้าวไทยจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวจากประเทศอื่นที่มีจำหน่ายในตลาดทั้งใน และนอกประเทศ ในรูปของข้าวขาว(White rice) เช่น ข้าวหอมมะลิ (Jasmine rice) เป็นต้น ข้าวเหนียว(Glutinous rice) ข้าวบัสมาตี(Thai Basmati rice) และข้าวกล้อง(Brown rice) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวเพื่อการส่งออกในรูปของเมล็ด (grain) ก็ยังคงประสบปัญหาในเรื่องของการแข่งขันที่รุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (ศูนย์พาณิชยกรรมไทย ประจำแอตแลนต้า สหรัฐฯ, 2534 และ นิรนาม, 2535) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในกลุ่มอินโดจีน เช่น เวียดนาม เป็นต้น ที่เริ่มส่งออกข้าวแข่งขันกับประเทศไทย โดยขายข้าวในราคาที่ต่ำกว่า

แนวทางการแก้ไขปัญหา คือ การเพิ่มมูลค่า และพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบเพื่อขยายตลาดทั้งใน และนอกประเทศ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวในรูปเต็มเมล็ดที่ควรที่จะได้รับการพัฒนา คือ ข้าวกล้อง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว (วุฒิชัย, 2535) เป็นอาหารหลักที่สามารถจัดได้ว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ(Health Food)ที่ดี เนื่องจากยังคงมีเยื่อใย หรือ ใยอาหาร วิตามินบี วิตามินอี และไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty acid) ถึงแม้ว่าข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการหุงสุกที่นานกว่าข้าวขาว รวมทั้งการเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาพอุณหภูมิห้องจะประสบปัญหาในเรื่องการเหม็นหืน เนื่องจากไขมันที่มีอยู่ในข้าวกล้อง ดังนั้นในการพัฒนาข้าวกล้องถึงสำเร็จรูป จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในระยะยาว

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวกล้องนั้นสามารถจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีความสำคัญ และยอมรับจากผู้บริโภคทั้งใน และนอกประเทศ เพิ่มมากขึ้นโดยลำดับ(เทอดศักดิ์, 2536; Juliano, 1990) ทั้งนี้เนื่องจากสารอาหารที่ยังคงมีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้อง(ตารางที่ 1, 2 และ 3)

ในการบริโภคข้าวโดยทั่วไปผู้บริโภคข้าวนิยมบริโภคข้าวขาวเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีสีขาว และมีกลิ่นหอม แต่ถ้าหันกลับมามองคุณค่าทางโภชนาการที่สูงสูญเสียไป เนื่องจากการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวขาว ดังกล่าวแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าเป็นสิ่งที่น่าเสียดายเป็นอย่างมากอย่างไรก็ตามก็มีผู้บริโภคอยู่กลุ่มหนึ่งที่มองเห็นคุณค่าทางโภชนาการที่เขาควรจะได้รับในการบริโภคข้าวแต่ละมื้อ และหันมาบริโภคข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้น สำหรับงานวิจัยหรืองานทดลองผลิต เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวในรูปข้าวกล้องถึงสำเร็จรูปโดยตรงในประเทศไทยนั้นยังไม่ปรากฏ แต่มีเพียงงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปของข้าวขาวถึงสำเร็จรูป หรือข้าวขาวหุงสุกเร็วเท่านั้น ยังสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องถึงสำเร็จรูปได้ดังนี้

Atallah และ Durani (1948) ได้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวขาวถึงสำเร็จรูปโดยใช้ข้าวขาวเป็นวัตถุดิบ หลักการในการผลิตสามารถสรุปได้ดังนี้คือ การทำให้เม็ดสตาร์ช (Starch granules) ในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนส์ (Gelatinization) ด้วยการต้มเพื่อเพิ่มความชื้นในเมล็ดข้าวจนถึง 65-70% ซึ่งไม่เกินระดับที่จะทำให้ลายโครงสร้างของเมล็ด จากนั้นจึงทำแห้ง

Bhattacharya และ Sowbhagya (1971) ศึกษาการดูดซึม (Water Uptake) ของข้าวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (LW ratio) ต่างกัน โดยการต้มข้าวที่อุณหภูมิ 96°C จากนั้นทำให้เย็น และทิ้งให้สะเด็ดน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการดูดซึมน้ำปรากฏว่า ข้าวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างสูงจะมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า ข้าวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างต่ำ นอกจากนี้ Bhattacharya et al. (1972) ยังได้ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ (Physicochemical properties) ของข้าวเพิ่มเติมอีก พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงกว่า และเกิดการเจลาติไนส์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง

Prabhakara Bhat et al. (1973) ได้ศึกษาสภาวะที่จะสามารถลดระยะเวลาในการคืนรูป (Reconstitution) ข้าวถึงสำเร็จรูป ที่ได้จากกระบวนการให้ความร้อนที่ 90°C นาน 2.5-30 นาที แล้วนำมาแช่น้ำ ต่อจากนั้นจึงทำให้ลูกบางส่วนในหม้อหนึ่งความดันไอที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 5 นาที จากนั้นจึงนำไปทำแห้งจนเหลือปริมาณความชื้น 5% พบว่า การคืนรูปของเมล็ดข้าวจะใช้เวลาประมาณ 4-5 นาที

ตารางที่ 1 สารอาหารของข้าวกล้องเปรียบเทียบกับสารอาหารในข้าวขาว

สารอาหาร	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
โปรตีน (Nx5.95)	8.3-9.6	7.3-8.3
ไขมัน	2.1-3.3	0.4-0.6
เยื่อใย	0.7-1.2	0.3-0.6
เถ้า	1.2-1.8	0.4-0.9
สตาร์ช	77.2	90.2
น้ำตาลอิสระ	0.8-1.5	0.25-0.52

ที่มา: วุฒิชัย 2535.

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันที่พบในข้าวกล้อง และข้าวขาว

กรดไขมัน	ข้าวกล้อง (%)	ข้าวขาว (%)
Lauric	trace	0
Myristic	1.0	0.2-0.5
Palmitic	27.5	16.9-20.5
Palmitoleic	trace	0.1-0.4
Stearic	2.0	1.1-1.8
Oleic	43.0	37.1-10.7
Linoleic	25.1	33.5-40.7
Linolenic	1.0	0.5-1.4
Arachidic	0.2	0.1-0.7

ที่มา: วุฒิชัย 2535.

ตารางที่ 3 ปริมาณวิตามินที่มีอยู่ในข้าวกล้อง และข้าวขาว

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

ที่มา: วุฒิชัย 2535.

Cox และ Cox(1975) ได้พัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ การเพิ่มปริมาณน้ำที่ถูกต้องซึมเข้าไปภายในเมล็ดโดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ(Steam) จนถึงอุณหภูมิ 185°-280°ฟ ที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 2-10 นาที และแช่ข้าวในสารละลายที่ประกอบด้วยฟอสเฟต และไตรโซเดียมฟอสเฟต ความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.001-7% จากนั้นจึงนำไปทำแห้ง

Chakrabarthi และDwarakanath(1980)ทดลองกระบวนการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปด้วยกระบวนการแปรรูปต่างๆ เพื่อที่จะลดระยะเวลาในการคั่วรูป กระบวนการผลิตที่ศึกษามีดังนี้ การนำมาอบที่อุณหภูมิสูง(Roasting)ตามด้วยการหุงสุกบางส่วน (Precooking or Pregelatinization)แล้วจึงทำแห้ง การทำให้แป้งค่อยๆสุก(Step-wise gelatinization) การเติมสารเคมีร่วมกับการค่อยๆทำให้แป้งสุก(Chemical pretreatment and Step-wise gelatinization) และการระเหยน้ำที่อุณหภูมิสูงแบบลมดูด (High temperature pneumatic dehydration) พบว่า วิธีการที่ค่อยๆทำให้แป้งสุกสามารถลดระยะเวลาในการคั่วรูปให้เหลือเพียง 4-5นาที่ ส่วนการเติมสารเคมีในรูปของกลีเซอรอล(Glycerol) และเกลือสเตียเรต(Stearate salt) ร่วมกับสารเคมีอื่นๆไม่ได้ช่วยลดระยะเวลาในการคั่วรูป

ในปี ค.ศ. 1976 McCabe ได้เสนอวิธีการในการทำให้ข้าวกล้องสำเร็จรูป(Quick cooking brown rice) ด้วยวิธีการแช่ข้าว (Soaking) ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2-3 ชม. แล้วนำมาอบแห้ง(Baking) ในตู้อบทรงกระบอกแบบหมุน (Rotary-type cylindrical oven) ที่อุณหภูมิ 300°-350°ฟ เป็นระยะเวลา 40นาที่โดยทำหมุนเวียนกันไป 2รอบผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถต้มสุกโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5 นาที่ซึ่งเร็วกว่าการต้มข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการที่ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มสุกนาน 30-40 นาที่

Welby (1983)ได้เสนอวิธีการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปในรูปของข้าวหุงสุกเร็ว(Quick cooking rice) ด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง(Continuous process) โดยนำข้าวขาวมาทำให้เกิดการเจลาติไนส์ด้วยการนำร้อน และฉีดพ่นไอน้ำสลับกับลงบนเมล็ดข้าวบนสายพาน เพื่อให้เมล็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนส์สมบูรณ์ และมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นประมาณ 70% หลังจากนั้นจึงนำมาทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อนที่ความเร็วลม 90-125 เมตร/นาที่ เพื่อลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้เหลืออยู่ระหว่าง 10-14% ข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ได้สามารถที่จะใช้เวลาประมาณ 5 นาที่ในการคั่วรูปด้วยน้ำร้อน

Smith et al.(1985)ทดลองแช่ข้าวในสารละลาย 1%ของเกลือโซเดียมซิเตรท และเกลือโซเดียมคลอไรด์(50:50) เพื่อให้การดูดซึมน้ำในระหว่างการคั่วรูปดีขึ้นโดยจะใช้ระยะเวลาในการคั่วรูปประมาณ 5-10นาที่ นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่ข้าวในลักษณะนี้จะทำให้ข้าวมีสีข้าวมากขึ้น มีการแตกหักของเมล็ดหลังการทำให้สุกต่ำแต่ทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูปสั้นลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Bhaskar et al.(1989)ที่ได้ทดลองต้มข้าวในสารละลายของเกลือโซเดียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.3% และสารละลายเกลือแคลเซียมซิเตรทความเข้มข้น 0.2% จะทำให้ข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ได้มีสีข้าวมากขึ้น และไม่แตกหักในระหว่างการคั่วรูป

ในปี ค.ศ.1986 Hirokawa และคณะ ได้เสนอวิธีการในการให้ความร้อนแก่ข้าวกล้องด้วยการเป่า(blowing)ลมร้อนอุณหภูมิระหว่าง 90° - 170° °ซ ให้กับข้าวกล้องด้วยอุปกรณ์ให้ลมร้อนแบบฟลูอิดสเปร์เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาทีแล้วทำให้เย็นลงทันทีด้วยการเป่าด้วยลมเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30° ซ เพื่อควบคุมปริมาณความร้อนที่ข้าวกล้องดูดซับเอาไว้ให้เหมาะสม จากการทดลอง พบว่า ปริมาณความร้อนที่ข้าวกล้องควรจะได้รับอย่างน้อย 60-130 กิโลแคลอรีต่อข้าวกล้องหนัก 1 กก. ซึ่งจะทำให้สามารถใช้ระยะเวลาในการหุงข้าวกล้องให้สุกใกล้เคียงกับข้าวที่ผ่านการขัดสี ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มข้าวกล้องได้เช่นกัน โดย Hirokawa และคณะ ได้กล่าวว่า ในการที่ข้าวกล้องสามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มได้ เนื่องจากในระหว่างที่เป่าด้วยลมร้อน บริเวณผิวของเมล็ดข้าวกล้องเกิดรอยแยกหรือปริออก(fissures) ทำให้เอ็นโดสเปิร์มซึ่งเป็นที่เก็บสะสมแป้งสามารถดูดซับน้ำเอาไว้ได้และทำให้แป้งที่อยู่ในเมล็ดข้าวเกิดการสุกได้เร็วขึ้น

Ghosh และ Mukherjee(1988) ได้ศึกษากระบวนการทำให้ข้าวสุกด้วยความร้อนในแบบต่างๆ คือ การต้มเพียงอย่างเดียว การต้ม10 นาทีแล้วนึ่งต่ออีก 5 นาที และการนึ่งเพียงอย่างเดียว10 นาที ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำในเมล็ดภายหลังจากการให้ความร้อนของแต่ละวิธีเพิ่มขึ้นเป็น 73.1%, 60.2% และ 51.8%ตามลำดับ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้ การอบแห้งบนถาด(Tray drying) การทำแห้งด้วยอินฟราเรด(Infrared drying) การทำแห้งแบบลมร้อน (Air diffusion drying) และการทำแห้งภายใต้จุดเยือกแข็ง (Freeze drying) จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้ข้าวสุกบนถาด จะทำให้ได้ข้าวถึงสำเร็จรูปที่มีการพองตัวต่ำ ใช้เวลาในการคั้นรูปนาน 10-15 นาที ทั้งยังทำให้วิตามินบี 1 และ บี 2 เหลืออยู่ต่ำที่สุด ในขณะที่การทำแห้งด้วยอินฟราเรด และลมร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ดีกว่า ข้าวที่ได้สามารถคั้นรูปได้ภายใน 10-12 และ 9-10 นาที ตามลำดับ ทั้งยังคงมีปริมาณวิตามินบี 1 และ บี 2 เหลืออยู่ในปริมาณที่มากกว่า อย่างไรก็ตามการทำแห้งภายใต้จุดเยือกแข็งจะให้ข้าวที่มีการพองตัวสูงที่สุด โดยใช้ระยะเวลาในการคั้นรูปอยู่ในช่วง 7-8 นาที และมีปริมาณวิตามินบี 1 และ บี 2 เหลืออยู่มากที่สุด

