

abst

ข้อมูลข่าวสาร วศ.

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กช
อว 15

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

เรื่องที่ 2

เทคโนโลยีการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป
Technology and Processing of Instant Rice

นางสาวขวัญใจ เลاهشวัสดิ์

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

นางวรรณดี บินไชย

นักวิทยาศาสตร์ 5

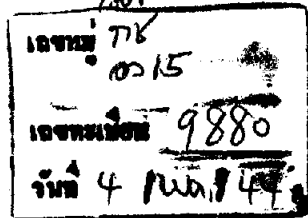
กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 1
กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

เรื่องที่ 2

เทคโนโลยีการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป
Technology and Processing of Instant Rice



นางสาวขวัญใจ เลาสวัสดิ์

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

นางวรรณดี บินไชย

นักวิทยาศาสตร์ 5

ด้วยอภินันทนาการ

จาก

.....

กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 1

กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

ข้าวกล้องสำเร็จรูปผลิตจากข้าวหอมมะลิและข้าวบาสมาดิ ขั้นตอนการผลิตที่สำคัญประกอบด้วย การให้ความร้อนขั้นต้น (preheat) การแช่หรือการทำให้ข้าวเกิดเจล (gelatinized) การทำให้สุก (cooked) และการนำไปทำให้แห้ง (drying) ในการวิจัยศึกษาผลการให้ความร้อนขั้นต้น การใช้สารเคมี อุณหภูมิและปริมาณน้ำในการแช่ (soaking) วิธีการทำให้สุก และการทำให้แห้ง ผลการศึกษาปรากฏว่า ข้าวสารที่ผ่านการให้ความร้อนขั้นต้นจะเกิดรอยร้าวเล็ก ๆ (fissures) ทำให้ลดระยะเวลาในการแช่และการทำให้สุก การแช่ข้าวในสารละลายไตรโซเดียมออกซิฟอสเฟตร้อยละ 0.05 ที่อุณหภูมิ 90 → 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทำให้ข้าวพองตัวดีและเกิดเจล การใช้สารละลายเคมีนี้ทำให้ข้าวมีการดูดซึมน้ำได้ดี การทำให้สุกเป็นการทำให้ข้าวเกิดเจลได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งข้าวหอมมะลิใช้เวลา น้อยกว่าข้าวบาสมาดิ ข้าวหอมมะลิใช้เวลา 3-5 นาที ส่วนข้าวบาสมาดิใช้เวลา 8-10 นาที ปริมาณน้ำที่ใช้แช่และนำไปต้มในขั้นทำให้สุกจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ข้าวหอมมะลิใช้น้ำ 4 เท่า และข้าวบาสมาดิใช้น้ำ 5 เท่าของน้ำหนักข้าวสาร การจุ่มข้าวในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียสทันที มีผลให้เมล็ดข้าวไม่ติดกันและป้องกันข้าวสุกเกินไป การทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (two-stage drying) ให้ผลดีกว่าใช้อุณหภูมิระดับเดียว โดยช่วงแรกใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 30-60 นาที ให้เหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 40 และช่วงหลังใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ได้ข้าวกล้องสำเร็จรูปมีความชื้นประมาณร้อยละ 4-7 การเสริมวิตามินและเกลือแร่ในข้าวกล้องสำเร็จรูปโดยวิธีผสมกับข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินชนิดเข้มข้น (Premix) เป็นวิธีที่ดีมีอัตราการผลิตต่อชั่วโมงสูง ได้ข้าวกล้องสำเร็จรูปมีวิตามิน บี1 ไนอะซิน และธาตุเหล็ก เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.02 0.25 และ 0.29 เป็นร้อยละ 0.9 9.45 และ 0.59 ตามลำดับ

ข้าวหอมมะลิกล้องสำเร็จรูปคิ่่นรูปได้เร็วกว่าและใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าข้าวบาสมาดิกล้องสำเร็จรูป การคิ่่นรูปของข้าวกล้องสำเร็จรูปโดยต้มในน้ำเดือดสามารถคิ่่นรูปได้เร็วกว่าการเติมน้ำเดือด ข้าวกล้องสำเร็จรูปบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนชนิดหนา เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 12 เดือน และเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 15 เดือน เมื่อนำมาคิ่่นรูปลักษณะเนื้อ สี กลิ่น รส ใกล้เคียงข้าวสวยที่หุงตามปกติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	-
สารบัญ	i
สารบัญตาราง	ii
สารบัญแผนผัง	iii
สารบัญภาพ	iv
คำนำ	1
1. บทนำ	1
2. วารสารบริษัทฯ	2
วัตถุประสงค์และวิธีการ	17
ผลการทดลอง	21
วิจารณ์ผล	23
สรุปผล	25
คำขอบคุณ	26
เอกสารอ้างอิง	27
ภาคผนวก	29

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลการดูดซึมน้ำในขณะแช่ และการทำให้สุกของข้าวสารที่ไม่ผ่านการอบ (control) และผ่านการอบ (preheat)	30
2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในขณะแช่และการทำให้สุกของข้าวสารที่ผ่านการอบ ให้อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่างกันคือ 30 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส	31
3 ผลของอุณหภูมิ และเวลาในขณะแช่และการทำให้สุกของข้าวสารที่ผ่านการอบ ให้อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำคงที่ คือ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส	32
4 ผลของการใช้สารเคมี ที่มีต่อลักษณะของข้าวหอมมะลิกิ่งสำเร็จรูป	33
5 ผลการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ระดับเดียว ในการทำแห้ง ข้าวกิ่งสำเร็จรูปที่ผ่านขั้นทำให้สุกแล้ว	34
6 ผลการทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ ในการทำแห้ง ข้าวกิ่งสำเร็จรูปที่ผ่านขั้นทำให้สุกแล้ว	35
7 เปรียบเทียบผลการคืนรูปของข้าวกิ่งสำเร็จรูป และปริมาณน้ำที่เหมาะสม ในการคืนรูปโดยวิธีต่างๆ	36
8 ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารพันธุ์ต่างๆ ซึ่งเก็บตัวอย่างจากตลาด ออกก. กรุงเทพมหานคร	37
9 ผลการทดสอบโดยประสาทสัมผัส ต่อลักษณะต่างๆ ของข้าวหอมมะลิ กิ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูป	38
10 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของข้าวสาร และข้าวกิ่งสำเร็จรูป	39
11 แสดงคุณค่าอาหารของข้าวกิ่งสำเร็จรูป ข้าวกิ่งสำเร็จรูป เสริมวิตามินเข้มข้น ข้าวกิ่งสำเร็จรูปเสริมวิตามินและข้าวซ้อมมือ	40
12 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของข้าวสารเสริมวิตามิน ที่ผลิตโดยบริษัทต่างๆ	41
13 การคิดราคาต้นทุนการผลิตข้าวกิ่งสำเร็จรูป	42

ตารางผนวกที่		หน้า
1	คุณค่าทางอาหารข้าวพรีมิกซ์ ข้าวกล้อง และข้าวเสริมวิตามิน	49
2	ปริมาณวิตามินที่คงอยู่หลังจากหุงต้มข้าวพรีมิกซ์	49
3	คุณค่าทางอาหารในข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเสริมวิตามิน ผสม 1: 200 ของญี่ปุ่น	50
4	มาตรฐานข้าวเสริมวิตามินในสหรัฐอเมริกา	50

สารบัญแนบผัง

แนบผังที่		หน้า
1	แสดงกรรมวิธีผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปและข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามิน	43

แนบภูมิที่

1	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหอมมะลิกล้องสำเร็จรูป ที่ผ่านการคั่วรูป 3 ตัวอย่าง	44
2	ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารพันธุ์ต่างๆ ซึ่งเก็บตัวอย่าง จากตลาด อดก. กรุงเทพมหานคร	45

แนบผังผนวกที่

1	กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินของ Hoffman-La Roche	51
---	---	----

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ข้าวสารที่ใช้ผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป	46
2	ข้าวผ่านการแช่ (soaking) เพื่อให้ข้าวเกิดเจล	46
3	ตู้อบลมร้อน (cabinet dryer) ใช้ในการอบแห้งข้าวกล้องสำเร็จรูป	47
4	ข้าวกล้องสำเร็จรูป	47
5	ข้าวกล้องสำเร็จรูป ซึ่งผ่านการคั้นรูปได้ข้าวมีลักษณะใกล้เคียงข้าวสอยที่หุงโดยวิธีปกติ	48
ภาพผนวกที่		
1	กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินในอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น	52

คำนำ

1. บทนำ

ปัญหาและที่มาของการทดลอง

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย นิยมปลูกกันในเขตที่มีฝนตกเพียงพอ ผลผลิตที่ได้ขึ้นกับดินฟ้าอากาศ ในกลุ่มประเทศที่ใช้ข้าวเป็นอาหารหลัก ได้พยายามนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ผลผลิตข้าวของโลกในปี 2532/33 515.6 ล้านตันข้าวเปลือก และปี 2533/34 548.7 ล้านตันข้าวเปลือก

ในปัจจุบันไทยผลิตข้าวในพื้นที่ประมาณปีละ 64 ล้านไร่ มีทั้งข้าวนาปีและนาปรัง ได้ข้าวประมาณ 20 ล้านตัน ผลผลิตข้าวประมาณร้อยละ 70 ใช้เพื่อบริโภคภายในประเทศ และมีการส่งข้าวเป็นสินค้าออกประมาณ 6 ล้านตันข้าวสาร ไทยมีส่วนแบ่งในตลาดโลกมากที่สุดคือ ร้อยละ 44 รองลงมาได้แก่ สหรัฐอเมริกา มีส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 22 นอกนั้นเป็นประเทศเล็ก ๆ ข้าวที่ไทยส่งออกจะเป็นข้าวคุณภาพดี รสชาติอร่อย เช่น ข้าวหอมมะลิ ข้าวบาสมาดิ และอื่น ๆ ตามที่ตลาดต้องการ ซึ่งมีมูลค่าการผลิตส่งออกปีละไม่ต่ำกว่า 30,000 ล้านบาท ในปัจจุบันการผลิตข้าวของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ประเทศต่าง ๆ ได้นำนโยบายกีดกันการนำเข้ามาใช้ การแข่งขันส่งข้าวเป็นสินค้าออกทวีความรุนแรงขึ้น ในบางครั้งราคาข้าวในตลาดโลกจึงตกต่ำ ประเทศไทยในฐานะปลูกข้าวเป็นพืชหลักจึงได้รับผลกระทบ ดังนั้นการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป (Instant Rice) และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูปชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตย่อมก่อประโยชน์อย่างมาก ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ให้ได้ข้อมูลพื้นฐานและเป็นแนวทางการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป และการศึกษานี้เป็นกิจกรรมหนึ่งในโครงการพัฒนาข้าวของประเทศ โดยความร่วมมือกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อส่งเสริมและเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้น โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์

2. วารสารปริทัศน์

ข้าว มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. ปลูกมากในแถบเอเชียอาคเนย์บริเวณประเทศไทย จีน และอินเดีย ข้าวเป็นธัญพืชที่มีเปลือกหุ้มเมล็ด (covered caryopsis) สายพันธุ์ข้าวมีมากกว่า 14,700 สายพันธุ์(1) ความแตกต่างทางคุณลักษณะของข้าวขึ้นกับการปลูกและการเจริญปริมาณผลผลิตและคุณภาพของข้าวแปรผันตามสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศ

Oryza sativa L. แบ่งออกเป็น 4 sub-species ดังนี้

1. Indica เมล็ดข้าวมีรูปร่างผอมยาว และค่อนข้างแบน อัตราส่วนความยาว : กว้าง เท่ากับ 3.1 - 3.5 : 1
2. Japonica เมล็ดข้าวมีรูปร่างป้อมๆ หนา เมล็ดมีพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างกลมอัตราส่วนความยาว : กว้าง เท่ากับ 1.4 : 1 ถึง 2.9 : 1
3. Brevindica เมล็ดค่อนข้างสั้น มีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร รูปร่างผอมยาว
4. Brevis Gustchin เมล็ดสั้น มีความยาว 4 มิลลิเมตร ด้านกว้างและยาวเกือบเท่ากัน

ข้าวที่ผลิตในสหรัฐมีแนวโน้มผลิตข้าวเมล็ดยาว (Long grain rice) มากกว่าข้าวเมล็ดสั้น (short grain rice) ในปี 1975 มีการผลิตข้าวเมล็ดยาวปริมาณครึ่งหนึ่งของข้าวทั้งหมด ในทางตรงกันข้าม ข้าวที่ชาวญี่ปุ่นปลูกส่วนมากเป็นข้าวเมล็ดสั้นและมีขนาดเล็ก เดิมปลูกพันธุ์ Japonica และในปี 2533 สนับสนุนให้ปลูกพันธุ์ Indica

พันธุ์ข้าวที่ปลูกในไทยเป็นชนิด Indica (2) ข้าวขาวดอกมะลิหรือข้าวหอมมะลิ เป็นพันธุ์ข้าวของไทยที่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม และลักษณะเนื้อนุ่มและเหนียวเมื่อหุงสุก จากการศึกษาพบว่ากลิ่นหอมของข้าวนี้เกิดจากสารประกอบพวกคาร์บอนิก 2-อะเซทิล-ไพโรไลน์ (2 - acetyl - 1 pyroline) ประมาณ 0.004 - 0.006 พีพีเอ็ม เช่น พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ข้าว RD 15 (3)

ข้าวบาสมชาติ เป็นข้าวหอมซึ่งพันธุ์แท้ดั้งเดิมมีถิ่นกำเนิดในประเทศปากีสถาน และอินเดีย มีลักษณะพิเศษคือมีกลิ่นหอมมาก เมื่อหุงสุกเมล็ดข้าวมีลักษณะเหยียดตรง ร่วนไม่เกาะติดกัน ข้าวบาสมชาตินี้นิยมบริโภคในหมู่ชาวมุสลิมและชาวตะวันตกออกกลาง แต่เนื่องจากการผลิตเฉพาะในปากีสถานและอินเดีย ปริมาณการส่งออกจึงไม่เพียงพอกับตลาดโลก ทั้งสองประเทศส่งออกรวมประมาณ 5 - 6 แสนตัน ในขณะที่ตลาดโลกมีความต้องการ 0.80 - 1.20 ล้านตัน ปี 2528 ได้มีการทดลองปลูกข้าวพันธุ์บาสมชาติในไทย ซึ่งได้ผลดีและส่งออกได้บ้างและมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ

คือ จากปริมาณ 285 ตัน มูลค่า 4.33 ล้านบาทในปี 2528 เป็น 9,714 ตัน มูลค่า 179.91 ล้านบาทในปี 2532 ตลาดต่างประเทศที่สำคัญได้แก่ ประเทศดูไบ ซาอุดีอาระเบีย และโอมาน (4)

องค์ประกอบของข้าว ข้าวเปลือกประกอบด้วยแกลบ เยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าวและเอนโดสเปอรัม เมื่อข้าวถูกขัดสีแยกแกลบและรำออก ได้ข้าวสารมีสีขาวและเอนโดสเปอรัม องค์ประกอบของข้าวสารหอมมะลิ ประกอบด้วย ความชื้น ร้อยละ 12 โปรตีนร้อยละ 6.2 ไขมันร้อยละ 1.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 79.8 ไทอะมีน และไรโบฟลาวิน 0.41 และ 0.11 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

กระบวนการสีข้าว ซึ่งเป็นการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร มีผลให้องค์ประกอบสารอาหารในข้าวต่างกันไป ข้าวสารจะมีวิตามินบี1 บี2 ไนอะซิน และธาตุเหล็ก เหลืออยู่น้อยกว่าข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือ

คุณภาพของข้าว จำแนกได้ 3 ลักษณะ ดังนี้ (5)

1. คุณภาพทางกายภาพ เป็นลักษณะที่เห็นได้ง่าย และใช้พิจารณากำหนดมาตรฐานข้าวในการซื้อขาย ได้แก่

1.1 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว วัดเป็นความยาว ความกว้างและความหนา แต่ในมาตรฐานทั่วไปนิยมระบุเป็นความยาวของเมล็ดข้าว ไทยมีการแบ่งชนิดของข้าวตามขนาดเมล็ดออกเป็น 4 ชนิด คือ เมล็ดยาวชั้นที่ 1 เมล็ดยาวชั้นที่ 2 เมล็ดยาวชั้นที่ 3 และเมล็ดสั้น มีขนาดความยาวของเมล็ด ยาวกว่า 7.0 6.6 - 7.0 6.2 - 6.6 และสั้นกว่า 6.2 มิลลิเมตร

มาตรฐานของ FAO ได้มีการแบ่งชนิดของข้าวตามขนาดเมล็ดโดยใช้ค่าความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าว แบ่งชนิดของข้าวเป็น 4 ชนิดคือ ข้าวเมล็ดยาวพิเศษ ข้าวเมล็ดยาว ข้าวเมล็ดปานกลาง และข้าวเมล็ดสั้น โดยมีความยาวเมล็ดข้าว $\geq 80\%$ ของข้าวสารทั้งหมด มีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 7.0 6.0 - 6.99 5.0 - 5.99 และน้อยกว่า 5.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในบางประเทศนำความกว้างของเมล็ดมาประกอบการพิจารณากำหนดมาตรฐานของข้าว โดยกำหนดรูปร่างของเมล็ดข้าว ตามอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด ซึ่งแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้ เมล็ดเรียว (slender) เมล็ดปานกลาง (medium) เมล็ดป้อม โดยอัตราส่วนความยาว : ความกว้าง มากกว่า 3.0 2.1 - 3.0 และน้อยกว่า 2.1 ตามลำดับ แต่มาตรฐานประเทศไทยไม่ระบุรูปร่างเมล็ด เพราะข้าวส่วนใหญ่มีเมล็ดเรียว นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่มีรูปร่างปานกลางจะมีเมล็ดสั้นลง จึงได้กำหนดแต่ความยาวของเมล็ดในมาตรฐานของไทย

1.2 ห้องไข้ (chalkiness) เกิดเนื่องจากแป้งอัดตัวกันไม่แน่นพอทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆ ขึ้น มองดูเป็นจุดทึบขาว หากมีขนาดใหญ่จะทำให้ข้าวหักง่ายในขณะสีข้าว ข้าวที่มีคุณภาพดีจึงควรมีเมล็ดใสมีห้องไข้น้อย

1.3 คุณภาพการสี แสดงปริมาณข้าวสารเต็มเมล็ดที่ได้จากการสีข้าวเปลือก ข้าวที่มีคุณภาพดีได้แก่ ข้าว 100 % ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาว มีปริมาณข้าวหักเล็กน้อย และขนาดข้าวหักเหลือยาวกว่าครึ่งหนึ่งของเมล็ด มีสิ่งเจือปนเล็กน้อย

2. คุณภาพของข้าวสุก ต่างกันไปเนื่องจาก

2.1 ปริมาณอะมิโลส หมายถึง อัตราส่วนระหว่าง อะมิโลสกับอะมิโลเปกติน ซึ่งปริมาณอะมิโลสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้สุก และคุณภาพของข้าวสุก ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงเมื่อนำมาทำให้สุกข้าวสุกที่ได้มีลักษณะร่วนหรือแยกตัวไม่เกาะกัน เนื่องจากปริมาณอะมิโลสในข้าวแต่ละสายพันธุ์ไม่เท่ากัน จึงมีการแบ่งชนิดของข้าวตามปริมาณอะมิโลส ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสดำ (9 - 20 %) ลักษณะข้าวสุกจะนุ่มและเหนียว ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (25-33 %) ลักษณะของข้าวสุกจะแข็งและฟู

พันธุ์ข้าวที่ปลูกในไทย อาจแบ่งกลุ่มตามปริมาณอะมิโลส ดังนี้ (6)

1. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (มากกว่า 25 %) เช่น กข.1 กข.5 และข้าวเหลืองประทิว
2. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (20 - 24 %) เช่น กข.7 และนางมลเอส-4
3. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสดำ (น้อยกว่า 20 %) เช่น กข.15 กข.21 และขาวดอกมะลิ 105

2.2 อุณหภูมิของแป้งสุก (Gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งสุก 90 % หรือพองตัวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิแป้งสุกอย่างไม่ย้อนกลับ (irreversible) อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับเวลาในการทำให้สุกโดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจะใช้เวลาทำให้สุกน้อย มีการแบ่งชนิดของข้าวตามค่าอุณหภูมิแป้งสุก

2.3 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) ในข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากัน อาจได้ข้าวที่หุงแล้วมีลักษณะต่างกันได้ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของอะมิโลส ข้าวที่มีความแข็งเป็นผลมาจาก gel paste แข็ง สำหรับข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกต่ำกว่าจะนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกมาก

2.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio) ข้าวอะมิโลสสูงส่วนใหญ่มีการขึ้นหม้อมากกว่าข้าวอะมิโลสดำ เนื่องจากความร่วนของข้าว แต่ข้าวบางพันธุ์ เช่น บาสมาติ เมล็ดข้าวสามารถขยายตัวขึ้นมากเมื่อหุงสุก มีอัตราการยืดตัวสูงเป็น 2 เท่า ของความยาวของเมล็ดข้าวสาร

3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเนื่องจากการเก็บ

3.1 การเปลี่ยนสีของเมล็ดข้าว ข้าวที่เก็บไว้นานมีสีข้าวออกเหลือง ปัจจัยที่เป็นตัวเร่งคือ ความชื้น และอุณหภูมิสูง

3.2 การเปลี่ยนแปลงกลิ่น ไขมันในเมล็ดข้าวอาจเป็นผลให้เกิดกลิ่นสาบ เนื่องจากมีค่า peroxide carbonyl compound และกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น

3.3 คุณภาพข้าวสุก ข้าวเก่าหุงขึ้นหม้อและดูดซึมน้ำมากกว่าข้าวใหม่ เมล็ดข้าวทนทานต่อการทำลายในระหว่างการทำให้สุก การละลายของแป้งและโปรตีนลดลง เวลาในการทำให้สุกนานขึ้นแม้อุณหภูมิแป้งสุกจะไม่เปลี่ยนแปลง

ข้าวหุงสุกไว (Quick cooking rice) คือข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยต้มในน้ำร้อนหรือใช้ไอน้ำ (steam) เพื่อให้ข้าวเกิดการสุกถึงระดับหนึ่งโดยเกิดการสุกเพียงบางส่วน (partially gelatinized) แล้วทำให้แห้งโดยมีโครงสร้างที่มีรูพรุน (porous structure) เพื่อให้ดูดซึมน้ำกลับได้ง่าย และใช้ระยะเวลาสั้น 10-15 นาที ในการเตรียมก่อนรับประทาน ข้าวหุงสุกไวเริ่มมีการศึกษาพัฒนากรรมวิธีการผลิตในปี 1940 โดย A.K. Qzai-Durrani ซึ่งบริษัท General Foods Corporation ได้นำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรมในปี 1948 ให้ชื่อว่า "Minute rice" ผลิตกันที่ชนิดนี้มีจำหน่ายในสหรัฐอเมริกามากกว่า 45 ปีแล้ว ซึ่งเมื่อประมาณ 15 ปีที่แล้วมียอดจำหน่ายสูงถึง US \$ 50 ล้าน (1) และ (7)

ข้าวถึงลำเร็จรูป (Instant rice) พัฒนาการวิธีการผลิตมาจากข้าวหุงสุกไว โดยในขั้นตอนการทำให้สุกอาจใช้น้ำร้อน หรือไอน้ำ หรือทั้ง 2 วิธี ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการสุกแบบสมบูรณ์ (complete gelatinized or fully gelatinized) และใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 5 นาที ในการเตรียมก่อนรับประทานโดยการเติมน้ำเดือด (7) ข้าวสุกหุงไว หรือข้าวถึงลำสำเร็จรูปที่ดีควรมีลักษณะเมล็ดข้าวแยกไม่เกาะกันเป็นก้อน มี bulk volumn ประมาณ 1.5 - 3 เท่าของข้าวสาร (1) และ (8)

กระบวนการผลิตข้าวสุกหุงไว แบ่งได้ 8 วิธี ดังนี้ (1) และ (8)

1. Soak-boil-steam-dry methods

ในปี 1948 Ozai-Durrani ได้ศึกษากระบวนการผลิตที่พัฒนาไปจากวิธีดั้งเดิม โดยขั้นแรกแช่ข้าวในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งข้าว (ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส) ได้ข้าวมีความชื้นร้อยละ 30 แล้วนำข้าวไปจุ่มในน้ำเดือดนาน 8-10 นาที มีความชื้นร้อยละ 65-70 นำขึ้นและจุ่มในน้ำเย็น 1-2 นาที นำไปตากบนตะแกรงโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลม 200 ฟุต / นาที มีความชื้นสุดท้าย ร้อยละ 8 -14 ในภาวะการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นภายในเมล็ดข้าวระเหยได้ช้ากว่าความชื้นโดยรอบเมล็ดข้าวมีรูปร่างเป็นรูพรุน ที่ผิวภายนอกเมล็ดข้าวแห้งและคงตัวอย่างรวดเร็วช่วยป้องกันการหดตัวและป้องกันความชื้นที่อยู่ภายในระเหยอีกต่อไป การทำแห้งส่วนใหญ่ใช้ 2 ขั้นตอนหรือมากกว่านี้ ซึ่งปกติในช่วงแรกใช้อุณหภูมิสูงและลดอุณหภูมิให้ต่ำลงในช่วงท้าย ได้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตร 2 เท่าของปริมาตรข้าวสาร

ในปี 1952 Roberts ได้พัฒนากระบวนการผลิตโดยขั้นแรกแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปต้มในน้ำ 1-3 นาที ทำให้มีความชื้นร้อยละ 45-55 เนื่องจากควบคุมระยะเวลาที่ใช้ต้มและปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น (moisture-uptake) เป็นผลให้เมล็ดข้าวคงรูปร่าง เมล็ดมีรอยแตกที่ผิวเพียงเล็กน้อย การทำแห้งที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (two-stage drying) คือในช่วงแรกทางการทำแห้งใช้กระแสลมร้อนที่อุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 1 - 3 นาที เพื่อให้ข้าวเกิดเจลด้วยความร้อนสูง ผิวของเมล็ดข้าวแห้งอย่างรวดเร็วและคงความแข็ง ทำให้ภายในเมล็ดเกิดโครงสร้างเป็นรูพรุน และในช่วงท้ายของการทำแห้งใช้กระแสลมร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น ร้อยละ 10 - 15