Bhaska et al.(1989) ได้ศึกษาผลของเกลือฟอสเฟตและเกลือซิเตรทที่มีต่อการทำให้ข้าวสาร (Milled rice) และข้าวเหนียว (Parboiled rice) จากข้าวสายพันธุ์ Pankaj โดยการนำวัตถุดิบมาต้มในสารละลายที่มีเกลือไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium phosphate) และเกลือแคลเซียมซิเตรท (Calcium citrate) แล้วจึงนำมาทำแห้งในตู้อบแบบcarbinet (Carbinet dryer) ผลการทดลองที่ได้พบว่า ข้าวสารและข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการจะหุงสุกเร็วกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ 3.7 และ 1.2 เท่าตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างโปรตีน และการเพิ่มอัตราการดูดซับน้ำ(Water uptake)

สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาการผลิต และข้าวถึงสำเร็จรูปเช่นกัน โดยภาครัฐบาล และภาคเอกชน ดังนี้ วุฒิชัย(2535)ได้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวถึงสำเร็จรูปขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งผู้บริโภคสามารถลดระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวค้างคืน และประหยัดพลังงานในการทำให้อุ่น กระบวนการผลิตเริ่ม

ด้วยการนำข้าวเหนียวมาต้มในน้ำที่เติมกรดซิตริกลงไป 0.002 กรัมต่อกรัมของข้าวเหนียวเป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำให้เกิดการดูดซึมน้ำ และทำให้เม็ดแป้งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเหนียวเกิดการพองตัว หรือ สุกบางส่วน หลังจากนั้นจึงนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่ 110°C นาน 80 นาที จะได้ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปที่เต็มเมล็ดมีความชื้น 7-8% และเมื่อนำมาคืนรูปโดยการเติมน้ำเดือดในอัตราส่วนข้าวเหนียวต่อน้ำ 1:1 เป็นเวลานาน 10 นาที จะได้ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปที่ยังคงมีความเหนียวและสุกทั่วถึงกันทั้งเมล็ด

นอกจากนี้ วุฒิชัย(2536) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปเสริมไอโอดีน เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาโรคเอด์ที่เกิดจากร่างกายขาดสารไอโอดีน โดยเฉพาะคนไทยในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือในกลุ่มผู้หญิงมีครรภ์และเด็กก่อนวัยเรียน ในการเสริมไอโอดีนจะเสริมอยู่ในรูปของเกลือโปแตสเซียมไอโอเดต(KIO_3) ในปริมาณที่มากพอที่ผู้บริโภคจะได้รับในแต่ละวัน

Sanikomkiat(1995) ได้ศึกษาวิธีการให้ความร้อนแห้ง(Dry heat treatment)แก่ข้าวก่อนการเตรียมผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป(Quick cooking rice)จากข้าวขาวดอกมะลิ 105, กข7 สุพรรณ60 และรวงแก้ว ที่ผ่านการขัดสีจนขาวพบว่า ข้าวขาวที่ผ่านการให้ความร้อนแห้งที่ 80°C ในตู้อบลมร้อน(Hot air oven) ก่อนแล้วนำมาต้มในน้ำ(ข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:9)หลังจากนั้นจึงล้างข้าวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130°C นาน 10 นาที ก่อนที่จะอบต่อที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 16 ชม. จะให้คุณลักษณะของข้าวกึ่งสำเร็จรูป และการยอมรับจากผู้ชิมมากกว่าวิธีการอื่นๆ โดยเฉพาะข้าวขาวดอกมะลิ

ในส่วนของภาคเอกชนในประเทศไทยบริษัทเทพทิพจำกัด ได้พัฒนากระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป ข้าวสำเร็จรูป และข้าวเสริมวิตามินบี(ยี่ห้อ B-top) ออกจำหน่ายทั้งในตลาดภายในและภายนอกประเทศ(สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย) ในส่วนของข้าวกึ่งสำเร็จรูป และข้าวสำเร็จรูปจะอยู่ในรูปของ ไรซ์เค้ก(Rice cake) และ ผลิตภัณฑ์ข้าวประเภท ready-to-eat rice โดยใช้ข้าวขาวเป็นวัตถุดิบในการผลิต(เทอดศักดิ์, 2536)

ในการเก็บรักษาข้าว Dhaliwal et al.(1990) ศึกษาผลของการทำแห้ง และเก็บรักษาข้าวเปลือก พบว่า การทำแห้งก่อนการเก็บรักษาจะไม่ทำให้ข้าวเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในส่วนที่เป็นกรดไขมัน ยกเว้นกรดพาล์มิติก(Palmitic acid)จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนการเก็บรักษาที่ระยะเวลานานๆ จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันโดยที่ปริมาณของกรดพาล์มิติก กรดพาล์มิโตเลอิก(Palmitoleic acid) และกรดสเตียริก (Stearic acid) ลดลง ในขณะที่ปริมาณของกรดโอเลอิก(Oleic acid)เพิ่มมากขึ้น

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงแม้ว่าข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสี หรือ ข้าวสารหรือ ข้าวขาวก็ตาม แต่อายุการเก็บรักษาโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 3-4 เดือน ทั้งนี้ การเสื่อมเสียของข้าวกล้อง เกิดขึ้นเนื่องจากในข้าวกล้องมีปริมาณไขมันสูง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน(Lipolytic hydrolysis)กลายเป็น กรดไขมันอิสระ(Free fatty acid, FFA) โดยมีเอนไซม์ไลเปส(Lipase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Auto-oxidation or Photo-

oxidation) ซึ่งทำให้ไขมันย่อยสลาย และFFAกลายเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) โดยการเปลี่ยนแปลงของFFAในการถูกออกซิไดส์ช่วงนี้มีเอ็นไซม์ไลโปออกซิจีเนส(Lipoxygenase)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารที่หักกลืน(Champange, 1994)

การยับยั้งการเสื่อมเสียของข้าวกล้องที่เกิดขึ้นมีผู้ศึกษาโดยการใช้ความร้อนในลักษณะที่เป็นลมร้อน และการต้มข้าวกล้องจะทำให้เอ็นไซม์ไลโปออกซิจีเนสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติ(denature) แต่วิธีการนี้ทำให้ข้าวกล้องเกิดการพองตัวและมีกลิ่นไหม้ได้ ในกรณีที่ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ และเกิดการสูญเสียวิตามินรวมทั้งแร่ธาตุที่สามารถละลายไปกับน้ำในระหว่างการต้มได้(Alexander et al., 1954)

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารละลายอินทรีย์เช่น ปีโตรเลียมอีเทอร์(Petroleum ether) (Kester, 1951), เฮกเซน(n-Hexane) และ แอลกอฮอล์(Ethanol) (Champange et al., 1991) ในการสกัดแยกเอาส่วนที่เป็นไขมันออกจากข้าวกล้องเพื่อที่จะแยกไขมันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายเป็นFFA ด้วยการเร่งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ไลโปออกซิจีเนส โดยที่เมล็ดแบ่งในข้าวกล้องไม่เกิดการเจลาติไนส์ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังเกิดการสูญเสียไทอามีน(Thiamin) และยังทำให้ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการมีกลิ่นของสารเคมีที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

ต่อมาChampange และHron(1992)และ Champagne et al.(1993)ได้เสนอวิธีการที่จะยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องโดยการใช้ไอของเอทิลแอลกอฮอล์นาน 3-10 นาที จากการเก็บรักษาข้าวกล้องในช่วงเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิ 36°C พบว่า มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในระหว่างที่มีการใช้ไอแอลกอฮอล์ในการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันหรือย่อยสลายไขมันดังกล่าวแล้วข้างต้น ไม่มีการสูญเสียปริมาณไทอามีนและโทโคฟีรอล(Tocopherol) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไอแอลกอฮอล์จะไม่ทำให้เมล็ดแบ่งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนส์ และสามารถลดปริมาณของจุลินทรีย์ได้ถึงในระดับที่ต่ำมาก(very low levels)ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวกล้องเป็นข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
- 2) ศึกษากระบวนการบรรจุ และเก็บรักษาสถิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้
- 3) ศึกษาวิธีการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปในการบริโภค

สถานที่ทำการทดลอง

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการกระบวนการแปรรูปของ ภาควิชา
อุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

วัตถุดิบ

การทดลองในโครงการนี้จะใช้ข้าวกล้องที่ผ่านการขัดสีที่ระดับการขัดสี 70% (ระดับการขัดสี = ปริมาณข้าวกล้องที่ได้ / น.น.ข้าวเปลือก $\times 100$) ด้วยเครื่องสีข้าวปั่นแก้ว โรงสีข้าวตัวอย่างในโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยข้าวเปลือกพันธุ์ที่นำมาขัดสีเป็นข้าวเปลือกที่เป็นผลผลิตของฤดูกาลเพาะปลูก 2538 ข้าวพันธุ์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทดลองในโครงการคือพันธุ์หอมมะลิ และข้าวตาแห้ง ข้าวเปลือกทั้งสองสายพันธุ์ก่อนการขัดสีจะมีอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 33°-35°ซ และ 13.2-13.6% ตามลำดับ

วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1. ตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ(Physicochemical properties)ที่สำคัญๆของวัตถุดิบซึ่งเป็นข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวตาแห้ง โดยนำมาวิเคราะห์
 - 1.1 ปริมาณความชื้น (moisture) เถ้า (ash) ไขมัน (crude fat) โปรตีน (crude protein) เยื่อใย (crude fiber) และคาร์โบไฮเดรต (Total carbohydrate) ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ proximate (Proximate analysis) (AOAC, 1995)
 - 1.2 ปริมาณอะไมโลส (amylose) (Juliano, 1971)
 - 1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) (AOAC, 1995)
 - 1.4 ลักษณะของเม็ดแป้ง (Starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM)
 - 1.5 การทดสอบคุณภาพในการหุงต้ม (Eating Cooking Test) (Batcher et al, 1956)
2. ศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยไอน้ำในอุณหภูมิไอน้ำ และคลื่นไมโครเวฟในอุณหภูมิไมโครเวฟ

2.1 ศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิ ในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Steam) ที่เหมาะสมแก่ข้าวกล้องบนสายพาน (Conveyor) โดยเปรียบเทียบระดับการเกิดเจลาติไนส์ (Degree of Gelatinization, DG) ตามวิธีการของ Birch and Priestley (1973) และ ปริมาณความชื้น (MC) ภายหลังการให้ความร้อนด้วยไอน้ำตามวิธีการของ AOAC (1995)

การทดลองในขั้นตอนนี้มีแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) แบบ 3x3 โดยมีปัจจัย (factors) ที่ศึกษา คือ

ปัจจัยที่ 1: อุณหภูมิภายในอุณหภูมิไอน้ำ (X_1) มี 3 ระดับ คือ 95°, 100° และ 105°ซ

ปัจจัยที่ 2: ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (X_2) มี 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 นาที

โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพในการทดลอง ในข้อที่ 1 ข้างต้นหนัก 500 กรัมมาเกลี่ยลงบนตะแกรงไม้ (กว้าง 28 ซม. X ยาว 60 ซม.) แล้วเติมน้ำ ด้วยการฉีดพ่นน้ำให้กับข้าวกล้องก่อนเข้าอุโมงค์ไอน้ำ (กว้าง 40 ซม. X ยาว 300 ซม. X สูง 35 ซม., BWS-Trading model BWS, Thailand) ในอัตราส่วน น้ำ:ข้าวกล้องเท่ากับ 0.3:1 จำนวน 3 รอบ ก่อนนำเข้าอุโมงค์ไอน้ำทุกครั้งเพื่อให้การดูดซับน้ำจากไอน้ำดีขึ้น น้ำตะแกรงดังกล่าวมาผ่านอุโมงค์ไอน้ำด้วยระบบสายพานความเร็ว 0.5 เมตรต่อนาที ที่ระดับอุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำ และที่ระยะเวลาต่างกัน ตัวอย่างที่ได้นำมาวิเคราะห์หาคะดับการเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นดังกล่าวข้างต้น รวมทั้งศึกษา ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองที่มีต่อระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณน้ำที่ข้าวกล้องดูดซับเอาไว้ในรูปของความชื้น และสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression) เพื่อใช้คำนวณระดับการเจลาติไนส์ และปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการผลิต

2.2 ศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟบนสายพานยาว 3 เมตร (รูปในภาคผนวกที่ 2)

เป็นการศึกษาการเพิ่มการเจลาติไนส์ของแป้งในเมล็ดข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์หลังจากที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95°, 100° และ 105° ซ เป็นระยะเวลา 30 นาที ด้วยการนำข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำในข้อ 2.1 ตามเงื่อนไขดังกล่าวแล้วมาเกลี่ยลงบนภาตพลาสติก โพลีโพรพิลีน (18 ซม. X 26 ซม.) ปริมาณ 200 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อภาต โดยให้สูงเสมอขอบภาต (1 ซม.) มาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ด้วยสายพานที่ความเร็ว 0.5 เมตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 6 นาที นำข้าวกล้องที่ได้มาวิเคราะห์หา

2.2.1 ระดับการเกิดเจลาติไนส์ (DG) ของแป้งในเมล็ดข้าวกล้องด้วยวิธีการของ Birch and Priestley (1973)

2.2.2 ปริมาณน้ำที่เมล็ดข้าวกล้องดูดซับเอาไว้ในรูปของความชื้น (MC) ด้วยวิธีการของ AOAC (1995)

3. ศึกษาเงื่อนไข และกระบวนการทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์แล้ว