ปี 1954 Cambell และ Hollis ได้เสนอผลการศึกษาที่ให้ผลคล้ายกันกับ Shuman และ Staley คือข้าวที่ผ่านการอบ (preheat) ทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวเล็กๆ (fissures) จำนวนมาก มีผลให้การแทรกซึมความชื้นเข้าไปในเมล็ดข้าวในขั้นการแช่ (soaking) และการทำให้สุก (cooking) เกิดได้เร็วขึ้น ได้ผลผลิต (yield) และปริมาตรของข้าวถึงสำเร็จรูป (dry volume) เพิ่มขึ้น

ปี 1995 Flynn และ Hollis ได้พัฒนากรรมวิธีโดยให้ข้าวดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิที่เกิดเจล (gelatinized temperature) หรือสูงกว่าในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ได้ความชื้นร้อยละ 25-30 แล้วให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศหรือที่ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพิ่มความชื้นเป็นร้อยละ 30 - 35 แล้วนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 38 - 88 องศาเซลเซียส ได้ความชื้นร้อยละ 60 - 70 นำขึ้น ล้างและทำให้แห้งได้ข้าวที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนมีน้ำหนักเบา การใช้ความดันร่วมกับให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ช่วยให้เมล็ดสร้างดีขึ้น และใช้เวลาในการแช่ครั้งที่สองลดลง

ปี 1956 Ozai-Durrani ได้พัฒนาวิธีผลิตดังนี้

แช่ข้าวในน้ำ มีความชื้น \approx 30 %



ทำให้สุก โดยใช้ไอน้ำที่ความดัน 5-10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 5-15 นาที



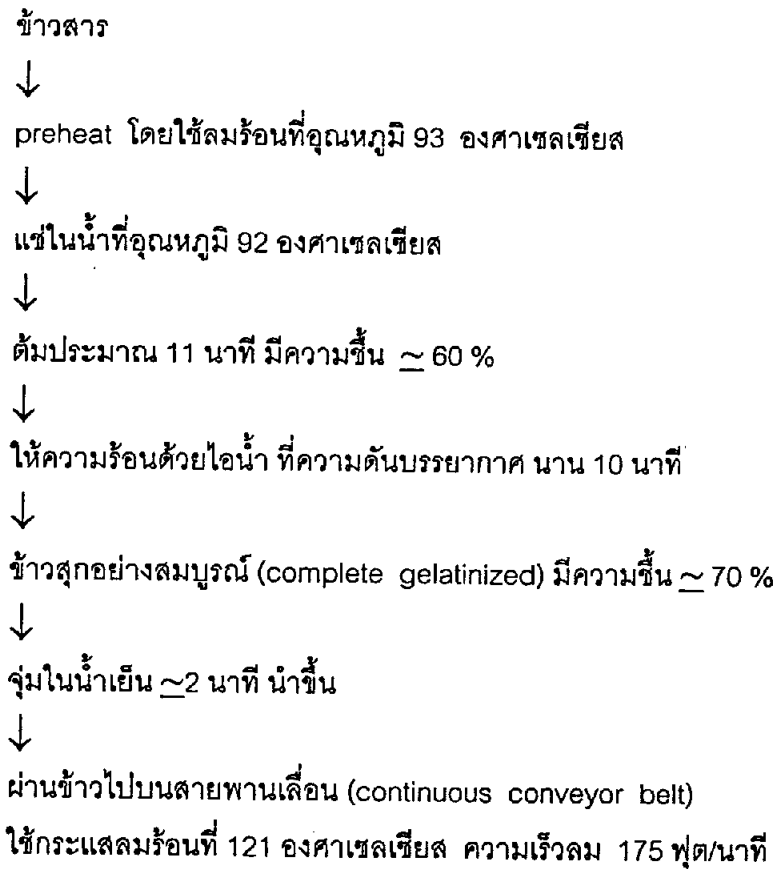
ได้ precooked rice ความชื้น \approx 35 %



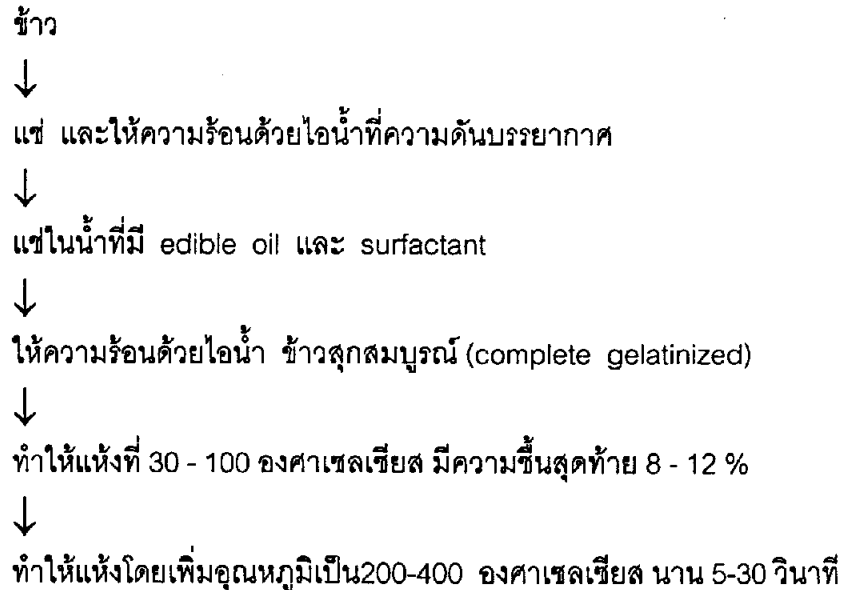
ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความชื้นสุดท้าย 10-14 %

การเตรียมเพื่อบริโภค : ต้ม 5-10 นาที ปิดฝาทิ้งไว้ 10 นาที

ปี 1958 Hollis และ Miller ได้พัฒนากรรมวิธีผลิตโดยนำข้าวมาผ่านการให้ความร้อนขั้นแรก (preheat) ก่อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้เวลาเตรียมก่อนบริโภคเพียง 5 นาที วิธีนี้ใช้ผลิต Minute Rice II ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังนี้



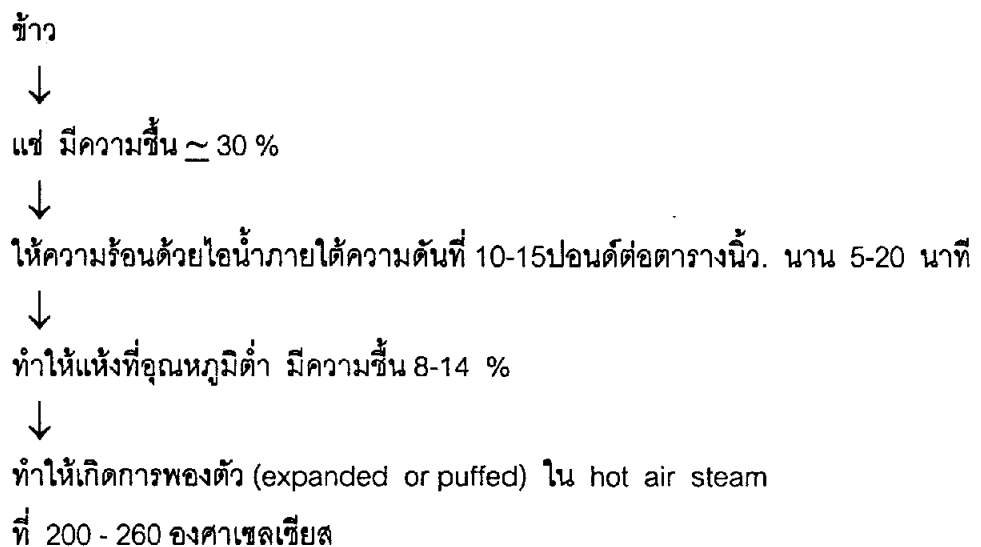
ปี 1971 Yasumalsu และคณะ ใช้ 2 step soak-steam method เพื่อให้แป้งข้าว
เกิดเจล



2. The expanded and pregelatinized rice methods

ปี 1951 มีผู้ศึกษาพบว่าข้าวึ่ง (parboiled rice) ที่ทอดในน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียส หรือใช้กระแสลมร้อนที่ 205 - 260 องศาเซลเซียส ได้ข้าวมีลักษณะพองตัว น้ำหนักเบา กรอบ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนากรรมวิธีข้าวหุงสุกไวโดยนำข้าวที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วน (pregelatinized rice) มาทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงในระยะสั้น ๆ 2 - 3 วินาที ผลิตรสชาติที่ได้ใช้เวลาเตรียมเพื่อบริโภค 1 - 2 นาที โดยวิธีเติมน้ำร้อน

ปี 1955 Roberts ได้พัฒนาวิธีผลิตดังนี้



วิธีของ Roberts นี้ใช้ผลิตข้าวหุงสุกไวจำหน่ายในช่วงต้นๆของ คศ.1960

3. The Rolling or Bumping treatment

การพัฒนากรรมวิธีการผลิตอีกวิธีหนึ่งคือการใช้แรงบีบอัด เพื่อให้ได้พื้นที่หน้าตัดที่บาง (thin cross section)

ข้าวหนึ่ง หรือข้าวที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วน



แช่ในน้ำ



ให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (steam)



pregelatinized rice ความชื้น 40 %



บีบอัด จนเหลือปริมาตร 30 - 80 % ของปริมาตรเดิม



ทำให้แห้ง เหลือความชื้น 10-14 %

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพื่อเกิดโครงสร้างรูพรุน

4. Dry-heat treatment

ข้าวหุงสุกไวที่ผลิตโดยวิธีนี้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว มีผลให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวเล็กๆ (fissures) จำนวนมากมาย และมีความชื้นลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ข้าวไม่ผ่านการแช่ (soak) การให้ความร้อน (boil, steam) และการทำให้แห้ง วิธีนี้ได้มีการผลิตจำหน่ายในสหรัฐ ใช้เวลาเตรียมประมาณ 10 นาทีหุงสุกไวได้ง่ายเนื่องจากความชื้นแทรกซึมได้เร็วขึ้น

ปี 1954 Alexander ได้พัฒนาวิธีผลิตดังนี้

ข้าวสาร ข้าวซ้อมมือ



ดึงความชื้นออก 3 - 4 % โดยใช้กระแสลมร้อนที่ 57 - 82 องศาเซลเซียส

ที่ความเร็วลม 30 - 60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที นาน 10 - 30 นาที

5. The Freeze-thaw process

ปี 1957 Keneaster และ Newlin ได้พัฒนากรรมวิธีผลิตดังนี้

ข้าวสาร (Dry, milled, parboiled rice)
↓
แช่ที่ 27 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง และพบว่า steeping time ลดลงเป็น 1.5 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่

ข้าวสาร(white rice)
↓
แช่ให้มีความชื้น $\approx 70\%$ และเกิดเจล
↓
จุ่มในน้ำเย็น และนำขึ้น
↓
แช่แข็ง และทำให้ละลาย(frozen- thawed)
↓
ทำให้แห้ง

ในการแช่แข็งให้อุณหภูมิของข้าวลดลงถึง 0 องศาเซลเซียส (31-32 องศาฟาเรนไฮต์) และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ นาน 1 - 3 ชั่วโมง ในระหว่างที่เกิดการแข็งตัวข้าว นี้ เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เป็นผลให้โครงสร้างของเม็ดแป้งในข้าวเกิดการแตกแยกได้เป็น porous kernel ทำให้ดูดซึมน้ำได้เร็วเมื่อนำไปคั้นรูป การแช่แข็งนั้นต่อไปจะลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำทั้งหมดในเมล็ดข้าวเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ และนำข้าวที่แข็งตัวนี้ไปทำให้ละลาย (thawed) ภายใต้ภาวะที่ไม่มีการทำแห้งเพื่อป้องกันเมล็ดข้าวติดกัน เช่น ที่อุณหภูมิห้อง หรือใช้กระแสลมอุ่น นานประมาณ 5 ชั่วโมง และนำไปทำให้แห้งโดยใช้กระแสลมร้อนที่ 43-121 องศาเซลเซียส ได้ความชื้น ประมาณร้อยละ 8

6. Gun-Puffing

วิธีนี้มีการลดความดันภายใน steaming chamber (หรือ puffing gun) ที่ปิดสนิท ให้มีความดันต่ำมากๆ เช่น 3.5-7 นิ้วปรอท(in.Hg) หรือต่ำกว่า เพื่อไล่อากาศและก๊าซที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้ออกจากเมล็ดข้าวจากนั้นทำให้สุกโดยไอน้ำ (steam) แล้วลดความดันอย่างรวดเร็วให้ต่ำกว่า 1 นิ้วปรอท เช่น ลดความดันเหลือ 0.1 นิ้วปรอท หลังจากนั้นปรับความดันให้เท่ากับบรรยากาศ เพื่อให้เกิด cold set และนำไปทำให้แห้งให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 แต่วิธีนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการไล่ความดันออกจาก expansion chamber ทำไม่ได้ทันทีขณะที่เมล็ดข้าวถูกป้อนเข้าไป

7. Freeze drying

วิธีนี้ข้าวที่ผ่านการทำให้สุกครั้งแรกนำมาทำให้เย็นจัดที่จุดเยือกแข็ง(0 องศาเซลเซียส) โดยการสัมผัสกับ plate ที่เย็นจัดภายใต้ vacuum chamber หลังจากนั้นทำให้แห้งที่ความดันบรรยากาศ โดยมีการหมุนเวียนลมเย็นที่ไม่มี ความชื้นผ่านข้าว เพื่อลดความชื้นของข้าวขณะที่อยู่สภาพแช่แข็งจนกระทั่งข้าวมีความชื้นร้อยละ 10-20 จากนั้นนำไปเป่าด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150-315 องศาเซลเซียสทำให้เกิดโครงสร้างเป็นรูพรุนในเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวคงรูปเดิมมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 1.5-3.0 เท่าของข้าวดิบ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้น ประมาณร้อยละ 8-14 และนำมาเตรียมโดยต้มในน้ำเดือด 5-10 นาที แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเมล็ดยุบ และมีราคาแพง.

8. Chemical treatment

ในการทำแป้ง (Starch) ในข้าวเกิดเจลด้วยความร้อน ทำให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 70 มีการใช้น้ำร้อน ไอน้ำ(steam) ไฟฟ้า รังสีอินฟราเรด(infrared) หรือไมโครเวฟ ให้ความร้อนกับข้าว นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไวด้วย

ปี 1965 Lewis พบว่าการใช้ sodium chloride มีผลช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวที่สำเร็จรูป โดยแช่ข้าวในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อข้าวเกิดเจลบางส่วนจะมีการดูดซึมโซเดียมคลอไรด์ประมาณร้อยละ 25-100 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทนต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การเตรียมเพื่อบริโภคใช้วิธีต้มในน้ำปริมาณมากเพื่อลดความเค็ม (7)

ปี 1976 Li และคณะ ใช้เอนไซม์ Hemicellulase ที่ 40 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทำให้ผิวนอกเมล็ดข้าวส่วนที่ไม่ถูกขัดสี (unhulled rice) อ่อนนุ่มและหลุดออก ได้ข้าวมีกลิ่นรสดีขึ้น มีการใช้ glycerine fatty acid ester, sorbitan fatty acid ester, propylene glycol และ fatty acid sugar ester สารประกอบเหล่านี้จะไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแป้งในข้าว ช่วยให้ชุ่มน้ำ (wetting) ได้ดี และเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงขึ้น การเติม Fatty acid glyceride powder ปริมาณร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก ทำให้เมล็ดข้าวไม่ติดกันเมื่อผ่านไอน้ำเดือด (steaming) และเพิ่มพื้นที่ผิวในขณะทำแห้ง ปริมาณ surface active agent ที่ใช้ไม่ควรเกินร้อยละ 1 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองในขณะทำให้สุก (7)

สารประกอบขี้เตรต เช่น แมกนีเซียมขี้เตรต โซเดียมขี้เตรต และแคลเซียมขี้เตรต ที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไวจะมีผลไปทำให้โครงสร้างโปรตีนในเมล็ดข้าวมีขนาดเล็กลง ปี 1985 Smith และคณะ ผลิตข้าวหุงสุกไวโดยแช่ข้าวในสารละลายโซเดียมขี้เตรต และแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1 (อัตราส่วน 50:50) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และทำให้สุกโดยหม้ออัดความดัน (autoclave) ที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ทำให้แห้งด้วยวิธี freeze-dried ให้เหลือความชื้นร้อยละ 20 และผ่านเข้าตู้อบลมร้อนให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 12 (9)

ปี 1983 Weibye ศึกษาการผลิตข้าวหุงสุกไวโดยกระบวนการแบบต่อเนื่อง ใช้วิธีผ่านข้าวไปบนสายพาน (conveyor belt) ที่มีการเคลื่อนที่ภายใต้อุโมงค์ปิด (closed chamber) ความหนาของชั้นข้าวประมาณ 3 - 10 มิลลิเมตร ข้าวบนสายพานผ่านการให้ความร้อนโดยพ่นน้ำและไอน้ำเดือด ทำให้ข้าวเกิดเจลอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 87-95 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่พ่นน้ำนาน 5-40 วินาที และพ่นไอน้ำเดือดนาน 0.5-4 นาที ทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มเป็นร้อยละ 52-73 ข้าวที่เกิดเจลนี้เคลื่อนที่บนสายพานเพื่อลดความชื้นครั้งแรกที่อุณหภูมิ 100-140 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2-3 นาที ให้เหลือความชื้นร้อยละ 25-35 จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส นาน 20-30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 10-14 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้วิธีเติมน้ำเดือดและทิ้งไว้ 5 นาที (10)

กรรมวิธีการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่ มี 3 วิธีดังนี้คือ

1. การสร้างเมล็ดข้าวเทียม ปี 1972 Brook ศึกษาใช้แป้งสาลีเป็นตัวจับกับสารอาหาร และให้อยู่เป็นเมล็ดข้าวโดยทั่วไปผสมแป้งสาลีกับแป้งข้าวเจ้าแล้วเติมสารอาหาร นำมานวดให้เป็นโด (dough) แล้วผ่านเครื่องเอ็กทรูเดอร์ (Extruder) ที่ใช้ทำมะกะโรนีและตัดเป็นชิ้นเล็กเท่ากับเมล็ดข้าว จากนั้นนำมาตากแห้งและผสมกับข้าวสารปกติ ข้อเสียเปรียบวิธีนี้คือผู้บริโภคมีกรยอมรับน้อยมากเนื่องจากโปรตีนในแป้งสาลีเกิดเป็นกลูเตนทำให้ข้าวมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับ (11)

2. การเคลือบสารเคมีที่มีคุณค่าทางอาหารบนเมล็ดข้าว

เทคนิคการเคลือบสารอาหารบนผิวเมล็ดข้าว และเคลือบสารป้องกันการสูญเสียวิตามินบนเมล็ดข้าวที่เสริมวิตามินมีหลายวิธีดังนี้

2.1 Hoffman-La Roche process เป็นกระบวนการที่เสริมวิตามินและเกลือแร่ลงบนเมล็ดข้าวสารที่ขัดสีจนขาวโดยเคลือบวิตามินบีหนึ่ง ไนอะซิน และเหล็กฟอสเฟต ส่วนผสมดังกล่าวเรียกว่า ข้าวพรีมิกซ์ โดยทั่วไปวิตามินบีสอง (ไรโบฟลาวิน) ไม่นิยมใช้เคลือบข้าวเพราะทำให้ข้าวมีสีเหลืองและผู้บริโภคไม่ยอมรับ

กระบวนการผลิตของ Hoffman-La Roche process (12) นำข้าวสารใส่ถังผสมรูปทรงกระบอกตั้งตามแนวนอน ภายในมีเกลียวรอบถังช่วยการผสมและปล่อยให้ถึงหมุ่นข้าวๆ จากนั้นพ่นสารละลายวิตามินตามสูตร ดังนี้ ข้าวสาร 454 กรัม ไนอะซิน 8.3 กรัม ไทอะมีน 1.3 กรัม กรดกำมะถัน 4.4 กรัม น้ำ 2.3 กรัม จากนั้นใช้ลมเป่าให้ข้าวแห้งเป็นการเคลือบข้าวชั้นแรก จากนั้นเคลือบสารป้องกันการสูญเสียวิตามิน ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำเย็นแต่ละลายน้ำร้อนที่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย เอทานอล หรือไอโซโพรพานอล เซอีน (zein) กรดไขมัน (palmitic หรือ stearic) และ abietic acid ในปริมาณ 31 ลูกบาศก์เซนติเมตร 4.3 กรัม 3.4 กรัม และ 2.9 กรัม ตามลำดับ และน้ำ 1.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยแบ่งสารเคลือบออกเป็น 2 ส่วน เท่า ๆ กัน แบ่งไว้เคลือบชั้นที่ 2 และชั้นที่ 4 การเคลือบชั้นต่อไปเป็นส่วนผสมของเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต (ไม่ละลายน้ำ) 57.0 กรัม และ talcum powder 85.5 กรัม ส่วนผสมนี้เป็นผงละเอียดใช้ปรมยลงเมล็ดข้าวแล้วเคลือบสารป้องกันนับเป็นชั้นที่สี่ ใช้ลมเป่าให้เมล็ดข้าวแห้ง การผสมข้าวอัตราส่วนข้าวพรีมิกซ์ : ข้าว เท่ากับ 1:199 ได้ข้าวเสริมวิตามินมีคุณค่าทางอาหารดังนี้ คือ ไทอะมีน 2 มิลลิกรัม ไนอะซิน 16 มิลลิกรัม และเหล็ก 13 มิลลิกรัม ต่อ 454 กรัม

2.2 Merck premix process เป็นวิธีผลิตได้เร็ว คิดโดยบริษัท Merck ซึ่งกระทรวงกลาโหมแห่งสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ว่าจ้างการผลิตข้าวเสริมวิตามินชนิดนี้ ในกองทัพของจีนคณะชาติ (ไต้หวัน) ในปี ค.ศ. 1958 การผลิตทำโดยนำข้าวสารใส่ในถังผสมทรงกระบอกวางตามแนวนอนหมุ่นข้าวๆ แล้วพ่นด้วยสารละลายอะซิโตนและน้ำ ซึ่งละลายสารอาหารได้แก่ ไทอะมีน ไนอะซิน เฟอร์ริกออโรฟอสเฟตและเอทิลเซลลูโลส จากนั้นใช้ลมเป่าให้ข้าวแห้ง แล้วเคลือบทับด้วยสารละลายของแอลกอฮอล์กับ confectionery shellac และ talcum powder

2.3 ปรับปรุงวิธี Hoffman-La Roche โดยบริษัท Ricegrower's Co-operative Limited ประเทศออสเตรเลีย (RCL process) มีวิธีผลิตคือ ละลายวิตามินในกรดอ่อนและทำให้เกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตกระจายตัวในสารละลายของวิตามิน จากนั้นนำมาเคลือบบนผิวเมล็ดข้าวสารแล้วทำให้แห้ง ซึ่งวิธีนี้มีขั้นตอนการผลิตง่ายและใช้สารเคมีน้อยกว่าวิธี Hoffman-La Roche ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังแผนผังผนวกที่ 1 ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้หลายเท่า เกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางด้านสี และมีคุณสมบัติทางชีวเคมีใกล้เคียงกับเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน แต่ปัญหาที่พบในการเติมลงในข้าว คือจำเป็นต้องใช้สารเพื่อยึดเกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตไว้บนผิวเมล็ดข้าว ซึ่ง Hoffman-La Roche และ Merck premix process ใช้สารพวกกำมะถันหรือเรซิน วิธี RCL Process ใช้วิธีกระจายสารเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต ในสารละลายกรดเจือจางก่อนแล้วจึงฉีดพ่นลงบนข้าวในถังผสมเพื่อให้กรดเปลี่ยนแปลงที่ผิวเป็นน้ำตาลกลูโคสบนผิวเมล็ดข้าวในช่วงเวลาที่เหมาะสม และดูดซับสารอาหารเข้าไปในเมล็ดข้าวและยึดจับเหล็กไว้ภายใต้ชั้นของน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยของกรดจากนั้นทำให้แห้งแล้วผสมกับข้าวปกติด้วยอัตราส่วน 1:200 วิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่ต้องใช้ตัวทำละลายที่ไวไฟและประหยัดสารเคมี แต่สารที่เคลือบจะหลุดง่ายเมื่อล้างก่อนหุงต้ม (13)

ในปี 1986 Bramall ได้ เสนอแนะว่า การใช้กรดกำมะถันในวิธี Hoffman-La Roche process จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือไฮดรอกซิเลชันอย่างรวดเร็วกับเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตได้เป็นเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งมีสีน้ำตาลบนเมล็ดข้าว จึงควรใช้กรดกำมะถันให้น้อยที่สุดหรือควรเปลี่ยนเป็นกรดอื่นที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับเกลือของเหล็ก เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษาในสภาวะอากาศร้อนชื้นนาน 12 เดือน ข้าวเสริมวิตามินที่ได้จากกระบวนการผลิต RCL process มีคุณค่าทางอาหารดังตารางผนวกที่ 1 ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิห้องข้าวเสริมวิตามินจาก RCL process ไม่มีการเปลี่ยนสีและคุณค่าทางอาหารที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (13)

3. การแช่ข้าว (soaking method) แบบญี่ปุ่นเป็นกระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามิน ซึ่งพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการผลิตข้าวพรีเมียม โดยใช้ออนุพันธ์ของวิตามินบีหนึ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่มีคุณสมบัติทาง biological activity คล้ายกับโทอะมินไฮโดรคลอไรด์ Kawasaki ได้รวบรวมข้อมูลในปี ค.ศ.1961 พบว่า เบนโซอิลโทอะมินไดซัลไฟด์เป็นสารที่มีประโยชน์และเหมาะสมในการเคลือบลงบนผิวของเมล็ดข้าวสารโดยละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติกเจือจางร้อยละ 1.0