ในการศึกษาเงื่อนไข และ กระบวนการทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์นั้น ในข้อ 2.1 โดยจะใช้ข้าวกล้องหอมมะลิเป็นวัตถุดิบในการทดลอง เนื่องมาจากข้อมูลในการดูดซับน้ำ และคุณสมบัติในการหุงต้มที่พบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิมีความสามารถในการดูดซับน้ำระหว่าง กระบวนการผลิตหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95° ซ เป็นเวลานาน 30 นาที บนสายพานได้มากกว่าข้าวกล้องขาวตาแห้ง โดยในการทดลองได้ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์มาปรับความชื้นให้อยู่ที่ระดับ 17, 22 และ 27% แล้วนำมามาเกลี่ยลงบนภาตพลาสติกโพลีโพรพิลีน (18 ซม. X 26 ซม.) ปริมาณ 200 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อภาต โดยสูงเสมอขอบภาต (1 ซม.) เป็นวัตถุดิบในการศึกษาการทำแห้ง 3 วิธีดังนี้คือ

วิธีที่ 1 การทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อน 100° ซ บนสายพานยาว 1.5 เมตร (รูปในภาคผนวกที่ 1) ด้วยความเร็ว 0.5 เมตรต่อนาที หรือเป็นระยะเวลา 3 นาที

วิธีที่ 2 การทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz บนสายพานยาว 3 เมตร(รูปในภาคผนวกที่ 2) ด้วยความเร็ว 3ระดับ คือ 0.5, 1.25 และ 2 เมตรต่อนาที

วิธีที่ 3 การทำแห้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ร่วมกัน ตามลำดับ

โดยตัวอย่างที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี จะถูกนำมาตรวจสอบ และวิเคราะห์หา ความชื้นด้วยวิธีการของ AOAC (1995) และอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าของข้าวกล้องด้วยเครื่อง Infrared Thermometer รุ่น IR-TA(Chino Co., Tokyo Japan)โดยวัดทั้งหมด 5 จุดแล้วนำมาเฉลี่ย

4. การศึกษาระยะเวลาในการรมโอแอลกอฮอล์เพื่อยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันในเมล็ดข้าวกล้อง

ในการศึกษาระยะเวลาในการรมข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์ด้วยโอแอลกอฮอล์ 50% ในตูรมโอแอลกอฮอล์(รูปในภาคผนวกที่3) จะนำข้าวกล้องที่สะอาดทั้งสองสายพันธุ์คือ ข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องขาวตาแห้ง มาเกลี่ยลงบนตะแกรงไม้ขนาด 28 X 60 ตารางเซนติเมตร ตะแกรงละ 0.5 ก.ก.มาผ่านเข้าไปในอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95°C เป็นระยะเวลานาน 30 นาทีบนสายพาน และนำมาปรับความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 25-27% ด้วยการนำข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์ด้วยไอน้ำมาเกลี่ยลงบนถาดพลาสติกโฟลโพรพิลีน(18 X 26 ซม.) ปริมาณ 200กรัม(น้ำหนักเปียก)ต่อถาด โดยสูงเสมอขอบถาด(1ซม.)มาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450MHz เป็นระยะเวลานาน 12นาที ก่อนที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการศึกษาหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องด้วยโอแอลกอฮอล์ 50% ที่ระดับอุณหภูมิของไอน้ำ 80°C ความดัน 0.4 ก.ก./ซม² โดยการนำข้าวกล้องที่ได้มาเกลี่ยลงในตะแกรงไม้อีกครั้งหนึ่งโดยให้มีปริมาณ 0.5 กก.ต่อตะแกรง แล้วนำไปวางเรียงภายในตูและรมโอแอลกอฮอล์ที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที หลังจากนั้นนำข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันมาตรวจหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ(FFA) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เมื่อนำมาทดสอบเก็บในสถานะแข็ง คือ ที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 5วัน โดยวิเคราะห์หาค่า FFA (AOAC, 1995) ของข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ทุกวัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการทางสถิติ เพื่อหาระยะเวลาในการรมโอแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมกับข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์

5. ศึกษากระบวนการผลิตจากสายการผลิต (Production line) ทั้งสายอย่างต่อเนื่อง วิธีการขึ้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป และการยอมรับของผู้บริโภค

5.1 พัฒนาแผนผังการผลิตต้นแบบของกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเต็มรูปแบบโดยการศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหน่วยปฏิบัติการต่างๆในข้อ 2, 3 และ 4 เพื่อกำหนดกระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ และทดลองผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป โดยนำตัวอย่างที่ได้ในแต่ละหน่วยปฏิบัติการมาตรวจสอบและวิเคราะห์หา

5.1.1 ระดับการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยวิธีการของ Birch and Priestley (1973)

5.1.2 ความชื้นของข้าวกล้องด้วยวิธีการของ AOAC(1995)

5.1.3 คุณสมบัติที่บริเวณผิวหนังของข้าวกล้องด้วยเครื่องวัดแบบ Infrared Thermometer รุ่น IR-TA(Chino Co., Tokyo Japan)โดยการวัดทั้งหมด 5 จุด แล้วนำมาเฉลี่ย

5.2 การนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการผลิตจากสายการผลิตจริง (ข้อ 5.1) มาศึกษาวิธีการคืนรูปที่เหมาะสม 2 วิธีโดยคำนึงถึงระยะเวลาในการคืนรูป(ไม่เกิน 10 นาที) ดังนี้(รูปในภาคผนวกที่ 7)

5.2.1 การคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน (Gold Star model ER-461OD Korea) โดยนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมาเติมน้ำในอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อ น้ำ(น้ำหนักต่อน้ำหนัก)ต่างๆกัน (100:150, 200:270 และ 300:400 สำหรับการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และ 100:150,200:300 และ300:420 สำหรับการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้ง)ในซามแก้วที่มีฝาปิด แล้วให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นระยะเวลาที่เมื่อนำมาชิมแล้วพบว่า ข้าวกล้องสุกเสมอกันและบันทึกผลระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูป

5.2.2 การคืนรูปด้วยน้ำร้อน ทำการทดลองโดยนำน้ำสะอาดในอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ(น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก) ที่กำหนด (100:500, 200:700 และ 300:850 สำหรับการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และ 100:500, 200:750 และ 300:1000 สำหรับการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้ง) มาต้มให้เดือดในภาชนะที่ตั้งอยู่บนเตาไฟ เมื่อน้ำเดือดแล้วจึงเทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปในอัตราส่วนที่ศึกษาลงไปพร้อมปิดฝากาชนะตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นลดไฟให้อ่อนลงแล้วตั้งไฟต่อไปอีก 3-5 นาที แล้วจึงยกออกจากเตาไฟ และเปิดฝากาชนะพร้อมทั้งใช้ช้อนช้อนคนกลับข้าวให้ทั่วแล้วปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีกประมาณ 2-5 นาที ก็จะได้ข้าวกล้องที่ถูกทำให้สุกเสมอกัน ชิม และบันทึกระยะเวลาใช้ในการคืนรูป

5.3 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิม(Organoleptic test)ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปด้วยการชิมแล้วให้คะแนน

ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคจะให้ผู้บริโภคชิมผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคืนรูปที่ได้จากการคืนรูปด้วยวิธีที่เหมาะสมในข้อ 5.2.1 ซึ่งเป็นการคืนรูปด้วยการใช้เตาไมโครเวฟ โดยผู้ชิมที่เป็นคนสัญชาติไทย อายุระหว่าง 19-35 ปี ที่รับประทานข้าวขาวทุกวันอย่างน้อยวันละ 1 มื้อ โดยผู้ชิมเหล่านี้ไม่เป็นผู้ที่ผ่านการฝึกชิมมาแต่อย่างใด สำหรับการให้คะแนนนั้นจะใช้ระบบการให้คะแนนแบบ hedonic ตั้งแต่ 1-9 โดยที่ คะแนน 1= ไม่ชอบมากที่สุด (extremely dislike) และ 9=ชอบมากที่สุด(extremely like) จำนวนผู้ชิมที่ทดสอบจำนวน 22 คนจะให้คะแนนในคุณลักษณะของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปแล้วในด้านต่างๆต่อไปนี้ (ดูแบบฟอร์มในภาคผนวกที่ 4)คือ

ลักษณะปรากฏ(appearance)

การเกาะตัว(cohesiveness or stickiness)

ความนุ่ม(tenderness or firmness)

กลิ่น(aroma)

รสชาติ(taste)

การยอมรับโดยรวม(overall palatability)

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการทดสอบในข้อ 5.3 หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในภาชนะบรรจุเพื่อการจำหน่ายปลีก โดยนำเอาข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดดังกล่าวแล้วข้างต้นมาบรรจุลงในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน(ขนาด 15X22 ซม.², รายละเอียดดูในภาคผนวกที่ 5) ปริมาณ 100 กรัมต่อถุง แล้วปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบแท่งความร้อน (Hot bar seammer, Santo Thailand) หลังจากนั้นนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 4 ถุงมาบรรจุลงในกล่องกระดาษที่ทำจากกระดาษชาวเทาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป โดยมีขนาดของตัวกล่องเท่ากับ กว้าง 4 ซม. X ยาว 13.5 ซม. X สูง 20 ซม. (รูปในภาคผนวกที่ 6) เมื่อบรรจุเรียบร้อยแล้ว จึงปิดผนึกกล่องกระดาษด้วยการ หลังจากนั้นนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานาน 6 เดือน เมื่อครบตามกำหนดเวลานำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบ

6.1 ปริมาณความชื้น(AOAC,1995)

6.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ(AOAC,1995)

6.3 ทดสอบการคืนรูปด้วยวิธีการที่เหมาะสมจากข้อ 5.2.1 และชิมแล้วให้คะแนนด้วยวิธีการชิมที่กล่าวมาแล้วในข้อ 5.3

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณลักษณะทางเคมี และทางกายภาพของข้าวกล้อง ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีแบบ proximate (Proximate analysis) ของข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวตาแห้ง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง

องค์ประกอบ (%)	ข้าวกล้องพันธุ์	
	หอมมะลิ	ข้าวตาแห้ง
ความชื้น (Moisture content)	10.56	11.45
ไขมัน (Crude fat)	2.14	2.38
โปรตีน (Crude protein)	7.08	8.23
เถ้า (Ash)	1.19	1.30
เยื่อใย (Crude fiber)	1.09	1.04
คาร์โบไฮเดรต (Total carbohydrate by difference)	77.94	75.60

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ค่า

นอกจากนี้ยังได้นำข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์มาวิเคราะห์หาปริมาณของอะไมโลส (Amylose) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) ที่มีอยู่ภายหลังการขัดสี รวมทั้งนำมาศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง (Starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope, SEM) ผลการวิเคราะห์ และศึกษาแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 1

จากตารางที่ 4 และ 5 รวมทั้งรูปถ่ายเม็ดแป้งจากกล้อง SEM จะเห็นได้ว่าข้าวกล้องที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองภายใต้เงื่อนไขการขัดสีที่กำหนดจะมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการแปรรูปนอกจากนี้ข้าวกล้องทั้งสองชนิดมีปริมาณไขมัน และกรดไขมันอิสระอยู่ด้วยในปริมาณที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของข้าวกล้อง โดยเฉพาะการเกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancidity) ขึ้น ทำให้อายุการเก็บรักษาข้าวกล้องสั้นลง ดังนั้นการกำหนดกระบวนการผลิตข้าวกล้องจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงกระบวนการแปรรูปที่มีผลต่อคาร์โบไฮเดรตในรูปของการเกิดเจลาติไนส์ และวิธีการในการยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นหืนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ได้ให้นานยิ่งขึ้น

ในการศึกษาคุณภาพในการหุงต้ม (Eating and cooking quality) ของข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องหอมมะลิ มีความสามารถในการขยายตัว (Volume expansion) ดี

กว่า สามารถดูดซับน้ำ (Water uptake ratio) ได้สูงกว่า และมีปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total soluble solid) มากกว่า ข้าวกล้องขาวตาแห้ง (ตารางที่ 6) ข้อมูลในส่วนนี้จะใช้เป็นข้อมูลร่วมในการกำหนดฝักรงการผลิต รวมทั้งกำหนดจุดอุปกรณในสายการผลิตด้วย

ตารางที่ 5 ปริมาณอะไมโลส กรดไขมันอิสระ และลักษณะของเม็ดแป้งของข้าวกล้อง

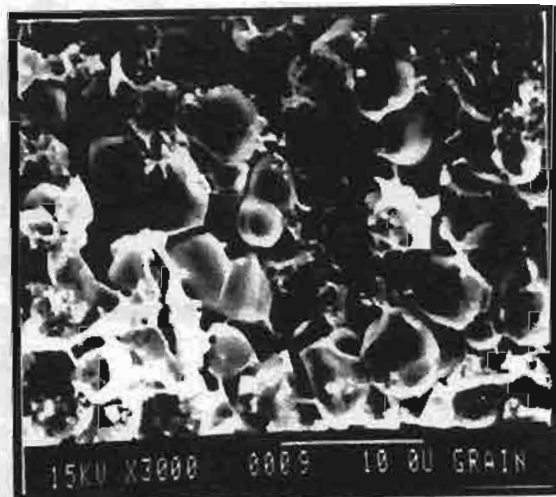
ข้าวกล้องพันธุ์	อะไมโลส ¹ (%, dry basis)	กรดไขมันอิสระ ¹ (%, as oleic acid)	ลักษณะของเม็ดแป้ง	
			รูปร่าง	ขนาด ² (micron)
หอมมะลิ	16.8	0.39	polygonal	5.09
ขาวตาแห้ง	33.5	0.13	polygonal	4.11

หมายเหตุ: 1 ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ค่า

2 ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดขนาดเม็ดแป้งจากรูปถ่ายจากกล้อง SEM
จำนวน 10 เม็ด



(1)



(2)

รูปที่ 1 เม็ดแป้งของข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ(1) และขาวตาแห้ง(2)ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

ตารางที่ 6 คุณภาพในการหุงต้มของข้าวกล้อง

ข้าวกล้องพันธุ์	ความสามารถใน การขยายตัว (เท่า)	ความสามารถใน การดูดซับน้ำ (เท่า)	ปริมาณของของแข็ง ที่ละลายได้ในน้ำ (%, wet basis)
หอมมะลิ	3.00	2.78	5.92
ขาวตาแห้ง	2.86	2.17	4.60

หมายเหตุ: 1.ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ค่า
2.ศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำ และ
คลื่นไมโครเวฟ ในอุโมงค์ไมโครเวฟ

2.1 ศึกษาระยะเวลา และอุณหภูมิในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่เหมาะสมแก่ข้าว
กล้องบนสายพาน โดยเปรียบเทียบระดับการเกิดเจลาติไนส์ (DG,%) และหาความสัมพันธ์ระหว่าง
การเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณน้ำในรูปของความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้อง(MC,%) ภายหลัง
การให้ความร้อนด้วยไอน้ำ กับอุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำ และระยะเวลาในการให้
ความร้อนด้วยไอน้ำแก่ข้าวกล้องบนสายพาน(ตารางที่ 7)

จากผลการนำข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ พบว่า
ระดับการเกิดเจลาติไนส์ และปริมาณน้ำที่ข้าวกล้องสามารถดูดซับเอาไว้ไม่มีความสัมพันธ์
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับอุณหภูมิในอุโมงค์ที่ผ่านไอน้ำ (X_1) ในขณะที่มีความสัมพันธ์
อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ข้าวกล้องบนสายพาน(X_2) ดังแสดงในตา
รางที่ 8 โดยที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ที่อยู่บนสาย
พานเกิดการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นและดูดซับน้ำได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเจลาติไนส์ของข้าวกล้อง
ทั้งสองสายพันธุ์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กับปริมาณน้ำที่เมล็ดข้าวดูดซับไว้ได้
โดยที่เมื่อการเจลาติไนส์ของเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับเอาไว้ในเมล็ด
เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน(ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง DG และ MC เท่ากับ 0.9120** สำหรับข้าวกล้องหอม
มะลิ และ 0.7393** สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง) เมื่อนำผลการทดลองมาคำนวณหาสมการถด
ถอยแบบพหุคูณ สามารถแสดง สมการดังกล่าวได้ดังนี้

ระดับการเกิดเจลาติไนส์(Y_1)

ข้าวกล้องหอมมะลิ:

$$Y_1 = -254.43 + 4.803X_1 + 2.743X_2 - 0.0204X_1^2 - 0.0227X_2^2 - 0.00475X_1X_2$$

($r^2 = 0.993$ at $P \leq 0.05$)

ข้าวกล้องขาวตาแห้ง:

$$Y_2 = -1036.396 + 20.032X_1 + 1.887X_2 - 0.09467X_1^2 - 0.06837X_2^2 - 0.0156X_1X_2$$

($r^2 = 0.962$ at $P \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำที่ข้าวกล้องดูดซับ(N)

ข้าวกล้องหอมมะลิ:

$$Y_3 = 496.769 - 10.0393X_1 + 2.705X_2 + 0.05487X_1^2 + 0.01207X_2^2 - 0.02725X_1X_2$$

($r^2=0.910$ at $P \leq 0.05$)

ข้าวกล้องขาวตาแห้ง:

$$Y_4 = -263.214 - 5.0693X_1 + 2.443X_2 + 0.02773X_1^2 + 0.00358X_2^2 - 0.0216X_1X_2$$

($r^2=0.946$ at $P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ ร่วมกับสมการถดถอยพหุคูณที่ได้สามารถกล่าวได้ว่าข้าวกล้องหอมมะลิและขาวตาแห้งทั้งสองสายพันธุ์จะผ่านเข้าอุโมงค์ไอน้ำ ที่อุณหภูมิระหว่าง 95° - 105° ซ เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้เมล็ดแบ่งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ที่ระดับ 66.46-71.33% สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 51.81-66.23% สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้งโดยข้าวกล้องหอมมะลิ และขาวตาแห้งสามารถดูดซับน้ำไว้ภายในเมล็ดได้ 52.35-52.99% และ 45.11-46.86% ตามลำดับ

2.2 ศึกษาการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

จากการศึกษาการเพิ่มการเจลาติไนส์ของเมล็ดแบ่งในเมล็ดข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟในอุโมงค์ไมโครเวฟพบว่า ภายหลังจากการเกิดเจลาติไนส์ของแบ่งในเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำมาแล้ว สามารถกระทำได้โดยการผ่านข้าวกล้องดังกล่าวเข้าไปในอุโมงค์ไมโครเวฟที่บนสายพานที่ระดับความเร็ว 0.5 เมตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 6 นาทีพบว่า เมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (95° , 100° และ 105° ซ) ในระยะเวลา 30 นาที นั้น ทำให้ข้าวกล้องหอมมะลิ และขาวตาแห้งซึ่งเดิมมี DG ระหว่าง 66.46-71.33% และ 51.81-66.23% ตามลำดับ มีระดับการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้นทั้งสองสายพันธุ์ ในขณะที่มีปริมาณความชื้นกลับลดลงดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 7 ระดับการเจลาติโนส(DG)และปริมาณความชื้น(MC)ของข้าวกล้องภายหลังจากผ่าน อุโมงค์ไอน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ

ปัจจัย		ข้าวกล้องหอมมะลิ		ข้าวกล้องขาวตาแห้ง	
X_1	X_2	DG	MC	DG	MC
°ซ	นาที	%	%	%	%
95	10	38.72	41.65	40.48	36.66
95	20	53.78	43.84	50.97	40.69
95	30	66.46	52.99	51.81	46.86
100	10	42.56	41.82	46.32	35.89
100	20	57.72	46.03	61.92	41.56
100	30	69.63	52.35	63.28	45.36
105	10	44.54	46.80	51.78	39.23
105	20	61.98	50.66	67.57	41.23
105	30	71.33	52.69	66.23	45.11

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์(r)ระหว่างอุณหภูมิในอุโมงค์ไอน้ำ(X_1) และระยะเวลาในการผ่านข้าวกล้องเข้าไปในอุโมงค์(X_2) กับ DG และ MC

ปัจจัย	ข้าวกล้องหอมมะลิ		ข้าวกล้องขาวตาแห้ง	
	DG	MC	DG	MC
X_1	0.2236 ^{ns}	0.3623 ^{ns}	0.6437 ^{ns}	0.0513 ^{ns}
X_2	0.9685**	0.8618**	0.6501**	0.9629**

หมายเหตุ: ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญ

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ที่ $P \leq 0.01$

ตารางที่ 9 ระดับการเจลาติไนส์(DG)และความชื้น(MC)ของข้าวกล้องภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำ และอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz

พันธุ์ข้าว / การทดลองที่	อุโมงค์ไอน้ำ ^ก		อุโมงค์ไมโครเวฟ ^ข	
	DG	MC	DG	MC
	%	%	%	%
หอมมะลิ /				
1	66.46	52.99	72.67	43.71
2	69.63	52.35	80.72	42.34
3	71.33	52.69	82.54	42.80
ขาวตาแห้ง /				
4	51.81	46.86	57.54	38.94
5	63.28	45.36	69.18	38.47
6	66.23	45.11	71.78	33.64

หมายเหตุ:

ก อุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°C, 2 และ 5 เท่ากับ 100°C ในขณะที่ยานที่ 5 และ 6 เท่ากับ 105°C

ข การเกิดเจลาติไนส์ของข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำ(หมายเหตุ ก)มาแล้วนำมาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ ที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที

ค ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

3. ศึกษาเงื่อนไข และกระบวนการทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์

จากการทดลองจะเห็นว่าการใช้อุโมงค์ลมร้อน หรือ วิธีที่ 1 ในการทำแห้งข้าวกล้องที่มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 17-27% นั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณความชื้นที่คงเหลืออยู่นั้นยังสูงเกินไป(มากกว่า 14%)ถึงแม้ว่าจะใช้ความเร็วของสายพานต่ำที่สุดแล้วก็ตาม แต่การทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อนจะเหมาะกับการทำแห้งข้าวกล้องที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 17% ลงมา และสามารถใช้เป็นหน่วยทำแห้งข้าวกล้องภายหลังจากผ่านการรมไอน้ำอัลตร้าไอน้ำ เพราะการทำแห้งข้าวกล้องด้วยอุโมงค์ลมร้อนที่ระดับความเร็วของสายพาน 0.5 เมตร ต่อ นาที สามารถทำให้ข้าวกล้องที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 17% มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 52.2°C ทำให้แอลกอฮอล์ที่อยู่บริเวณผิวหน้าของเมล็ดข้าวกล้องที่นำออกมาจากตู้อบไอน้ำอัลตร้าไอน้ำแห้งระเหยออกไปได้(ตารางที่10)

ส่วนการทำแห้งวิธีที่ 2 และ 3 นั้น เมื่อนำผลการทดลองการทำแห้งที่ได้ (ความชื้น และอุณหภูมิของข้าวกล้องภายหลังจากการทำแห้ง) มาทดสอบค่าทางสถิติ พบว่า การทำแห้งวิธีที่ 2 และ วิธีที่ 3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.5 ดังนั้นการทำแห้งข้าวกล้องที่มีความชื้นสูงระหว่าง 17-27% จึงไม่มีความจำเป็นในการที่จะต้องเพิ่มอุณหภูมิ หรือลดปริมาณความชื้นของข้าวกล้องด้วยการผ่านข้าวกล้องเข้าไปในอุโมงค์ลมร้อนก่อนที่จะผ่านเข้าอุโมงค์ไมโครเวฟ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 11 เห็นว่า อุโมงค์ไมโครเวฟยังสามารถเพิ่มอุณหภูมิของข้าวกล้องได้สูงเช่นกัน โดยเฉพาะที่ระดับความเร็วของสายพานเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มระดับการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องภายหลังจากการทำให้ข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ด้วยไอน้ำ

นอกจากนี้เมื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นเริ่มต้น และความเร็วของสายพานของอุโมงค์ไมโครเวฟ กับ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิของข้าวกล้องภายหลังจากการทำแห้ง วิธีที่ 2 และ วิธีที่ 3 ในเทอมของค่าสหสัมพันธ์(r) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.5 และ 0.1 พบว่า ความเร็วของสายพานจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ และอย่างนัยสำคัญยิ่ง กับ ความชื้น และอุณหภูมิของข้าวกล้องภายหลังจากการทำแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความชื้นเริ่มต้นของข้าวกล้องมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ กับความชื้นของข้าวกล้องที่ผ่านการทำแห้งวิธีที่ 2 เท่านั้น(ตารางที่ 12) ดังนั้นในกระบวนการผลิตโดยเฉพาะในหน่วยปฏิบัติการในการทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านการเจลาติไนส์ที่เหมาะสมได้แก่ การผ่านข้าวกล้องที่เจลาติไนส์เข้าไปในอุโมงค์ไมโครเวฟด้วยความเร็วสายพาน 0.5 เมตร/วินาที หรือวิธีที่ 2 นั้นเอง โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุโมงค์ลมร้อนในการทำแห้ง

ตารางที่ 10 ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องภายหลังจากการทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อน(วิธีที่1)

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง		
ความชื้นเริ่มต้น (%)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°ซ)
17	14.62	52.20
22	18.28	49.05
27	22.96	48.39

หมายเหตุ: 1. การทดลองจะใช้ความเร็วของสายพานคงที่ที่ 0.5 เมตร/วินาที
2. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 11 ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องภายหลังจากการทำให้แห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่ 2) และด้วยอุโมงค์ลมร้อนร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่ 3)

ความชื้นเริ่มต้น (%)	ความเร็วของสายพาน		การทำแห้ง		
	พาน (ม/นาที)	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3		
			ความชื้น(%)	อุณหภูมิ(°ซ)	
17	0.50	9.43	105.25	9.89	112.5
17	1.25	12.26	94.26	12.52	80.5
17	2.00	13.74	78.34	14.73	65.8
22	0.50	9.48	108.93	10.44	102.3
22	1.25	15.69	81.23	14.91	79.9
22	2.00	17.16	85.05	17.19	60.6
27	0.50	10.76	112.35	14.71	100.3
27	1.25	19.27	83.19	19.38	80.8
27	2.00	20.65	78.94	22.59	59.1

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r)ในการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่2) และ
การทำแห้งด้วยอุโมงค์ลมร้อนร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟ(วิธีที่3)ระหว่างปัจจัย
ในการทำแห้งกับปริมาณความชื้น และอุณหภูมิของข้าวกล้องที่ผ่านการทำแห้ง

ปัจจัยในการทำแห้ง	การทำแห้ง			
	วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ
ความชื้นเริ่มต้น	0.688*	-0.140 ^{ns}	0.528 ^{ns}	-0.036 ^{ns}
ความเร็วของสายพาน	0.685*	-0.978**	0.757*	-0.893**

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.01$

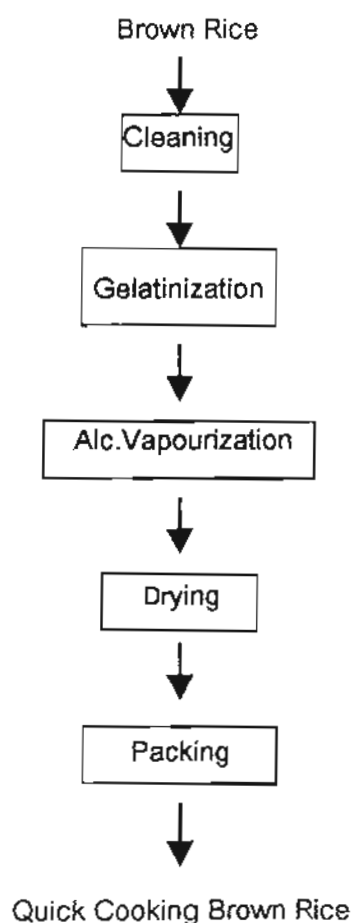
4. การศึกษาระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์เพื่อใช้ยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันใน เมล็ดข้าวกล้อง