ในปี 1962 Mitsuda รายงานว่าอนุพันธุ์ของโทอะมีนหลายชนิดที่นิยมใช้คือโดเบนโซอิลโทอะมีน โทอะมีนโดเมททิลซัลเฟต จากรายงานการค้นคว้าการผลิตข้าวเสริมวิตามินในประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950-1952 เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของข้าวสารที่ขัดสีจนขาว โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายของโทอะมีนในสารละลายของกรด (acid soaking process) วิธีแบบดั้งเดิมจะแช่ในกรดอะซิติก ร้อยละ 1 กับโทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง รินน้ำทิ้งและนำข้าวมาอบไอน้ำเพื่อให้ข้าวเกิดเจลบางส่วนแล้วอบให้ข้าวแห้ง ข้าวที่ได้เรียกว่าพรีมิกซ์ (premix) และผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 : 200 โดยน้ำหนัก Mitsuda ได้พัฒนาเทคนิค double soaking method ซึ่งจะแช่กรดอะมิโนร่วมด้วย 2 ชนิด คือ โลซีน และทรีโอนีน ในสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 1 ซึ่งจะได้อข้าวเสริมวิตามินและโปรตีน (14)

จากภาพผนวกที่ 1 ข้าวแช่ในกรดอะซิติกเจือจางซึ่งมีโดเบนโซอิลโทอะมีน และไรโบฟลาวินละลายอยู่ในสารละลายกรด แช่นาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 - 30 องศาเซลเซียส แล้วอบไอน้ำในช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้แห้งมีความชื้นร้อยละ 14 และนำพรีมิกซ์ผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1:200 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีเหลืองอ่อน (12)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีการและปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป และข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินและเกลือแร่

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางริเริ่มอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูป เป็นการเพิ่มมูลค่าข้าว
2. ส่งเสริมการส่งออกตามโครงการพัฒนาข้าวของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จากการศึกษาได้นำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่
 1. โรงงานโภชนาการเชียรศิริ จำกัด 63/7 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ ข้าวสำหรับทำโจ๊กและข้าวต้ม ตราลูกเต๋า ใช้เวลาการต้มจาก 7 นาที เป็น 3 นาที พร้อมทั้งใช้เป็นวัตถุดิบในการทำข้าวต้มมังสวิรัตจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ช่วยประหยัดพลังงานในการหุงต้มและเพิ่มมูลค่าของข้าว ทำให้เกษตรกรรายข้าวได้ราคาสูงขึ้น
 2. โรงสีข้าวชมรมรักษ์ธรรมชาติ อำเภออุดม จังหวัดยโสธร นำข้าวปลายมาเพิ่มมูลค่าทำเป็นข้าวต้มและข้าวต้มสำหรับทำโจ๊กในเวลา 3 นาที
 3. แสดงนิทรรศการผลิตภัณฑ์ข้าวในงานมหกรรมข้าว ณ ศูนย์การค้าเซ็นทรัลพลาซาลาดพร้าว กรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 13-16 พฤษภาคม 2535 ซึ่งได้มีผู้สนใจนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ระยะเวลาดำเนินการ

การศึกษาเรื่องเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปนี้ เป็นการศึกษาวิธีการและปัจจัยในการผลิตโดยใช้ข้าวหอมมะลิและข้าวบาสมาดิ เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นข้าวกล้องสำเร็จรูป หรือข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินและเกลือแร่ เพื่อเป็นแนวทางริเริ่มการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ตลอดจนเผยแพร่แก่ผู้เกี่ยวข้องทั้งภาคราชการและเอกชน ใช้เวลาในการดำเนินงาน 18 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2534 ถึงเดือนมีนาคม 2536 ณ ห้องปฏิบัติการฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- ข้าวหอมมะลิ
- ข้าวบาสมาดิ
- วัตถุดิบซื้อจากตลาดในกรุงเทพมหานคร

2. สารเคมี

- โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (Sodium acid pyrophosphate)
- ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต (Tri-sodium orthophosphate)
- โซเดียมซิเตรต (Sodium citrate)
- แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride)

3. สารเสริมคุณค่าอาหาร

- วิตามินบี 1 (Thiamine hydrochloride)
- ไนอะซิน (Niacin)
- ธาตุเหล็ก (Ferric pyrophosphate)

4. เครื่องมือในการผลิต

- ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า (Cabinet dryer)
- เครื่องชั่ง
- เทอร์โมมิเตอร์
- ตะแกรงเบอร์ 8
- ภาชนะในการหุงต้ม
- เครื่องผนึกถุงแบบสุญญากาศ (Vacuum packing machine)

5. เครื่องมือในการวิเคราะห์

- เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture - tester)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)
- เครื่องวัดค่าการเรืองแสง (Spectrofluorometer)
- อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์

ขั้นตอนการทดลอง

1. ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปและข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามิน เกลือแร่
2. ศึกษาการคืนรูปข้าวกล้องสำเร็จรูป
3. ตรวจสอบคุณภาพข้าวและข้าวกล้องสำเร็จรูป

วิธีการทดลอง

1. การผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปและเสริมวิตามินเกลือแร่ในข้าวกล้องสำเร็จรูป

นำข้าวสารหอมมะลิและข้าวบาสมาดีมาทำความสะอาด โดยร้อนผ่านตะแกรงและแยกสิ่งเจือปนออกให้หมด

- 1.1 ศึกษาผลการให้ความร้อนขั้นต้นแก่ข้าวสารก่อนนำไปแช่

ใช้ข้าวสารที่ผ่านการให้ความร้อนขั้นต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ต้มให้สุก เปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำโดยคำนวณเป็นปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น (% Moisture uptake)

- 1.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่

ใช้ข้าวสารที่ผ่านการให้ความร้อนขั้นต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที โดยเริ่มต้นจากข้าวสารอย่างละ 100 กรัม และใช้น้ำ 8 เท่าของน้ำหนักข้าวสาร

- 1.2.1 ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่างกัน

แช่ข้าวที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่างกัน โดยแช่ข้าวที่อุณหภูมิของน้ำที่ 30 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส ในภาชนะขนาด 2 ลิตร นาน 30 นาที เปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำ โดยคำนวณเป็นปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบลักษณะการพองตัวและการเกิดเจลของเมล็ดข้าว

- 1.2.2 ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิของน้ำคงที่

แช่ข้าวที่อุณหภูมิของน้ำคงที่ โดยแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในอ่างสแตนเลสของอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (water bath) และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาที่แช่นาน 30 นาที เปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำโดยคำนวณเป็นปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบลักษณะการพองตัวและการเกิดเจลของเมล็ดข้าว

นำข้าวที่ได้จากการแช่ในข้อ 1.2.1 และ 1.2.2 ต้มให้สุก ตรวจสอบลักษณะเมล็ดข้าว

1.3 ศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการแช่ข้าวและทำให้สุก

ใช้ข้าวสารที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในปริมาณต่างกัน เช่น 100 400 และ 1500 กรัม แช่ข้าวที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80-90 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาที และนำไปทำให้สุก ศึกษาหาระยะเวลาที่แช่ และปริมาณน้ำที่เหมาะสม

1.4 ศึกษาผลการใช้สารเคมีในการแช่ข้าวและทำให้สุก

1.4.1 แช่ข้าวในสารละลายไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟตร้อยละ 0.3 0.2 0.1 และ 0.05

1.4.2 แช่ข้าวในสารละลายโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตร้อยละ 0.1 และ 0.05

1.4.3 แช่ข้าวในสารละลายโซเดียมซิเตรตร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5

1.4.4 แช่ข้าวในสารละลายแล็คโทสร้อยละ 0.5 และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตร้อยละ 0.5

1.4.5 แช่ข้าวในน้ำเดือด แล้วต้มในสารละลายไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟตหรือโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตร้อยละ 0.05 หรือแล็คโทสร้อยละ 0.05 ผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตร้อยละ 0.05

1.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการทำให้ข้าวแห้ง

1.5.1 ศึกษาผลการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างที่ระดับเดียว

นำข้าวที่ผ่านการทำให้สุก ทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างที่ระดับเดียวคือ 100 และ 120 องศาเซลเซียส

1.5.2 ศึกษาผลการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ

นำข้าวที่ผ่านการทำให้สุก ทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับคือ ในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และช่วงที่สองที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ศึกษาเปรียบเทียบผลในข้อ 1.5.1 และ 1.5.2 เกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ข้าวแห้งและความชื้นและลักษณะเมล็ดข้าว

1.6 ศึกษาการเสริมวิตามินเกลือแร่ในข้าวกล้องสำเร็จรูป

นำข้าวกล้องสำเร็จรูปทำเป็นข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินเกลือแร่เข้มข้น โดยเติมวิตามินบี 1 และไนอะซินที่ละลายในกรดอะซิติกเจือจางร้อยละ 1.0 และเคลือบด้วยธาตุเหล็กผสมทัลคัม

นำข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินเกลือแร่เข้มข้น ผสมข้าวกล้องสำเร็จรูปในอัตราส่วน 1:99

2. การคืนรูปข้าวกล้องสำเร็จรูป

ศึกษาการคืนรูปข้าวกล้องสำเร็จรูป เปรียบเทียบลักษณะการดูดซึมน้ำและเวลาที่ใช้ในการคืนรูปใช้ข้าวกล้องสำเร็จรูปต่อปริมาณน้ำ ในอัตราต่างๆกันคือ 1 : 2.5 1 : 2.0 1 : 1.8 และ 1 : 1.6 โดยแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แช่ข้าวในน้ำเดือด และต้มข้าวในน้ำเดือด

3. การตรวจสอบคุณภาพ

3.1 ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์โดยการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อ และการยอมรับข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ผ่านการคั่วแล้ว ใช้ผู้ชิม 10 คน ให้คะแนนตามลำดับความชอบคือ 1=ไม่ชอบมาก 2=ไม่ชอบ 3=เฉยๆ 4=ชอบ 5=ชอบมาก

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในแต่ละลักษณะที่ทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง โดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) และใส่อักษรร่วมเหมือนกันเช่น a, b, c, d, e, และ f ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติที่ระดับร้อยละ 5

3.2 วิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร ตามวิธีของ AOAC 1990

ผลการทดลอง

การให้ความร้อนขั้นต้นแก่ข้าวสารก่อนการแช่โดยนำไปอบในตู้อบลมร้อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที พบว่ามีผลทำให้ใช้เวลาในการทำให้สุกสั้นลง การให้ความร้อนขั้นต้นแก่ข้าวสารดังกล่าวมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของข้าวก่อนแช่ลดลงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 2-3 (ตารางที่ 1)

การแช่น้ำที่อุณหภูมิสูง 80-90 องศาเซลเซียส ให้ผลดีกว่าแช่ที่อุณหภูมิ 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2 และ 3)

การแช่ในสารละลายไตรโซเดียมอโรฟอสเฟตร้อยละ 0.3 0.2 และ 0.1 ทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลืองผิดปกติ ส่วนข้าวที่แช่ในสารละลายดังกล่าวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ให้ผลดีทำให้การดูดซึมน้ำดี และเมล็ดข้าวมีสี กลิ่น รส ปกติเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม แต่ข้าวที่แช่ในสารละลายโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต ให้ผลไม่ดีเมล็ดข้าวมีสีขาวผิดปกติซึ่งผู้ชิมไม่ยอมรับ (ตารางที่ 4 และ 9)

เวลาและปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่ ขึ้นกับปริมาณข้าวสารและพันธุ์ข้าว ถ้าข้าวสารปริมาณ 100 กรัม จะใช้น้ำ 8-10 เท่า ใช้เวลาแช่นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ได้เมล็ดข้าวลักษณะดี เมล็ดไม่แตกหัก ถ้าเพิ่มข้าวสารเป็น 1,500 กรัม จะลดเวลาแช่เป็น 15 นาที ข้าวหอมมะลิใช้น้ำประมาณ 4 เท่า ส่วนข้าวบาสมาดิใช้น้ำประมาณ 5 เท่า การทำให้สุกต้มข้าวในสารละลายไตรโซเดียมอโรฟอสเฟตร้อยละ 0.05 (สารละลายเดิมที่ใช้แช่) เริ่มต้นจากข้าวสาร 1500 กรัม ข้าวหอมมะลิใช้เวลาต้ม 3-5 นาที ส่วนข้าวบาสมาดิใช้เวลาต้ม 8-10 นาที นำข้าวขึ้นจากน้ำที่ใช้ต้มและทำให้เย็นทันทีโดยจุ่มในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที (ตารางที่ 1)

การทำให้ข้าวแห้ง โดยตากข้าวในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิเดียวตลอดให้ผลไม่ดี ทั้งนี้พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวแห้งช้า ส่วนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานทำให้ข้าวมีสีเหลือง (ตารางที่ 5) การตากโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (two-stage drying) ทำให้ข้าวแห้งเร็วขึ้น พบว่าในช่วงแรกควรให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 30-60 นาที จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 40 (ตารางที่ 6) และในช่วงที่ 2 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูปที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 4-7