จากข้อมูลการทดสอบหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่า การรมไอลแอลกอฮอล์ข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ที่ระยะเวลานาน 5, 10 และ 15 นาที จะทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 24.96-25.99% สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 23.25-25.66% สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง โดยจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการรมไอลแอลกอฮอล์นานขึ้น จะทำให้ความชื้นของข้าวกล้องมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำข้าวกล้องที่ได้ทั้งสองสายพันธุ์ซึ่งมีปริมาณความชื้นสูง(ในช่วง 23-26%)นี้มาเก็บรักษาในสภาวะแห้ง ที่ระดับอุณหภูมิ 38°C เพื่อพิจารณาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลสไขมันของเอ็นไซม์ไลเปสดังกล่าวแล้วข้างต้นพบว่า ในการรมไอลแอลกอฮอล์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ นั้นสามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องได้อย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(non significant)ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.5 เนื่องจากปริมาณของ FFA ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Champagne และ Hom(1992) และ Champagne et al.(1993) ถึงแม้ว่าในการทดลองผู้ทดลองจะใช้ไอลแอลกอฮอล์จากแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นเพียง 50% เท่านั้น

ดังนั้นในหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยการรวมโอแอลกอฮอล์จากแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 50% สามารถกำหนดระยะเวลาที่ใช้ได้เป็น 5 หรือ 10 หรือ 15 นาที ก็ได้ผลในทำนองเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตระยะเวลาที่เหมาะสมและความมั่นใจในกระบวนการผลิตแล้วระยะเวลาในการรวมโอแอลกอฮอล์ควรเป็น 10 นาที

5. พัฒนาแผนผังการผลิตต้นแบบของกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปเต็มรูปแบบ

5.1 จากศึกษาหน่วยการผลิตแต่ละหน่วยพบว่าแผนผังกระบวนการผลิตที่สามารถใช้ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมนั้นในข้อ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ แผนผังกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ควรที่จะประกอบไปด้วยหน่วยปฏิบัติการที่จำเป็นในการผลิต คือ หน่วยการทำความสะอาด(Cleaning)ข้าว หน่วยการทำให้เกิดการเจลาติไนส์ (Gelatinization) หน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยการรวมโอแอลกอฮอล์ (Alcohol vapourization) หน่วยการทำแห้ง(Drying) และ หน่วยการบรรจุ(Packing) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

เมื่อได้แผนผังกระบวนการผลิตดังกล่าวแล้วได้นำมาทดสอบกระบวนการผลิตตลอดทั้งสายการผลิต โดยใช้ข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์เป็นวัตถุดิบพบว่า ข้าวกล้องน้ำหนัก 500 กรัมที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยการใช้แรงงานคนในการแยกเอาสิ่งปนเปื้อนออกไปแล้วมาเกลี่ยลงบนตะแกรงไม้ แล้วฉีดพ่นด้วยน้ำสะอาดในอัตราส่วน น้ำต่อข้าวกล้อง เท่ากับ 0.3ต่อ1 ก่อนนำข้าวอุโมงค์ไอน้ำทุกครั้ง ในหน่วยการทำให้ข้าวกล้องเจลาติไนส์ด้วยไอน้ำในอุโมงค์ไอน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ (95° , 100° และ 105° ซ) นาน 30 นาที แล้วจึงทำให้ข้าวกล้องเกิดเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นอีกด้วย การผ่านข้าวกล้องที่ได้เข้าไปในอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz เป็นเวลานาน 6 นาทีพบว่า ข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์มีการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้น โดยการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องหอมมะลิจะเพิ่ม 66.46-71.33% (DG_1) เป็น 72.67-82.54% (DG_2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การเจลาติไนส์ของข้าวกล้องขาวตาแห้งเพิ่มจาก 51.81-66.23% (DG_1) เป็น 57.54-71.78% (DG_2) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14) นอกจากนี้ในหน่วยปฏิบัติการนี้ความชื้นของข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำมาแล้วซึ่งมีความชื้นอยู่ระหว่าง 52.35-52.99% สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 45.11-46.86% สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้งจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเหลือ 42.34-42.80% สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 33.64-38.94% สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง (ตารางที่ 15) และเมื่อวัดอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าของข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องขาวตาแห้ง ด้วยเครื่องวัดแบบ Infrared Thermometer หลังจากที่ผ่านมาอุโมงค์ไอน้ำจะมีอุณหภูมิ (T_1) อยู่ระหว่าง 70.66° - 83.33° ซ. และ 70.37° - 84.42° ซ. ตามลำดับ ในขณะที่หลังจากผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟแล้วมีอุณหภูมิ (T_2) อยู่ระหว่าง 81.79° - 86.19° ซ. และ 75.44° - 81.41° ซ. ตามลำดับ (ตารางที่ 16) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบถึงระดับการเจลาติไนส์ระหว่างข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์แล้ว ข้าวกล้องหอมมะลิมีระดับการเจลาติไนส์ และความชื้นภายหลังจากผ่านหน่วยปฏิบัติการนี้สูงกว่าข้าวกล้องขาวตาแห้ง โดยข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 105° ซ. จะเกิดการเจลาติไนส์สูงที่สุด (DG_1 และ DG_2 ของการทดลองที่ 3 ในตารางที่ 14) ในขณะที่ข้าวกล้องขาวตาแห้งที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95° ซ. จะเกิดการเจลาติไนส์ต่ำที่สุด (DG_1 และ DG_2 ของการทดลองที่ 4 ในตารางที่ 14)

ตารางที่ 13 ปริมาณของความชื้นข้าวกล้องภายหลังจากการรมโอแอลกอฮอล์ และปริมาณFFA ภายหลังจากการรมด้วยโอแอลกอฮอล์ 50% และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 38°ซ . เป็นเวลา 5 วัน

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

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

เมื่อนำข้าวกล้องที่ได้มาผ่านหน่วยการยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยการนำมารวมด้วยโอแอลกอฮอล์ที่ได้จากการต้มแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50% ในตู้รมไอบนปิดที่อุณหภูมิของโอแอลกอฮอล์ 80°ซ นาน 10นาทีก พบว่า โอแอลกอฮอล์ไม่ได้ทำให้การเจลาติไนส์ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น และความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14และ15) โดยข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องขาวตาแห้ง มีระดับการเจลาติไนส์ระหว่าง 74.59-85.11% และ 58.47-71.47%ตามลำดับ ในขณะที่มีความชื้นเหลืออยู่ระหว่าง 37.65-41.36% และ 30.58-37.45% ตามลำดับ

ข้าวกล้องที่ผ่านการรมโอแอลกอฮอล์ข้างต้นมาเปลี่ยนลงบนภาตพลาสติกโพลีโพรพิลีน(18ซม.X26ซม.) ปริมาณ200กรัม(น้ำหนักเปียก)ต่อภาตสูงเสมอขอบภาต(1ซม.)ไปผ่านหน่วยปฏิบัติการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450MHzเป็นระยะเวลา 6, 12 และ 18นาทีก พบว่า ในการทำแห้งข้าวกล้องด้วยคลื่นไมโครเวฟนาน 18 นาทีก จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องถึงสำเร็จรูปที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 14%(พิจารณาค่า MC_g ในทุกการทดลอง ในตารางที่ 15)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวกล้องทั้งสำเร็จรูปที่ได้มีความชื้นเท่ากับ 3.97-12.33% และ 4.03-13.93% สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และขาวตาแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นในการทำแห้งข้าวกล้องที่เหมาะสมคือ การนำข้าวกล้องมาผ่านคลื่นไมโครเวฟที่ 2450 MHzเป็นระยะเวลา 18นาทีก นอกจากนั้นในการตรวจสอบระดับการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องทั้งสำเร็จรูปที่ผ่านการทำแห้ง พบว่าการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ยังส่งผลถึงการเจลาติไนส์ของข้าวกล้องอีกด้วยโดยทำให้การเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย โดยในระหว่างการทำแห้งที่ระยะเวลา 6 และ 12นาทีก

(DG_4 และ DG_5 ตามลำดับ) ในแต่ละการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระหว่างการทำแห้งที่ระยะเวลา 18 นาที ทำให้มีการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นสูงที่สุดในทุกการทดลอง โดยทำให้ข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องขาวตาแห้ง มีระดับการเจลาติไนส์อยู่ระหว่าง 92.05-93.14% และ 86.14-92.11% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการเจลาติไนส์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้งของการทดลองผลิตภัณฑ์โดยใช้ข้าวพันธุ์เดียวกันจะเห็นว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกันทั้งสองสายพันธุ์

ในการวัดอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าของข้าวกล้องในหน่วยการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ระยะเวลา 6, 12 และ 18 นาที คือ T_4 , T_5 และ T_6 ตามลำดับ ในแต่ละการทดลองนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16) โดยมีอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าอยู่ระหว่าง 90.02° - 111.09° ซ สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิ และ 93.24° - 120.34° ซ. สำหรับข้าวกล้องขาวตาแห้ง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาคืนรูปที่ได้จากการทดลองทุกการทดลองตัวอย่างละ 100 กรัม (น้ำหนักเปียก) มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ความถี่ 2450MHz พบว่า สามารถใช้ระยะเวลาในการคืนรูปไม่เกิน 10 นาที ทั้งสองสายพันธุ์

ดังนั้นในการทดลองปรับสายการผลิตเพื่อให้เกิดการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้น เพื่อลดระยะเวลา ในการคืนรูปนี้สามารถกระทำได้กับข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำที่ระดับอุณหภูมิที่ทั้ง 3 ระดับได้ โดยภายหลังจากผ่านอุโมงค์ไอน้ำจำเป็นต้องลดความชื้นลงโดยผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ 6 นาที ซึ่งในกรณีของข้าวกล้องหอมมะลิจะทำให้การเจลาติไนส์สูงขึ้นด้วย เมื่อนำมารวมโอแอลกอฮอล์ที่ 80° ซ. จากแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50% นาน 10 นาที เพื่อยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันนั้น การเจลาติไนส์ของข้าวกล้องจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อนำมาทำแห้งต่อในหน่วยการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟนาน 18 นาที นอกจากจะทำให้ข้าวกล้องแห้งมากขึ้น และยังทำให้การเจลาติไนส์เพิ่มสูงขึ้นด้วยซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่มีระดับการเกิดเจลาติไนส์ประมาณ 90% สามารถนำมาคืนรูปโดยใช้ระยะเวลาไม่เกิน 10 นาทีได้

ตารางที่ 14 ระดับการเกิดเจลาติโนส(DG) ของข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆ
ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องถึงสำเร็จรูป

พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	หน่วยปฏิบัติการ					
	การทำให้เกิดเจลาติโนส		การรมไอน้ำ	การทำให้แห้ง		
	อุโมงค์ไอน้ำ ^ก	อุโมงค์ไมโครเวฟ ^ข	50%อุณหภูมิ 80°C ^ค	ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ^ง		
	DG ₁	DG ₂	DG ₃	DG ₄	DG ₅	DG ₆
	%	%	%	%	%	%
หอมมะลิ/						
1	66.46 ^a	72.67 ^b	74.59 ^o	80.22 ^c	81.08 ^c	92.05 ^d
2	69.63 ^a	80.72 ^b	82.54 ^b	85.83 ^c	85.83 ^c	92.63 ^d
3	71.33 ^a	82.54 ^b	85.11 ^b	85.22 ^c	85.22 ^c	93.14 ^d
ขาวตาแห้ง/-						
4	51.81 ^a	57.54 ^a	58.47 ^a	77.61 ^b	82.64 ^b	86.14 ^c
5	63.28 ^a	69.18 ^a	69.67 ^a	82.95 ^b	83.59 ^b	91.13 ^c
6	66.23 ^a	71.78 ^a	71.47 ^a	82.61 ^b	85.23 ^b	92.11 ^c

หมายเหตุ: ก. อุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°C, 2 และ 5 เท่ากับ 100°C ในขณะที่ 5 และ 6 เท่ากับ 105°C

ข. การเกิดเจลาติโนสของข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำ(หมายเหตุ ก)มาแล้วนำมาผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ ที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที

ค. การนำตัวอย่างที่ผ่านการเกิดเจลาติโนสด้วยอุโมงค์ไอน้ำ ร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟ รมด้วยไอน้ำแอลกอฮอล์ ในตู้รมไอน้ำ

ง. การทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการการทำให้เกิดเจลาติโนส การรมไอน้ำแอลกอฮอล์ ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตร ต่อ นาที ที่ระยะเวลา 6 (DG₄), 12(DG₅) และ 18(DG₆) นาที

จ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง และ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้น ห้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกันที่เหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 15 ปริมาณความชื้น(MC)ที่มีอยู่ในข้าวกล้องภายหลังจากที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆ
ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องถึงสำเร็จรูป

พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	หน่วยปฏิบัติการ					
	การทำให้เกิดเจลาติไนส์		การรวมไออนแอลกอฮอล์	การทำแห้ง		
	อุโมงค์ไอน้ำ ^ก	อุโมงค์ไมโครเวฟ ^ข	50%อุณหภูมิ 80°ซ ^ค	ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ^ง		
	MC ₁	MC ₂	MC ₃	MC ₄	MC ₅	MC ₆
	%	%	%	%	%	%
หอมมะลิ/						
1	52.99 ^a	43.71 ^b	41.36 ^b	30.72 ^c	22.94 ^d	12.33 ^e
2	52.35 ^a	42.34 ^b	40.06 ^b	31.19 ^c	22.02 ^d	5.16 ^e
3	52.69 ^a	42.80 ^b	37.65 ^b	26.49 ^c	17.76 ^d	3.97 ^e
ขาวตาแห้ง/						
4	46.86 ^a	38.94 ^b	36.37 ^b	29.44 ^c	21.19 ^d	13.93 ^e
5	45.36 ^a	38.47 ^b	37.45 ^b	25.03 ^c	16.06 ^d	5.59 ^e
6	45.11 ^a	33.64 ^b	30.58 ^b	19.75 ^c	12.98 ^d	4.03 ^e

หมายเหตุ: ก. อุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°ซ, 2 และ 5 เท่ากับ 100°ซ ในขณะที่ 5 และ 6 เท่ากับ 105°ซ

ข. การเกิดเจลาติไนส์ของข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำ(หมายเหตุ ก)มาแล้วนำมาผ่านอุโมงค์ ไมโครเวฟ ที่ความเร็วของสายพาน 0.5เมตรต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที

ค. การนำตัวอย่างที่ผ่านการเกิดเจลาติไนส์ด้วยอุโมงค์ไอน้ำ ร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟมารวมด้วยไออนแอลกอฮอล์ ในตู้รวมไออน

ง. การทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการการทำให้เกิดเจลาติไนส์ การรวมไออนแอลกอฮอล์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วของสายพาน 0.5เมตรต่อนาที ที่ระยะเวลา 6 (MC₄), 12(MC₅) และ 18(MC₆) นาที

จ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง และ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกันที่เหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 16 อุณหภูมิผิวหน้า(T) ของข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่างๆในกระบวนการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป

หน่วยปฏิบัติการ						
พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	การทำให้เกิดเจลาติไนส์		การรมไอน้ำแอลกอฮอล์	การทำแห้ง		
	อุโมงค์ไอน้ำ ^ก	อุโมงค์ไมโครเวฟ ^ข	50%อุณหภูมิ 80°C ^ค	ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ^ง		
	T ₁ °ซ	T ₂ °ซ	T ₃ °ซ	T ₄ °ซ	T ₅ °ซ	T ₆ °ซ
หอมมะลิ/						
1	72.31 ^ก	81.79 ^ข	ไม่ได้วัด ^ค	93.99 ^ง	97.48 ^ง	95.69 ^ง
2	70.66 ^ก	86.19 ^ข	"	94.53 ^ง	94.53 ^ง	108.83 ^ง
3	83.33 ^ก	85.17 ^ข	"	90.02 ^ง	111.09 ^ง	104.06 ^ง
ขาวตาแห้ง/						
4	70.37 ^ก	75.44 ^ข	"	93.57 ^ง	95.36 ^ง	100.43 ^ง
5	75.95 ^ก	77.04 ^ข	"	93.24 ^ง	94.85 ^ง	106.47 ^ง
6	84.42 ^ก	81.41 ^ข	"	100.78 ^ง	116.83 ^ง	120.34 ^ง

หมายเหตุ: ก. อุณหภูมิภายในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°C , 2 และ 5 เท่ากับ 100°C ในขณะที่ 5 และ 6 เท่ากับ 105°C

ข. การเกิดเจลาติไนส์ของข้าวกล้องที่ผ่านอุโมงค์ไอน้ำ(หมายเหตุ ก)มาแล้วนำมาผ่านอุโมงค์ ไมโครเวฟ ที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที

ค. การนำตัวอย่างที่ผ่านการเกิดเจลาติไนส์ด้วยอุโมงค์ไอน้ำ ร่วมกับอุโมงค์ไมโครเวฟมารวมด้วยไอน้ำแอลกอฮอล์ ในตู้รมไอน้ำ

ง. การทำแห้งข้าวกล้องที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการการทำให้เกิดเจลาติไนส์ การรมไอน้ำแอลกอฮอล์ด้วยอุโมงค์ ไมโครเวฟที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตรต่อนาที ที่ระยะเวลา 6(T₄) , 12(T₅) และ 18(T₆) นาที

จ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ครั้ง และ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในการทดลองเดียวกันที่เหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

5.2 การนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการผลิตจากสายการผลิตจริง (ข้อ 5.1) มาศึกษาวิธีการคั้นรูปที่เหมาะสม 2 วิธี โดยคำนึงถึงระยะเวลาในการคั้นรูป (ไม่เกิน 10 นาที) ดังนี้

ในการศึกษาจะใช้ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้จากการทดลองทั้ง 6 การทดลองในข้อ 5.1 นำมาคั้นรูป ด้วยวิธีการคั้นรูปที่เหมาะสม 2 วิธีคือ

5.2.1 การคั้นรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

โดยนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปมาเติมน้ำในอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ (น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก) ต่างๆ กันดังนี้ คือ 100:150, 200:270 และ 300:400 สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และ 100:150, 200:300 และ 300:420 สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้ง แล้วทำให้สุกด้วยคลื่นไมโครเวฟ จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการทำให้ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะนานขึ้นเมื่อปริมาณข้าวกล้องที่ใช้ในการคั้นรูปมากขึ้นโดยมีอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ (น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก) ในแนวโน้มที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 17 ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิจะใช้ระยะเวลาในการคั้นรูปสั้นกว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้งในทุกอัตราส่วน ดังนั้น ในการคั้นรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมไม่ควรใช้เวลาเกิน 10 นาทีต่อการคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน 1 ถุง (100 กรัม) โดยเมื่อนำออกจากเตาไมโครเวฟแล้วควรจะต้องปิดฝาภาชนะเอาไว้ก่อนสักเล็กน้อยเพื่อให้ไอน้ำที่เดือดอยู่ได้ลดการเดือดลงแล้วจึงเปิดฝาสักเล็กน้อยกลับข้าวและชิม

5.2.2 การคั้นรูปด้วยน้ำร้อน

การคั้นรูปด้วยน้ำร้อนสามารถกระทำได้โดยต้มน้ำในอัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ ต่างๆ กันดังแสดงในตารางที่ 18 ให้เดือดในภาชนะที่ตั้งอยู่บนเตาไฟ แล้วจึงเทข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ลงไปพร้อมกับปิดภาชนะตั้งทิ้งไว้ 5 นาที หลังจากนั้นลดไฟลงตั้งไฟต่อไปอีก 3-5 นาที หลังจากนั้นจึงยกลงจากเตาไฟ และเปิดฝาภาชนะพร้อมทั้งใช้ส้อมคนกลับข้าวให้ทั่วแล้วปิดฝาดังตั้งทิ้งไว้อีกประมาณ 2-3 นาที ก็จะได้ข้าวกล้องที่สุกพร้อมรับประทาน ระยะเวลาในการคั้นรูปด้วยน้ำร้อนของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องขาวตาแห้ง ที่เหมาะสมคือ 10 และ 15 นาที ตามลำดับ โดยอัตราส่วนของน้ำที่ใช้มีแนวโน้มลดลง เมื่อคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปในปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับการคั้นรูปในข้อ 5.2.1 แต่การคั้นรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้งจะใช้ระยะเวลาในการคั้นรูปมากกว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปขาวตาแห้งมีสูงกว่าทำให้การเจลาติไนส์ และการดูดซึมน้ำยากกว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปหอมมะลิ

ตารางที่ 17 ระยะเวลาในการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือน

พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	อัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำ (น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก)		
หอมมะลิ/	<u>100:150</u>	<u>200:270</u>	<u>300:400</u>
1	8 นาที	9 นาที	10 นาที
2	8 นาที	9 นาที	10 นาที
3	8 นาที	9 นาที	10 นาที
ข้าวตาแห้ง/	<u>100:150</u>	<u>200:300</u>	<u>300:420</u>
4	9 นาที	10 นาที	12 นาที
5	9 นาที	10 นาที	12 นาที
6	9 นาที	10 นาที	12 นาที

หมายเหตุ: ก. อุณหภูมิในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°ซ , 2 และ 5 เท่ากับ 100°ซ ในขณะที่ 3 และ 6 เท่ากับ 105°ซ

ข. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง

ตารางที่ 18 ระยะเวลาในการคืนรูปข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยน้ำร้อน

พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	อัตราส่วนข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำร้อน (น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก)		
หอมมะลิ/	<u>100:500</u>	<u>200:700</u>	<u>300:850</u>
1	10 นาที	10 นาที	10 นาที
2	10 นาที	10 นาที	10 นาที
3	10 นาที	10 นาที	10 นาที
ข้าวตาแห้ง/	<u>100:500</u>	<u>200:750</u>	<u>300:1000</u>
4	15 นาที	15 นาที	15 นาที
5	15 นาที	15 นาที	15 นาที
6	15 นาที	15 นาที	15 นาที

หมายเหตุ: ก. อุณหภูมิในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°ซ , 2 และ 5 เท่ากับ 100°ซ ในขณะที่ 3 และ 6 เท่ากับ 105°ซ

ข. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง

5.3 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิม(Organoleptic test)ข้าวกล้อง-
กึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคั่วด้วยวิธีการชิมแล้วให้คะแนน

ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคจะให้ผู้บริโภคชิมผลิตภัณฑ์
ที่ผ่านการคั่วรูปที่ได้จากการคั่วด้วยคลื่นไมโครเวฟดังกล่าวแล้วในข้อ 5.2.1 โดยใช้อัตราส่วน
ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปต่อน้ำ(น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก)ที่ 100:150 และใช้ระยะเวลาในการคั่วรูป 8
และ 9 นาที สำหรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวตาแห้ง ตามลำดับ
เพื่อให้ผู้ชิมชิมแล้วให้คะแนน จากการทดสอบการยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจาก
การทดลองทั้ง 6 การทดลองในข้อ 5.1 ด้วยผู้ชิมจำนวน 22 คน เมื่อนำคะแนนที่ได้จากการชิมมา
วิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าผู้ชิมให้การยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิ
มากกว่าที่ผลิตจากข้าวกล้องข้าวตาแห้งในทุกคุณลักษณะ โดยข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจาก
ข้าวกล้องหอมมะลิในการทดลองที่ 2 (ตารางที่19) คือ ข้าวกล้องที่ผ่านอุณหภูมิ 100°C แล้วนำมาผ่าน
อุณหภูมิไมโครเวฟ 6 นาที ก่อนการรมด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ
ของไอน้ำ 80°C นาน 10 นาที และผ่านการทำแห้งด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่
2450 MHz เป็นระยะเวลา 18 นาที ได้รับการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด(6.909 คะแนน) ถึงแม้ว่าคะแนน
เฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากการทดลองที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์
ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิเหมือนกันแล้ว จะไม่มีความแตกต่างอย่างนัย-
สำคัญก็ตาม ยกเว้นคุณลักษณะของลักษณะปรากฏ ความนุ่ม และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก
การคั่วรูปซึ่งผลิตภัณฑ์จากการทดลองที่ 2 นี้เมื่อคั่วรูปจะให้ข้าวกล้องที่มีลักษณะปรากฏ ความนุ่ม
และกลิ่น ที่ผู้ชิมให้การยอมรับซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 19 การยอมรับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภคทดสอบด้วยการชิมแล้วให้คะแนน

พันธุ์ข้าว/ การทดลองที่	คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป					
	ลักษณะปรากฏ	การเกาะตัว	ความนุ่ม	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
หอมมะลิ/						
1	7.136 ^a	6.318 ^a	6.182 ^a	6.864 ^a	6.500 ^a	6.727 ^a
2	6.409 ^{ab}	6.772 ^a	6.727 ^b	6.727 ^a	6.681 ^a	6.909 ^a
3	6.136 ^b	6.691 ^a	6.318 ^{ab}	6.455 ^{ab}	6.818 ^a	6.409 ^a
ขาวตาแห้ง/						
4	5.591 ^c	5.591 ^b	5.727 ^c	5.091 ^c	5.091 ^b	4.954 ^b
5	6.590 ^{ab}	5.727 ^b	6.091 ^a	6.273 ^b	5.636 ^b	5.454 ^c
6	6.091 ^b	5.773 ^b	6.273 ^{ab}	6.318 ^{ab}	5.364 ^b	5.591 ^b

หมายเหตุ: ก. อุณหภูมิในอุโมงค์ไอน้ำในการทดลองที่ 1 และ 4 เท่ากับ 95°C, 2 และ 5 เท่ากับ 100°C ในขณะที่ 5 และ 6 เท่ากับ 105°C

ข. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการชิมด้วยผู้ชิม 22 คน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในคุณลักษณะเดียวกัน(ในแนวตั้ง) ที่เหมือนกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการทดลองในข้อ 5.3 หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในภาชนะบรรจุเพื่อการจำหน่ายปลีก

จากการทดลองพบว่า ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในข้อ 5.3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 19) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวกล้องหอมมะลิเป็นวัตถุดิบในการผลิต หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน เมื่อนำมาตรวจสอบปริมาณความชื้น ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (FFA) และทดสอบการชิมโดยใช้วิธีการคั่วรูปที่เหมาะสมจากข้อ 5.2.1 ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น และปริมาณของกรดไขมันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 20) และเมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการชิมโดยเปรียบเทียบกับข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการขัดสีใหม่ ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองที่ 2 โดยเฉพาะในเรื่องของกลิ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น (P) ≤ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 20 ปริมาณความชื้น และกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
(การทดลองที่ 2) ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

องค์ประกอบที่วิเคราะห์	ก่อนเก็บรักษา	หลังการเก็บรักษา 6 เดือน
ความชื้น, %	5.16	6.63
กรดไขมันอิสระ (% as oleic acid)	0.22	0.28

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง

ตารางที่ 21 การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังจากเก็บรักษา 6 เดือน
ที่อุณหภูมิห้อง

คุณลักษณะ	ข้าวกล้องหอมมะลิ	ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป
ลักษณะปรากฏ	5.909 ^a	6.364 ^a
การเกาะตัว	6.636 ^a	6.227 ^a
ความนุ่ม	5.636 ^a	5.682 ^a
กลิ่น	5.682 ^a	7.273 ^b
รสชาติ	6.091 ^a	6.409 ^a
การยอมรับโดยรวม	6.363 ^a	6.818 ^a