การเสริมวิตามินเกลือแร่ในข้าวกล้องสำเร็จรูป โดยวิธีเติมวิตามินบี 1 ไทอะมิน ที่ละลายในกรดอะซิติกเจือจางร้อยละ 1.0 แล้วเคลือบด้วยธาตุเหล็กผสมทาลคัม พบว่าได้ข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามิน มีสี กลิ่น รส ดีกว่าตัวอย่างข้าวที่เคลือบวิตามินเกลือแร่ซึ่งละลายในแอลกอฮอล์

การคืนรูปข้าวกล้องสำเร็จรูป พบว่าวิธีที่เหมาะสมคือ การเติมน้ำเดือดในปริมาณ 1.8-2 เท่า (โดยน้ำหนัก) ปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จะได้ข้าวที่พร้อมรับประทาน การคืนรูปโดยวิธีต้มในน้ำเดือดจะใช้เวลาเตรียมเพียง 4-6 นาที พบว่าข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิ ใช้ปริมาณน้ำในการคืนรูปน้อยกว่าข้าวบาสมาลีเล็กน้อยและสามารถคืนรูปได้เร็วกว่า (ตารางที่ 7) ข้าวที่ได้จากการคืนรูปโดยวิธีเติมน้ำร้อนหรือต้มในน้ำเดือดมีลักษณะเนื้อ สี กลิ่น รส ปกติและมีลักษณะปรากฏใกล้เคียงข้าวสวยร้อนๆ ที่หุงโดยวิธีปกติ และเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม

การทดสอบโดยประสาทสัมผัสต่อลักษณะสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อ การยอมรับและคะแนนรวมเฉลี่ยของข้าวกล้องสำเร็จรูป 3 ตัวอย่าง คือ ไม่ใช้สารเคมี ใช้ไตรโซเดียมออกซิฟอสเฟตและโซเดียมแอสซิไดโฟสเฟต พบว่าคุณลักษณะที่ทดสอบดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ผู้ชิมให้การยอมรับให้คะแนนรวมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ใช้ไตรโซเดียมออกซิฟอสเฟตสูงกว่าอีก 2 ตัวอย่าง (ตารางที่ 9) จากการทดลองทั้งหมดจึงได้กรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปดังแผนภูมิที่ 1

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องสำเร็จรูปเปรียบเทียบกับข้าวสาร (ตารางที่ 10) พบว่าข้าวกล้องสำเร็จรูปมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 1 ในอะซินและไขมัน การเสริมวิตามินและธาตุเหล็กทำให้ได้ข้าวกล้องสำเร็จรูปที่มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นโดยมีวิตามินบี 1 ในอะซิน และธาตุเหล็ก ในปริมาณ 0.9 9.45 และ 0.59 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 11)

ข้าวกล้องสำเร็จรูปเมื่อเก็บในถุงโพลีเอทิลีนชนิดหนาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 15 เดือน พบว่าเมื่อคืนรูปยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม แต่ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) นาน 1 ปี เริ่มมีกลิ่นหืนและผู้ชิมไม่ยอมรับ

วิจารณ์ผล

การให้ความร้อนขั้นต้นแก่ข้าวสารโดยนำไปอบในตู้อบลมร้อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทำให้เมล็ดข้าวสารเกิดรอยร้าวเล็กๆ เห็นได้โดยใช้แว่นขยายซึ่งมีผลทำให้การดูดซึมน้ำในขณะแช่และทำให้สุกเร็วขึ้นมากกว่าข้าวสารที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนขั้นต้น และปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น (% moisture uptake) สูงกว่า

การแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิสูง 80-90 องศาเซลเซียส ได้เมล็ดข้าวลักษณะดี เมล็ดไม่แตกหักเพราะอุณหภูมิสูงทำให้เมล็ดข้าวเกิดเจลพองตัวได้ดี และเมล็ดข้าวไม่หัก การแช่ข้าวในสารละลายไตรโซเดียมออกซิฟอสเฟตร้อยละ 0.05 มีผลทำให้ข้าวดูดซึมน้ำได้ดี เพราะสารเคมีในกลุ่มฟอสเฟตนี้มีคุณสมบัติเพิ่มความสามารถในการจับน้ำ

เวลาและปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่จะขึ้นอยู่กับปริมาณข้าวสารและพันธุ์ข้าว ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ เช่น ข้าวหอมมะลิ ใช้น้ำในการแช่น้อยกว่าข้าวบาสมาติ และในการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ต้มข้าวให้สุกนอกจากจะขึ้นกับพันธุ์ข้าวแล้วยังขึ้นกับอายุการเก็บของข้าว (ข้าวเก่า ข้าวใหม่) การทำให้ข้าวสุกเย็นทันทีที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที จะช่วยรักษาคุณภาพของข้าวไม่ให้เละหรือสุกเกินไป (over cooked) และช่วยให้เมล็ดข้าวไม่ติดกันหลังตากแห้ง

การทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (two-stage drying) ช่วงแรกอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และช่วงหลัง 100 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ทำให้ข้าวถึงสำเร็จรูปแห้งได้เร็ว และได้เมล็ดข้าวที่ขาวปกติ ทั้งนี้เพราะช่วงแรกข้าวมีความชื้นสูงสามารถใช้อุณหภูมิถึง 120 องศาเซลเซียสได้ แต่ในช่วงท้ายหลังจากที่ข้าวมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 40 ควรใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำลงเหลือ 100 องศาเซลเซียส จะได้ผลดีกว่าการตากข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส คงที่ตลอดเพราะมีผลทำให้ข้าวมีสีเหลืองได้

การเติมวิตามินเกลือแร่ชนิดเข้มข้นโดยทำเป็นข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินเกลือแร่ชนิดเข้มข้น (premix) พบว่าเป็นวิธีที่ดีเพราะมีอัตราการผลิตต่อชั่วโมงสูง ในการเตรียมข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินทำได้ง่ายและประหยัดเวลา โดยนำข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินเกลือแร่ชนิดเข้มข้นผสมข้าวกล้องสำเร็จรูปในอัตราส่วนที่ต้องการ (อัตราส่วน 1:99)

การคืนรูปข้าวกล้องสำเร็จรูปที่เหมาะสมคือการเติมน้ำเดือด แต่ในภาวะฉุกเฉินอาจคืนรูปโดยวิธีเติมน้ำสะอาดและตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับเป็นเสบียงยังชีพ หรือในภาวะที่ขาดแคลนอุปกรณ์ในการหุงต้ม ข้าวหอมมะลิมิอัตราการคืนรูปเร็วกว่าเนื่องจากเป็นข้าวพันธุ์ที่

มีปริมาณ อะมิโลสต่ำคือประมาณ ร้อยละ 13.4-14.4 (ตารางที่ 8) ทำให้ดูดซึมน้ำได้เร็วและมีความสามารถในการพองตัวดีกว่าข้าวบาสมาดิ ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสประมาณร้อยละ 20.5-23.4

ข้าวกล้องสำเร็จรูปมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารที่สำคัญได้แก่ วิตามินบี 1 และไนอะซิน ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินดังกล่าวเป็นชนิดที่ละลายน้ำได้ จึงสูญเสียในระหว่างกรรมวิธีการผลิต การเสริมวิตามินและธาตุเหล็กทำให้ข้าวกล้องสำเร็จรูปมีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น โดยมีวิตามินบี 1 ไนอะซิน และธาตุเหล็ก ในปริมาณ 0.9 9.45 และ 0.59 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

การเก็บข้าวกล้องสำเร็จรูปที่อุณหภูมิห้องเย็น (10 องศาเซลเซียส) ทำให้ยืดอายุการเก็บเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง เพราะอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของข้าว

สรุปผล

การผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิและข้าวบาสุมาติ ประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตที่สำคัญคือ การให้ความร้อนขั้นต้น การแช่ การทำให้สุกและการทำให้แห้ง การให้ความร้อนขั้นต้น โดยอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 15 นาที มีผลทำให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำได้ดี และใช้ระยะเวลาสั้นในการทำให้สุก การแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูง 90→70 องศาเซลเซียส ในสารละลายไตรโซเดียมออกซิฟอสเฟตร้อยละ 0.05 ทำให้เมล็ดข้าวเกิดเจล มีลักษณะคงรูปไม่แตกหัก การทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ ช่วงแรกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และช่วงหลังจากที่ข้าวมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 40 ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ให้ผลดีกว่าใช้ความร้อนที่อุณหภูมิระดับเดียวที่ 100 องศาเซลเซียส หรือ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวแห้งข้าวหรือมีสีเหลือง ตามลำดับ ข้าวหอมมะลิกล้องสำเร็จรูปคั้นรูปได้เร็วกว่าข้าวบาสุมาติ การคั้นรูปโดยวิธีต้มในน้ำเดือด หรือเติมน้ำเดือดใช้ระยะเวลาสั้นในการคั้นรูป และได้ข้าวมีลักษณะเนื้อ สี กลิ่น รส ใกล้เคียงข้าวสวยที่หุงตามปกติ

การเสริมวิตามินและธาตุเหล็กในข้าวกล้องสำเร็จรูป โดยวิธีเตรียมข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินเข้มข้น แล้วนำไปผสมกับข้าวกล้องสำเร็จรูป ทำให้สะดวก และมีอัตราการผลิตต่อชั่วโมงสูง ข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ผลิตได้ เก็บในถุงโพลีเอทิลีนชนิดหนา ที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 เดือน และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 15 เดือน ยังเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกอง และ หัวหน้ากลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 1 กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

1. Luh, B.S. , R.L. Roberts and Chin - Fung Li. 1980. Quick - cooking rice , pp.566 - 584. In B.S. Luh (ed). Rice : Production and Utilization. The AVI Publishing Co., Westport Connecticut..
2. ประพาส วีระแพทย์ และงามชื่น คงเสรี. 2529.พันธุ์ข้าวของประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์. 40(3) : 115 - 123.
3. Buttery , R.G., L.C. Ling , B.O. Juliano and J.G. Tumbaugh. 1983. Cooked rice aroma and 2-acetyl - 1 - pyroline. J. Agr. Food Chem. 31 : 823 - 826.
4. หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ. ข้าวบาสมชาติ. ฉบับวันพุธที่ 3 เมษายน 2534.
5. งามชื่น คงเสรี. 2530. เอกสารประกอบการบรรยาย การสัมมนาเทคโนโลยีเพื่อการส่งออกสินค้าเกษตรและปศุสัตว์ เรื่อง คุณภาพข้าว. จัดโดย กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ ในเมืองพัทยา จ.ชลบุรี ระหว่างวันที่ 28 - 30 สิงหาคม 2530 .
6. เครือวัลย์ อัครวิริยะ. 2520. คุณภาพเมล็ดข้าว. กองการข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 9 น. (โรเนียว)
7. Luh , B.S. 1991. Quick cooking rice, pp. 121 - 144. In B.S. Luh (ed.). Rice : Utilization. 2 d ed., Van Nostrand Reinhold , New York.
8. Roberts, R.L. 1972. Quick-cooking rice, pp.381 - 397. In D.F. Houston (ed.). Rice : Chemistry and Technology. Amer. Assoc. of Cereal Chem., St. Paul, Minnesota.
9. Smith , D.H., R.M. RAO, J.M. Lizzao and E. Champagne , 1985. Chemical treatment and process modification for producing improved quick-cooking rice . J. Food Science., 50(4) : 926 - 931.
10. Weibye, B. Quick cooking rice and process for making the same. U.S. Patent. 4, 385, 074 May. 24, 1983.
11. Brook, C.L. 1972. Rice enrichment, pp. 353 - 356 . In D.F. Houston (ed.). Rice: Chemistry and Technology. Amer. Assoc. of Cereal Chem.,. St. Paul, Minnesota.
12. Misaki, M. and K. Yasumatsu. 1985. Rice enrichment and fortification, pp. 389 - 401 In B.O. Juliano (ed.). Rice : Chemistry and Technology. Amer. Assoc. of Cereal Chem., St. Paul, Minnesota.

13. Bramall, L.D. 1983 . A Novel process for the fortification of rice, *Food technol. Aust.* 38 (7) : 281 - 284.
14. Misuda, H. 1962. Enrichment of Rice by soaking method, pp. 36 - 42. *In* proceeding of 1st Int. Congr. Food Sci. and Tech., London.
15. A.O.A.C. 1990. *Official Method of analysis of Official Analytical Chemists.* 15 th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. 1298 p.
16. กองโภชนาการ 2530. *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย.* กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวง สาธารณสุข กรุงเทพฯ .
17. Mickus , R.R. and B.S. Luh. 1980. Rice enrichment with vitamins and amino acids, pp. 486 - 500. *In* B.S. Luh (ed.). *Rice : Production and Utilization.* The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการดูดซึมน้ำในขณะแช่ และการทำให้สุก ของข้าวที่ไม่ผ่านการอบ (control) และผ่านการอบ (preheat)

ชนิดของข้าว / น้ำหนัก , ความชื้น		ข้าวที่ไม่ผ่านการอบ (Control)	ข้าวที่ผ่านการอบ (Preheat)
ข้าวหอมมะลิ			
น้ำหนักข้าวสาร	กรัม	400	400
น้ำหนักหลังอบ	กรัม	-	392
ข้าวที่ผ่านการอบ ความชื้นลดลง	ร้อยละ	-	2.0
น้ำหนักหลังแช่ ⁽¹⁾	กรัม	845	924
ความชื้นที่เพิ่มขึ้น ครั้งแรกที่แช่น้ำ (Moisture uptake as initial weight)	ร้อยละ	111.25	131.0
เวลาของการต้ม (Cooking Time)	นาที	5	4
น้ำหนักหลังการต้ม (Cooking) ⁽²⁾	กรัม	1190	1240
ความชื้นที่เพิ่มขึ้นหลังการต้ม (Moisture uptake as after soaking weight)	ร้อยละ	86.25	79.0
ข้าวบาสุมาติ			
น้ำหนักข้าวสาร	กรัม	400	400
น้ำหนักหลังอบ	กรัม	-	388
ข้าวที่ผ่านการอบ ความชื้นลดลง	ร้อยละ	-	3.0
น้ำหนักหลังแช่ ⁽¹⁾	กรัม	600	660
ความชื้นที่เพิ่มขึ้น ครั้งแรกที่แช่น้ำ (Moisture uptake as initial weight)	ร้อยละ	50.0	65.0
เวลาของการต้ม (Cooking Time)	นาที	10	8
น้ำหนักหลังการต้ม (Cooking) ⁽²⁾	กรัม	1230	1423
ความชื้นที่เพิ่มขึ้นหลังการต้ม (Moisture uptake as after soaking weight)	ร้อยละ	157.5	190.8

⁽¹⁾ อุณหภูมิของน้ำที่แช่ (Soaking temperature) 90 → 70 องศาเซลเซียส . ; เวลา 15 นาที

⁽²⁾ อุณหภูมิที่ใช้ต้ม (Cooking temperature) 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในขณะแช่และการทำให้สุกของข้าวสารที่ผ่านการอบ ให้ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่างกัน คือ 30 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส

	ตัวอย่าง			
	1	2	3	4
อุณหภูมิขณะแช่ : เริ่มต้น องศาเซลเซียส	30	50	70	90
: 15 นาที องศาเซลเซียส	30	47	58	62
: 30 นาที องศาเซลเซียส	30	40	44	46
ความชื้นที่เพิ่มขึ้นภายหลังการแช่ ร้อยละ (Moisture uptake after soaking)	54.3	56.4	56.4	92.5
เวลาที่ใช้ต้ม ⁽¹⁾ นาที	2	2	3	3
ความชื้นที่เพิ่มขึ้นภายหลังการต้ม ร้อยละ (Moisture uptake after cooking)	62.8	61.9	63.9	58.0
ลักษณะเมล็ดข้าว : หลังแช่	เมล็ดแตก และหักมาก	พองตัวเกิดเจลเล็กน้อย		พองตัวเกิด เจล
ลักษณะเมล็ดข้าว : หลังต้ม	เมล็ดแตก และหักมาก	เมล็ดแตกและหักน้อย		เมล็ดแตก และหักน้อย มาก

(1) อุณหภูมิที่ใช้ต้ม (Cooking temperature) 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิ และเวลาในขณะแช่และการทำให้สุกของข้าวสารที่ผ่านการอบ ให้
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำคงที่ คือ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

	ตัวอย่าง			
	1	2	3	4
อุณหภูมิของน้ำคงที่ : 15 นาที องศาเซลเซียส	50	60	70	80
ความชื้นที่เพิ่มขึ้นภายหลังการแช่ ร้อยละ (Moisture uptake after soaking)	48.9	57.7	116.0	134.0
เวลาที่ใช้ต้ม ⁽¹⁾ นาที	3	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
ความชื้นที่เพิ่มขึ้นภายหลังการต้ม ร้อยละ (Moisture uptake after cooking)	90.0	87.2	35.5	24.1
ลักษณะเมล็ดข้าว : หลังแช่	เกิดเจลน้อยมาก	พองตัวเกิดเจลเล็กน้อย		พองตัวเกิดเจล
ลักษณะเมล็ดข้าว : หลังต้ม	เมล็ดแตก และหนักมาก	เมล็ดแตกและหนักเล็กน้อย		เมล็ดแตก และหนักน้อยมาก

(1) อุณหภูมิที่ใช้ต้ม (Cooking temperature) 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4 แสดงผลของการใช้สารเคมี ที่มีต่อลักษณะของข้าวหอมมะลิกิ่งสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	สภาวะในการแช่ ชนิดของสารละลายที่ใช้แช่	อุณหภูมิ (° ซ)	สภาวะในขณะที่ทำให้สุก ใช้อุณหภูมิน้ำเดือด	ลักษณะข้าวกิ่งสำเร็จรูป	
1.	ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 0.3	90→70	↑ ตัวอย่างที่ 1 - 9 ต้มข้าวใน สารละลายเคมีที่ใช้แช่ของ แต่ละตัวอย่าง	} สีเหลืองผิดปกติ ● สีขาวปกติแต่การ แช่ที่ 90 →70 ° ซ. เมล็ดข้าวดีไม่หัก	
2.	ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 0.2	90→70			
3.	ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 0.1	90→70			
4.	ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 0.05	90→70			
5.	ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 0.05	30	↓	● สีขาวปกติ แต่เมล็ดข้าวหัก	
6.	โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต ร้อยละ 0.1	90→70		} สีขาวกว่าปกติ เล็กน้อย	
7.	โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต ร้อยละ 0.05	90→70			
8.	โซเดียมซิติเตรต ร้อยละ 0.5 และ แคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.5 (อัตราส่วน 1 : 1)	50		● สีขาวปกติ แต่เมล็ดข้าวหัก	
9.	แล็คโทสร้อยละ 0.5 และกลีเซอรอลโมโน สเตียเรต ร้อยละ 0.5	90→70		● สีออกน้ำตาล	
10.	น้ำร้อน	90→70		ต้มใน TSOP 0.05 %	● สีขาวปกติ
11.	น้ำร้อน	90→70		ต้มใน SAPP 0.05 %	● สีขาวกว่าปกติ เล็กน้อย
12.	น้ำร้อน	90→70		ต้มใน Lactose 0.05 % + GMS 0.05 %	● สีขาวอมน้ำตาล

TSOP : ไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต

SAPP : โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต

GMS : กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต

ตารางที่ 5 ผลการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ระดับเดียว⁽¹⁾ ในการทำแห้งข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ผ่านขั้นที่
ทำให้สุก (cooking) แล้ว

ตัวอย่าง	น้ำหนักข้าวสุก/ถาด ⁽²⁾ (กรัม)	สภาวะในการทำแห้ง		ความชื้นของ ข้าวกล้องเสร็จรูป ⁽³⁾ (ร้อยละ)	ลักษณะเมล็ดข้าว (สี)
		อุณหภูมิ (°ซ.)	เวลาที่ใช้		
1	300	100	2 ชั่วโมง	4.2	สีขาวปกติ
2	300	100	2 ชั่วโมง 15 นาที	3.9	สีขาวปกติ
3	600	100	2 ชั่วโมง 50 นาที	3.7	สีขาวปกติ
4	600	120	1 ชั่วโมง 20 นาที	4.0	สีขาวออกเหลือง

(1) ตากในตู้อบลมร้อนไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส

(2) ถาดที่ใช้ตากเป็นถาดสเตนเลส มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง คือ 36.8 x 58.4 x 2.5 เซนติเมตร

(3) วิเคราะห์ปริมาณความชื้นหลังเก็บไว้ 1 คืน เพื่อให้ความชื้นของข้าวกล้องสำเร็จรูปกระจายตัว
สม่ำเสมอ

ตารางที่ 6 ผลการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ⁽¹⁾ ในการทำแห้งข้าวกล้องสำเร็จรูปที่ผ่านขั้นทำให้สุก (cooking) แล้ว

ตัวอย่างที่	น้ำหนักข้าวสุก/ถาด ⁽²⁾ (กรัม)	สภาวะในการทำแห้ง			ความชื้นของข้าว กล้องสำเร็จรูป ⁽³⁾ ร้อยละ
		ตากช่วงแรก 120°ซ.		ตากช่วงที่ 2 100°ซ.	
		เวลาที่ใช้	เหลือความชื้น ร้อยละ	เวลาที่ใช้	
1	600	30 นาที	42	1 ชั่วโมง	6.5
2	600	45 นาที	39	1 ชั่วโมง	4.7
3	600	60 นาที	27	30 นาที	5.7
4	986	60 นาที	40	1 ชั่วโมง 30 นาที	4.5

- (1) ตากในตู้อบลมร้อนไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิช่วงแรกที่ 120 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 2 ที่ 100 องศาเซลเซียส
- (2) ถาดที่ใช้ตากเป็นถาดสแตนเลส มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง คือ 36.8 x 58.4 x 2.5 เซนติเมตร
- (3) พบว่าข้าวกล้องสำเร็จรูปตัวอย่างที่ 1, 2, 4 มีสีขาวปกติ ส่วนตัวอย่างที่ 3 มีสีขาวออกเหลืองเล็กน้อย

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลการคั้นรูปของข้าวกล้องสำเร็จรูป และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการคั้นรูป โดยวิธีต่าง ๆ

ชนิดของข้าว กล้องสำเร็จรูป	วิธีการคั้นรูป	น้ำหนักข้าว กล้องสำเร็จรูป (กรัม)	ปริมาณ น้ำที่ใช้ (ลบ. ซม.)	อัตราส่วนข้าว กล้องสำเร็จรูป/น้ำ (กรัม/ลบ. ซม.)	เวลา (นาที)	ปริมาตร หลังคั้นรูป Bulk- volume (ลบ. ซม.)	ลักษณะข้าว หลังคั้นรูป
ข้าวหอมมะลิ กล้องสำเร็จรูป	แช่น้ำ	50	82	1 : 1.64	20	200	<ul style="list-style-type: none"> • ร่วน ไม่นุ่ม
	แช่น้ำร้อน	50	90	1 : 1.8	15	250	
	แช่น้ำร้อน	100	180	1 : 1.8	10	-	
	ต้ม	100	190	1 : 1.9	ต้ม 1 นาที ปิดฝาทิ้งไว้ 3 นาที	510	
ข้าวบาสมาดิ กล้องสำเร็จรูป	แช่น้ำ	100	185	1 : 1.85	30	520	<ul style="list-style-type: none"> • ข้าวร่วน ไม่นุ่ม
	แช่น้ำร้อน	100	195	1 : 1.95	20	-	
	ต้ม	100	200	1 : 2.0	ต้ม 1 นาที ปิดฝาทิ้งไว้ 5 นาที	-	

* ลักษณะเนื้อคล้ายข้าวสวยที่หุงโดยวิธีปกติ

ตารางที่ 8 ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งเก็บตัวอย่างจากตลาด ออก.
กรุงเทพมหานคร

พันธุ์ข้าว	อายุการเก็บ	แหล่งที่มา	ปริมาณอะมิโลล (ร้อยละ)
ข้าวหอมมะลิ	ใหม่	เชียงราย	14.4
	กลางปี	เชียงราย	14.4
	เก่า	เชียงราย	14.4
ข้าวหอมมะลิหงส์มังกร	ใหม่	สุรินทร์	13.4
	กลางปี	สุรินทร์	13.5
	เก่า	สุรินทร์	14.4
ข้าวหอมมะลิตรรารวงข้าว	กลางปี	แปดริ้ว	13.9
ข้าวหอมมะลิ	เก่า	แปดริ้ว	14.0
ข้าวหอมมะลิ	เก่า	ยโสธร	14.2
ข้าวหอมมะลิดอกฝ้าย	ใหม่	ลกลนคร	13.4
ข้าวหอมมะลิตราเกษตร	ใหม่	นครนายก	14.3
ข้าวบาสมาดิ	กลางปี		
ข้าวบาสมาดิ	ใหม่	บรรจุโดย Riceland Foods Ltd.	20.5
		ผลิตโดยโรงสี Asia Rice Mill Industry Co.Ltd.	23.4

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบโดยประสาทสัมผัส⁽¹⁾ ต่อลักษณะต่าง ๆ ของข้าวหอมมะลิถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการคั้นรูป

ลักษณะที่ทดสอบ	ตัวอย่างข้าวถึงสำเร็จรูป ⁽²⁾		
	Control	TSOP	SAPP
สี	4.0 ^a	3.9 ^a	3.7 ^a
กลิ่น	3.5 ^b	3.5 ^b	3.5 ^b
รส	3.3 ^c	3.6 ^c	3.5 ^c
ลักษณะเนื้อ	2.8 ^d	3.4 ^d	3.0 ^d
การยอมรับ	3.3 ^e	3.8 ^e	3.5 ^e
คะแนนรวมเฉลี่ย	3.3 ^f	3.6 ^f	3.4 ^f