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการชิมด้วยผู้ชิม 22 คน และตัวอักษร
ภาษาอังกฤษที่ยกขึ้นท้ายค่าที่แสดงในคุณลักษณะเดียวกัน(ในแนวตั้ง) ที่
เหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

สรุปผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปสามารถผลิตได้โดยการใช้กระบวนการผลิตที่พัฒนาขึ้นโดยกระบวนการผลิตประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการต่างๆตามลำดับดังนี้คือ หน่วยทำความสะอาด หน่วยทำให้ข้าวกล้องเกิดการเจลาติไนส์ หน่วยยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยไฮแอลกอฮอล์ หน่วยการทำแห้ง และ หน่วยการบรรจุ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องไว้ได้อย่างน้อยเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยไม่มีกลิ่นหืน และยังสามารถคืนรูปพร้อมรับประทานได้ภายใน 10 นาที โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิได้รับการยอมรับมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวกล้องที่ผลิตจากข้าวกล้องขาวตาแห้ง ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านหน่วยทำความสะอาด แล้วนำมาทำให้เกิดการเจลาติไนส์ด้วยไอน้ำ บนสายพาน (ความเร็ว 0.5 เมตร/นาที) ในอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วทำให้เกิดการเจลาติไนส์เพิ่มขึ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ในอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตร/นาที เป็นระยะเวลา 6 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวกล้องมีระดับการเจลาติไนส์ (Degree of gelatinization, DG) อยู่ประมาณ 80% และมีความชื้นประมาณ 42% หลังจากนั้นจึงนำมาผ่านหน่วยยับยั้งการไฮโดรไลสไขมันด้วยไฮแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50% ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 10 นาทีและทำแห้งด้วยหน่วยทำแห้งซึ่งใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz ในอุโมงค์ไมโครเวฟที่ความเร็วของสายพาน 0.5 เมตร/นาที เป็นระยะเวลา 18 นาที ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% และมีค่า DG ประมาณ 90% ซึ่งสามารถคืนรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟในเตาไมโครเวฟระดับครัวเรือนที่ความถี่ 2450 MHz (น้ำหนักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำหนักน้ำ เท่ากับ 100:150) หรือ น้ำร้อน (น้ำหนักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ต่อ น้ำหนักน้ำ เท่ากับ 100 : 500) ภายในระยะเวลาไม่เกิน 10 นาทีได้

เอกสารอ้างอิง

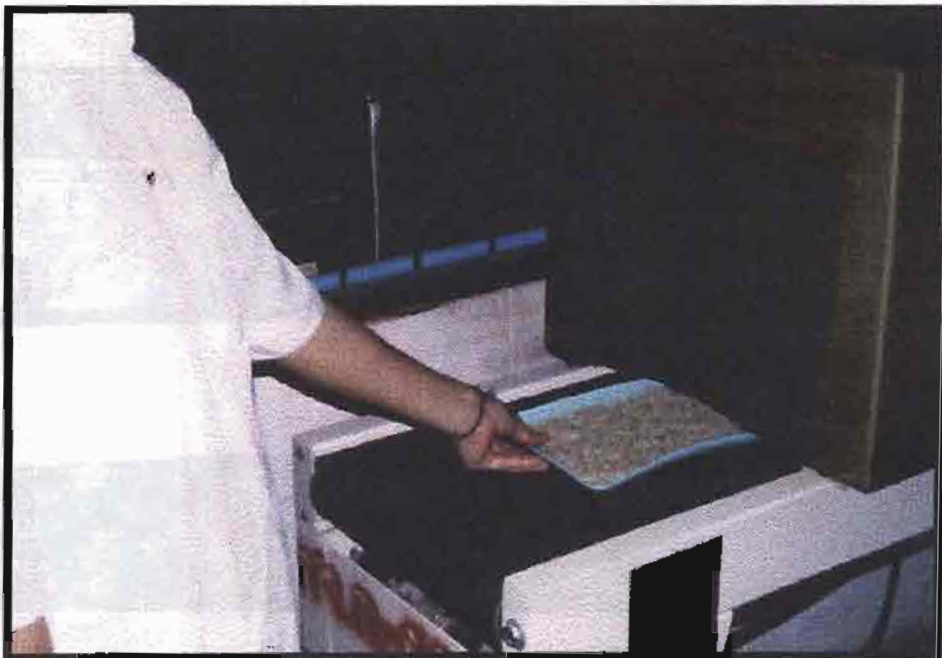
- เทอดศักดิ์ เกียรติสุขเกษม.2536.เปิดตัวสินค้าใหม่เพื่อสุขภาพแบบไทยๆ.Fitness.4(46): 89-92.
- นิรนาม.2535.ผยข้าวไทยสของหองวูปูนแปรรูปเจาะตลาดไมส่นแกดต์.ประชาชาติธุรกิจ.ฉบับประจำวันอาทิตย์ที่ 6-วันพุธที่ 9 กันยายน:หน้า45.
- วุฒิชัย นาครักษา.2535.เทคโนโลยีธัญพืช.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง:198หน้า.
- 2536.ข้าวเหนียวถึงสำเร็จรูป.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง:75หน้า.
- 2537.ข้าวเหนียวถึงสำเร็จรูปเสริมไอโอดีน.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง: 83หน้า.
- ศูนย์พาณิชย์กรรมไทยประจำออสเตรเลีย. สหรัฐ.2534.ฝ่าพงหนามส่งผลิตภัณท์ข้าวไทยดี ห่ายครวอเมริกัน.ประชาชาติธุรกิจฉบับประจำวันอาทิตย์ที่ 12-วันพุธที่ 15 พฤษภาคม: หน้า 5.
- AOAC.1995.Official Method of Analysis.16th edition, edited by Patricia Cuniff.
- The Association of Official Analytical Chemists(AOAC) International, Virginia USA.
- Alexander,W.P.1954.Process of Preparing Quick-Cooking Rice. US-Patent.507,242.
- Atallah,K.and O.Durani.1948.Quick-Cooking Rice and Process.US-Patent 2,438,939.
- Batcher,O.M.; K.F.Helmintoller and E.H.Darson.1956. Developement and Application of Methods for Evaluating Cooking and Eating Quality of Rice. Rice Journal.5(13): 4-8,32.
- Bhaskar G.;P.P.Srivastav and H.Das.1989.Effect of Phosphate and Citrate on Quick-Cooking of Rice. Journal of Food Science and Technology.26(5):286-287.
- Bhattacharya,K.R.and C.M.Sowbhagya.1971.Water Uptake by Rice during Cooking . Cereal Science Today.16(12):420-424.
- Bhattacharya,K.R.;C.M.Sowbhagya and Y.M.I.Swamy.1972. Interrelation between Certain Physicochemical Properties of Rice. Journal of Food Science.37:733-735.
- Birch,G.G. and R.J.Priestley.1973.Degree of Gelatinisation of Cooked Rice. Die Starke. 25(3):98-100.
- Chakrabrathy,T.K. and K.R.Dwarakanath.1980.Studies on Some Aspects of Instantization of Rice. Journal of Food Science and Technology. 17(4):159-161.
- Champange,E.T.;R.J.Horn and G.Abraham.1991.Stabilizing Brown Rice Products by Aqueous Ethanol Extraction.Cereal Chem.68(3):267-271.

- Champagne, E.T. and R.J. Hron. 1992. Stabilizing Brown Rice to Lipolytic Hydrolysis by Ethanol Vapours. *Cereal Chem.* 69(2):152-156.
- Champagne, E.T.; R.J. Hron and G. Abraham. 1993. Stabilizing Unmilled Brown Rice by Ethanol Vapours. US-Patent. 5,209,940.
- Champagne, E.T. 1994. Brown Rice Stabilization. In: *Rice Science and Technology*, ed. by Marshall, W.E. and J. I. Wadsworth. Marcel Dekker, Inc., New York, p.17- 43.
- Cox, J.P. and J.M. Cox. 1975. Process for Preparing Quick-Cooking Rice. US-Patent. 3,879,566.
- Dhaliwal, Y.S.; K.S. Sekhon and H.P.S. Nagi. 1990. Effect of Drying and Storage on the Fatty Acid of Rice. *Journal of Food Science and Technology*. 27(2):107-108.
- Ghosh, A.K. and S. Mukherjee. 1988. Studies on the Development of Methods for Production of Quick Cooking Rice. *Journal of Food Science and Technology*. 25(4):182-185.
- Guraya, H.S. and R.T. Toledo. 1993. Determination Gelatinized Starch in Dry Starchy Product. *Journal of Food Science*. 58(4):888-898.
- Hirokawa, T.; K. Oki; Y. Kumagai and H. Sasaki. 1986. Method for Heat Treating Brown Rice. US-Patent. 4,582,713.
- Juliano, B.O. 1971. A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose. *Cereal Science Today*. 16(10):334-340.
- Juliano, B.O.; C.M. Perez and M. Kaosa-Ard. 1990. Grain Quality Characteristics of Export Rices in Selected Markets. *Cereal Chem.* 67(2):192-197.
- Kester, E.B. 1951. Stabilization of Brown Rice. US-Patent. 2,538,007.
- McCabe, D. 1976. Process for Preparing Quick-Cooking Brown Rice and the Resulting Product. US-Patent. 3,959,515.
- Prabhakara Bhat, B.; T.K. Chakrabarty; V.K. Mathur and B.S. Bhatia. 1973. Studies on Development of Quick-Cooking Rice. *Indian Food Package*:44-45.
- Smith, D.A.; R.M. Rao; J.A. Liuzzo and E. Champagne. 1985. Chemical Treatment and Process Modification for Producing Improved Quick Cooking Rice. *Journal of Food Science* 50:926-931.
- Welby B. 1983. Quick Cooking Rice and Process for Making the Same. US-Patent 4,385,074.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1
หน่วยที่ให้ลมร้อน หรือโมเมนต์ลมร้อน

หน่วยที่ให้ความร้อนด้วยลมร้อนตั้งแต่ 50° - 200° ซ. พร้อมระบบควบคุม และ
ระบายความร้อนซึ่งประกอบอยู่บนสายพาน(กว้าง 30 ซม.Xยาว 2.00 ม.)ทนความร้อนสูงที่
สามารถควบคุมความเร็วของสายพานได้ตั้งแต่ 0-3 เมตรต่อนาที (รูปผนวกที่ 1)

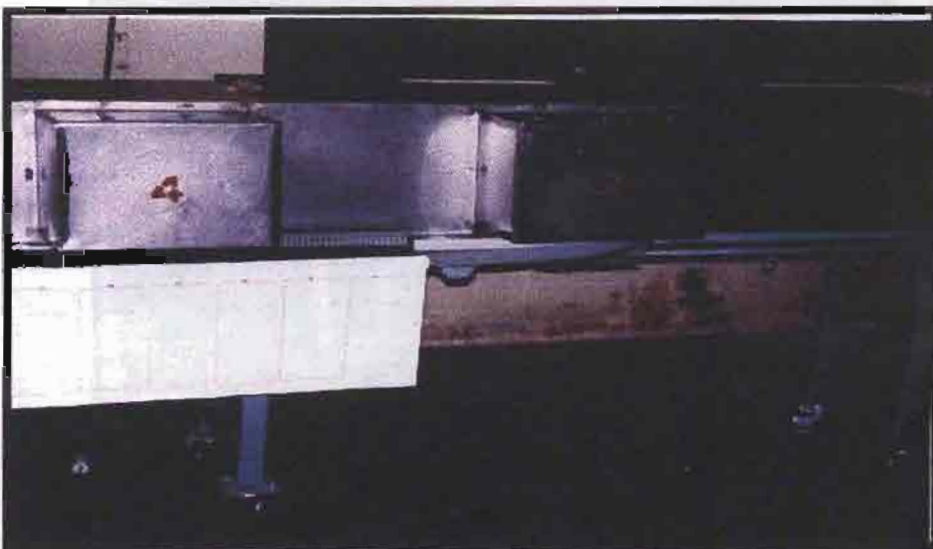
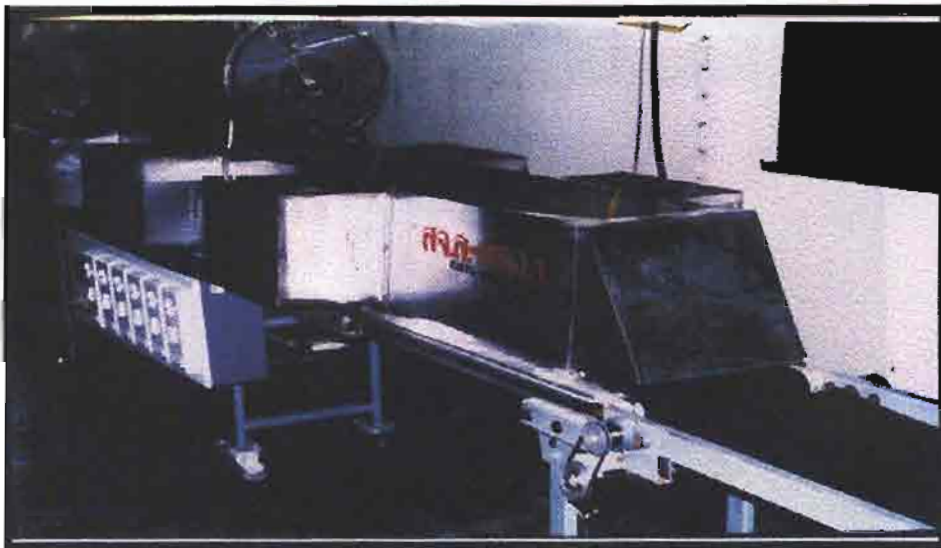


รูปผนวกที่ 1 หน่วยให้ความร้อนแบบลมร้อนพร้อมระบบควบคุม

ภาคผนวกที่ 2

หน่วยให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ หรือ อุโมงค์ไมโครเวฟ

หน่วยที่ให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวช่วงคลื่น 2450 MHz ด้วยแมกนีตรอน 6 หัว ขนาดกำลัง 4.8 กิโลวัตต์ พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 0° - 200° ซ. ที่ตั้งอยู่บนสายพาน(กว้าง 30 ซม.X ยาว3.00 ม.)ทนความร้อนสูงที่สามารถควบคุมความเร็วของสายพานได้ตั้งแต่ 0-3 เมตรต่อนาที ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 60วัตต์ และมีระบบตรวจสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งสามารถควบคุมการปิด-เปิดโดยอาศัยการเคลื่อนที่ผ่านของวัตถุที่อยู่บนสายพานกับเซนเซอร์(sensor) (รูปผนวกที่ 2)

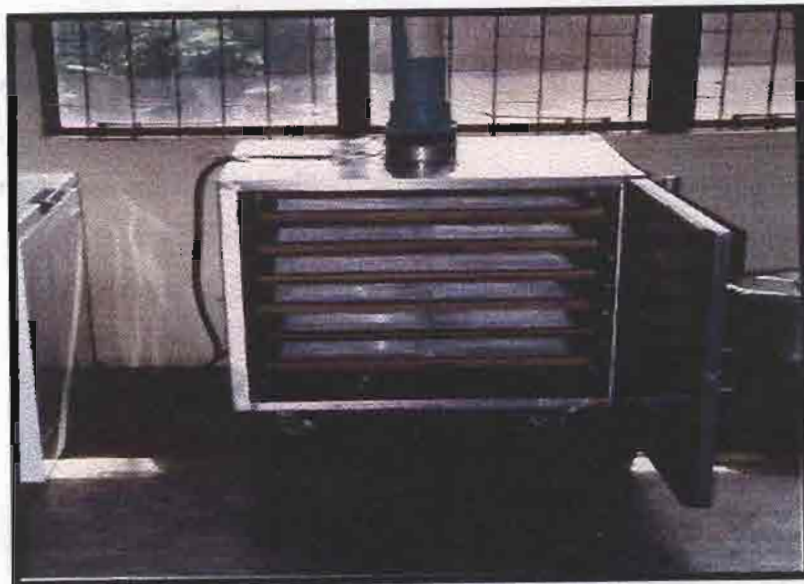


รูปผนวกที่ 2 หน่วยให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟพร้อมระบบควบคุม

ภาคผนวกที่ 3

หน่วยยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันด้วยไอแอลกอฮอล์

หน่วยยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันเป็นอุปกรณ์ยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันด้วย ไอแอลกอฮอล์ ที่มีลักษณะเป็นตู้ (Chamber) (กว้าง 67 ซม. X ยาว 67 ซม. X 76 ซม.) ผนังด้านในทั้งสองด้านซึ่งมีปีกใช้สำหรับสอดวางตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่างในขณะรมด้วยไอแอลกอฮอล์ ตัวตู้ยังประกอบด้วยบานประตูที่สามารถเปิดได้สองด้าน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยถัง และท่อสแตนเลส พร้อมวาล์วเปิด-ปิด และที่วัดอุณหภูมิ และความดันของไอแอลกอฮอล์ที่ได้จากการบีบด้วยลมเข้าสู่ตู้ การบีบลมจะเป็นการเพิ่มความดันให้กับไอแอลกอฮอล์ให้แพร่กระจายไปทั่วตัวตู้ขณะปฏิบัติงาน (รูปผนวกที่ 3)



รูปผนวกที่ 3 อุปกรณ์ยับยั้งการไฮโดรไลส์ไขมันด้วยไอแอลกอฮอล์

ภาคผนวกที่ 4
แบบฟอร์มการชิมข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

วันที่/เดือน/ปี _____ เพศ _____ สัญชาติ _____

รับประทานข้าววันละ _____ มื้อ

โปรดชิม และให้คะแนนคุณลักษณะต่างๆของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง

คุณลักษณะ _____

ลักษณะปรากฏ

การเกาะตัว

ความนุ่ม

กลิ่น

รสชาติ

การยอมรับโดยรวม

หมายเหตุ: 1 การชิมระหว่างตัวอย่างผู้ชิมต้องล้างตัวอย่างเดิมออกจากช่องปากด้วย

น้ำสะอาดที่เตรียมให้ ก่อนที่จะเริ่มชิมตัวอย่างใหม่เสมอ

2 การให้คะแนนจะเป็นการให้คะแนนตามความชอบแบบ Hedonic Scale ตั้งแต่ 1-9

โดย 1=ไม่ชอบมากที่สุด; 9=ชอบมากที่สุด

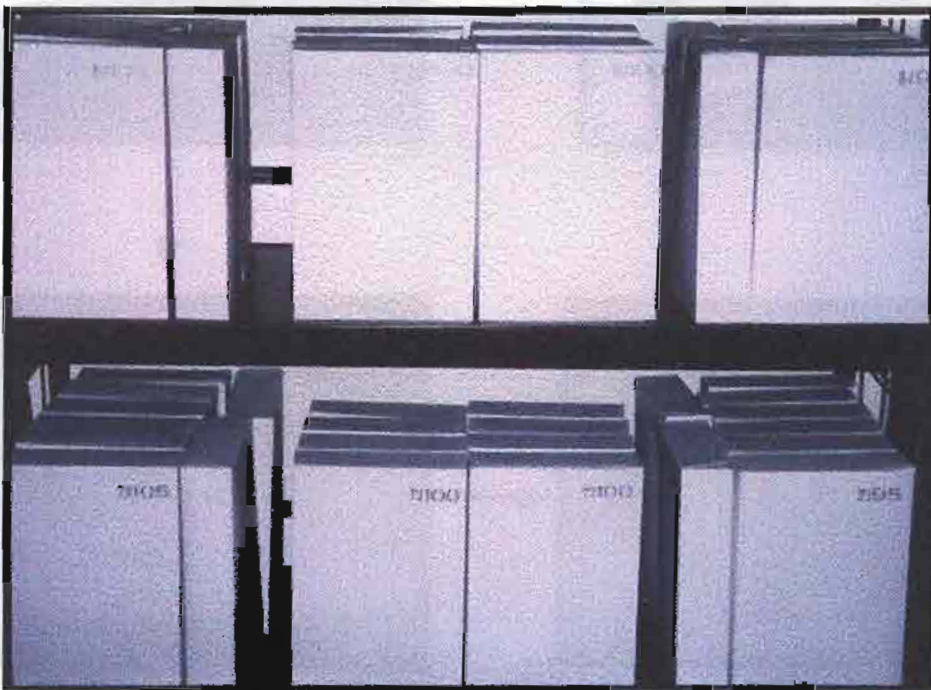
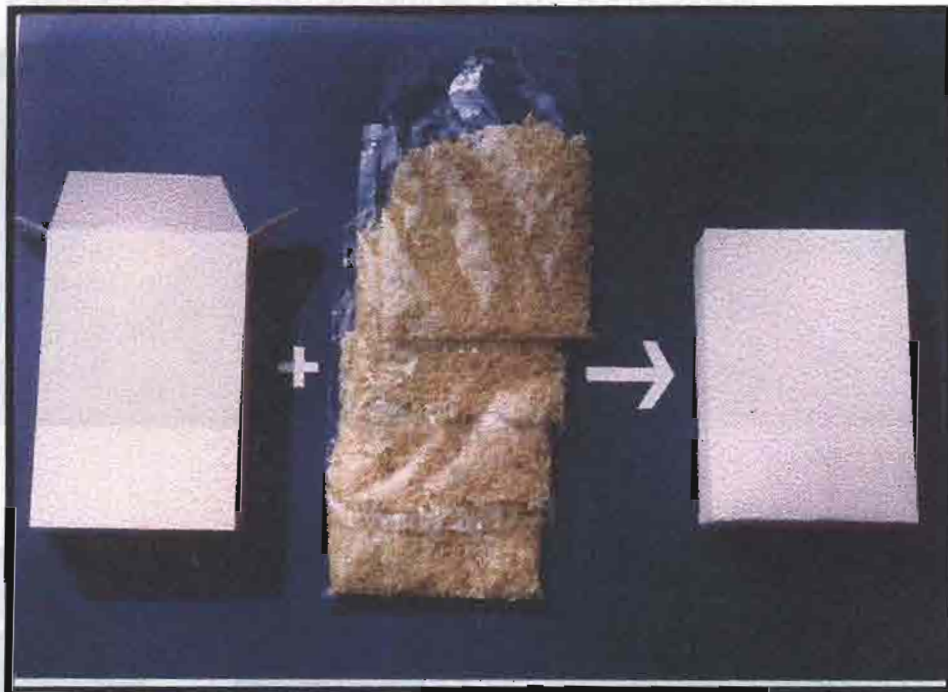
ภาคผนวกที่ 5

ตารางผนวกที่ 1 คุณสมบัติของถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนขนาด 15X22 ซม.บางประการ

คุณสมบัติ	
1 อุณหภูมิในการใช้งาน(Utilization temperature)	
สูงสุด (Maximum temperature, °C)	130°-140°
ต่ำสุด (Minimum temperature, °C)	0°
2 ความหนา(Thickness, ไมครอน)	25-30
3 การยอมให้น้ำซึมผ่าน	8
(Water Vapour Transmission Rate, WVTR; g.0.025mm/m ² .d/24hr 90%RH at 40°C)	
4 การยอมให้ก๊าซซึมผ่าน	2,500
(Gas Transmission Rate, GTR; cc. 0.025mm/cm ³ .d.bar)	

ที่มา:บริษัทสตรองแพ็ค จำกัด

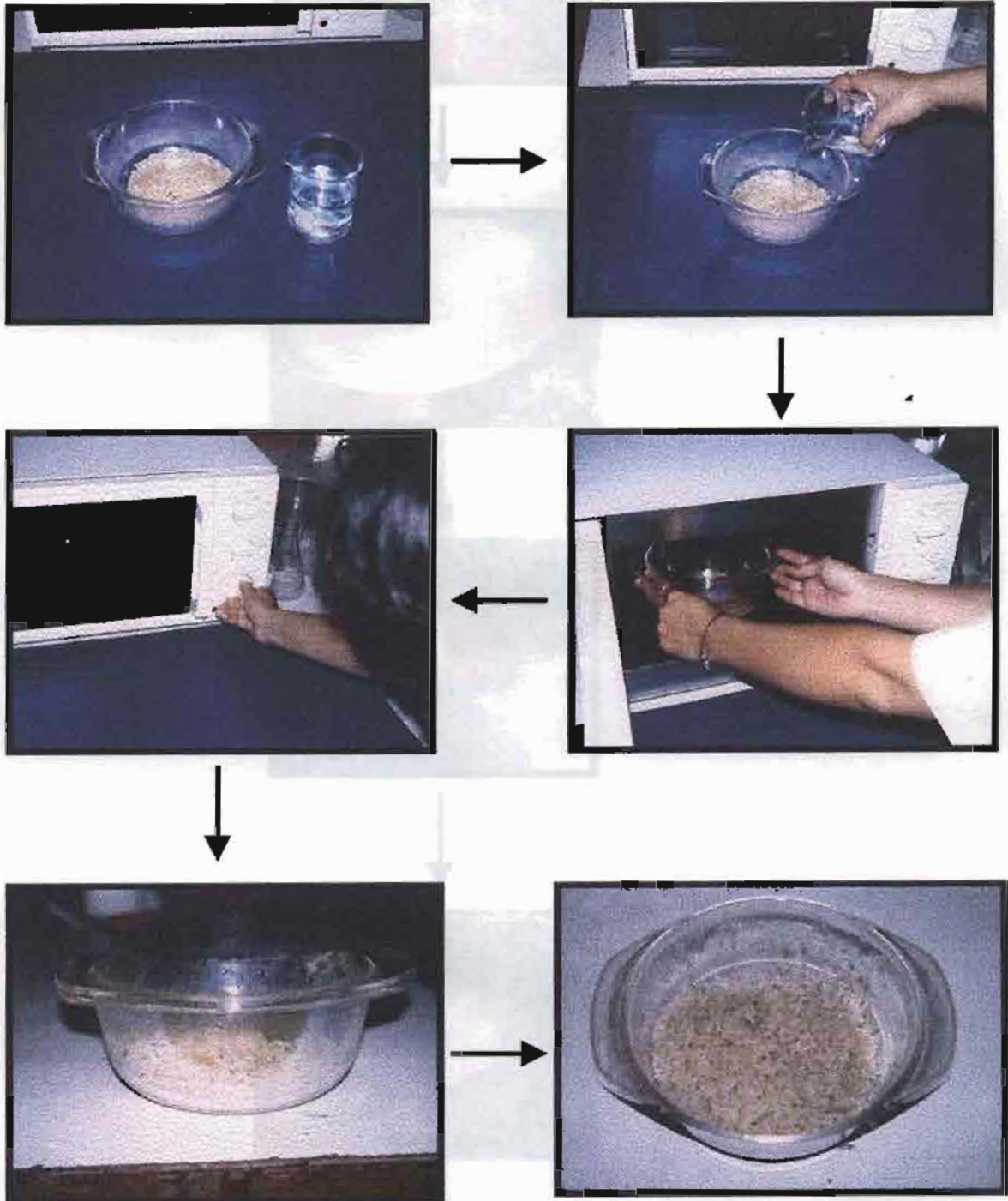
ภาคผนวกที่ 6
การบรรจุผลิตภัณฑ์ เพื่อการเก็บรักษา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง



รูปผนวกที่ 4 การบรรจุ และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวกลั่นกิ่งสำเร็จรูป

ภาคผนวกที่ 7
การคืนรูปผลิตภัณฑ์

การคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟด้วยเตาไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2450 MHz (รูปผนวกที่ 5) และการใช้น้ำร้อน (รูปผนวกที่ 6)



รูปผนวกที่ 5 การคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2450MHz
ไมโครเตาไมโครเวฟ



รูปผนวกที่ 6 การคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่สำเร็จรูปได้ด้วยการใช้น้ำร้อน