(1) ใช้ผู้ชิม 10 คน คะแนนเฉลี่ยในตารางได้จากการให้คะแนน 1 ถึง 5 (1 = ไม่ชอบมาก, 2 = ไม่ชอบ, 3 = เฉย ๆ, 4 = ชอบ, 5 = ชอบมาก) ตัวเลขที่มีอักษรพร้อมเหมือนกัน เช่น a, b, c, d, e และ f (ในแนวนอน) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติที่ระดับร้อยละ 5

(2) ตัวอย่างข้าวถึงสำเร็จรูป

Control = ตัวอย่างที่เตรียมโดยนำข้าวสารที่ผ่านการอบ (preheat) แช่น้ำร้อน (90-70°ซ.) 15 นาที และต้มในน้ำที่แช่ก่อนนำไปตากแห้ง

TSOP = ตัวอย่างที่เตรียมโดยแช่ข้าวที่ผ่านการอบในสารละลาย trisodium orthophosphate ร้อยละ 0.05 ร้อน (90→70°ซ.) นาน 15 นาที และต้มในสารละลายเดิมที่ใช้แช่ ก่อนนำไปตากแห้ง

SAPP = ตัวอย่างที่เตรียมโดยแช่ข้าวที่ผ่านการอบในสารละลาย sodium acid pyrophosphate ร้อยละ 0.05 ที่ (90→70°ซ.) นาน 15 นาที และต้มในสารละลายเดิมที่ใช้แช่ ก่อนนำไปตากแห้ง

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของข้าวสารและข้าวกล้องสำเร็จรูป

		ข้าวหอมมะลิ		ข้าวบาสมาดิ	
		ข้าวสาร	ข้าวกล้อง สำเร็จรูป	ข้าวสาร	ข้าวกล้อง สำเร็จรูป
ความชื้น	ร้อยละ	11.00	4.82	12.00	3.84
ไขมัน	ร้อยละ	0.26	0.10	0.14	0.01
โปรตีน (Nx 6.25)	ร้อยละ	7.01	7.54	8.29	9.51
เถ้า	ร้อยละ	0.30	0.31	0.34	0.45
กาก	ร้อยละ	0.15	0.19	0.15	0.18
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	81.28	87.04	79.08	86.01
ค่าพลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี/100 กรัม	335.5	379.20	350.70	382.20
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม/100 กรัม	69.30	74.40	78.9	87.80
เหล็ก	มิลลิกรัม/100 กรัม	0.52	0.42	0.23	0.24
วิตามิน บี1	มิลลิกรัม/100 กรัม	0.07	0.02	0.04	0.02
วิตามิน บี2	มิลลิกรัม/100 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ไนอะซิน	มิลลิกรัม/100 กรัม	0.74	0.25	0.40	0.23

ตารางที่ 11 แสดงคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องสำเร็จรูป ข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามินเข้มชั้น
ข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามิน ข้าวสารเสริมวิตามิน และข้าวซ้อมมือ

คุณค่าทาง อาหาร (มิลลิกรัม/100 กรัม)	ข้าวกล้องสำเร็จรูป	ข้าวกล้องสำเร็จรูป เสริมวิตามินเข้มชั้น	ข้าวกล้องสำเร็จรูป เสริมวิตามิน	ข้าวสาร ⁽¹⁾ เสริมวิตามิน	ข้าว ⁽¹⁾ ซ้อมมือ
วิตามิน บี 1	0.02	62.0	0.90	0.4	0.20
ไนอะซิน	0.25	748.6	9.45	3.7	2.60
ธาตุเหล็ก	0.29	40.5	0.59	-	1.80

⁽¹⁾ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องข้าวเสริมสารอาหาร

⁽²⁾ ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทย กองโภชนาการ กรมอนามัย (16)

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

B1 ใช้วิธีวิเคราะห์ Thiochrom method

Niacin ใช้วิธีวิเคราะห์ Microbiological Assay

Fe ใช้วิธีวิเคราะห์ ICP (Inductively Couple Plasma) (AOAC 1990)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของข้าวสารเสริมวิตามิน ที่ผลิตโดยบริษัทต่าง ๆ

ชื่อบริษัทผู้ผลิต	B ₁ mg/100g	B ₂ mg/100g	Niacin mg/100g	Fe mg/100g	B ₆
Kitporn	0.83	0.13	6.17	1.23	-
Chia Meng	0.87	0.03	8.80	6.48	-
U. Thai	0.79	-	2.45	0.56	-
C.P. Inter.	1.21	0.32	4.53	5.87	-
B 126	0.98	0.92	13.10	-	2.05
Capital Rice	0.96	0.33	6.22	-	3.20
ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 150 (พ.ศ. 2536)	ไม่น้อยกว่า 0.4	ไม่น้อยกว่า 0.2	ไม่น้อยกว่า 3.7	-	-

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวสารเสริมวิตามินที่บริษัทส่งมาให้กรมวิทยาศาสตร์บริการวิเคราะห์

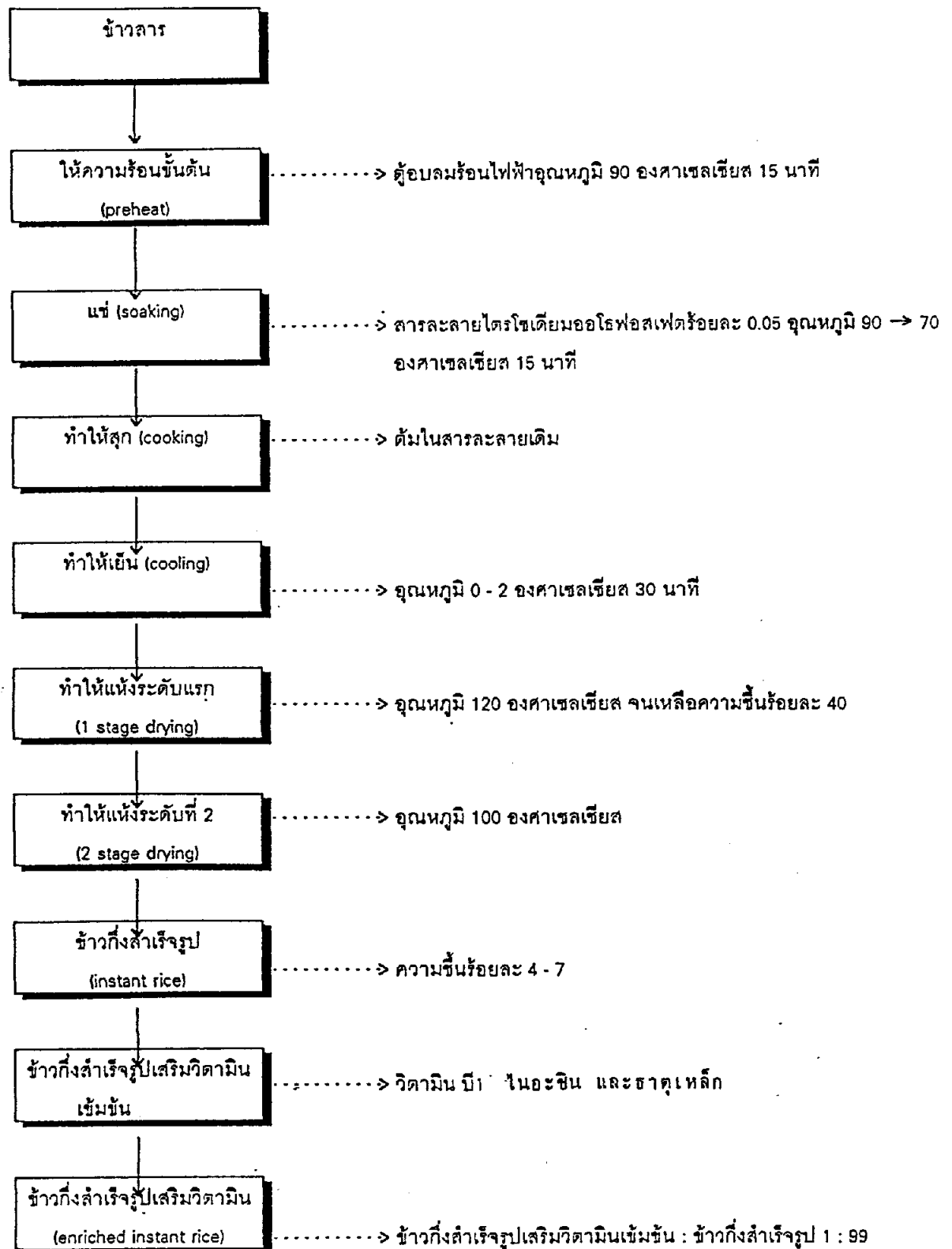
- B₁ ใช้วิธีวิเคราะห์ Thiochrom method
- Niacin ใช้วิธีวิเคราะห์ Microbiological Assay
- B₂ ใช้วิธีวิเคราะห์ Fluorometry method
- Fe ใช้วิธีวิเคราะห์ ICP (Inductively Couple Plasma) (AOAC 1990)

ตารางที่ 13 การคิดราคาต้นทุนการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป

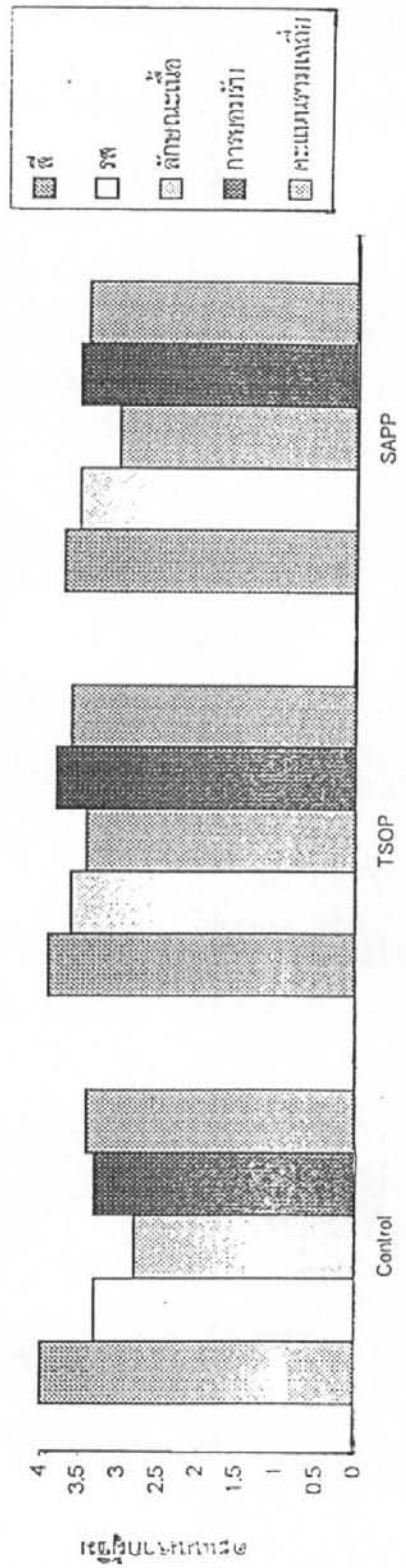
ข้าวหอมมะลิ 1 ถุงหนัก 5 กิโลกรัม ราคา	60.00	บาท
ทำเสร็จแล้วได้ข้าวกล้องสำเร็จรูป	4.75	กิโลกรัม
ใช้สารเคมีไตรโซเดียมออร์โธฟอสเฟต 10 กรัม ราคา	0.15	บาท
ข้าวกล้องสำเร็จรูป 4.75 กิโลกรัม ราคาต้นทุน	60.15	บาท
ข้าวกล้องสำเร็จรูป 5.0 กิโลกรัม ราคาต้นทุน	60.15 x 5	บาท
	<u>4.75</u>	
	= 63.32	บาท

หมายเหตุ ในการคิดราคานี้ คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบ ไม่รวมค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าสึกหรอของเครื่องจักรและแรงงาน

แผนผังที่ 1 แสดงกรรมวิธีผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป และข้าวกล้องสำเร็จรูปเสริมวิตามิน



แผนภูมิที่ 1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหอมมะลิถึงค่าเบี่ยงเบนที่ผ่านการคืนรูป 3 ตัวอย่าง



ตัวอย่างข้าวหอมมะลิถึงค่าเบี่ยงเบนที่ผ่านการคืนรูป

Control = ตัวอย่างที่เตรียมโดยการแช่ข้าวที่ผ่านการอบ (Pachan) ในน้ำร้อน 80 - 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และต้มในน้ำที่ใช้ก่อนนำไปตากแห้ง

TSOP = ตัวอย่างที่เตรียมโดยแช่ข้าวที่ผ่านการอบในสภาวะภายใต้หลอดไฟที่อุณหภูมิ 0.05 ที่ร้อน 80 - 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และต้มในสภาวะภายใต้หลอดไฟที่เย็นก่อนนำไปตากแห้ง

SAPP = ตัวอย่างที่เตรียมโดยแช่ข้าวที่ผ่านการอบในสภาวะภายใต้หลอดไฟที่ร้อน 80 - 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และต้มในสภาวะภายใต้หลอดไฟที่เย็นก่อนนำไปตากแห้ง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ข้าวสารที่ใช้ผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป

(ก) หอมมะลิ

(ข) บาสมาติ



ภาพที่ 2 ข้าวที่ผ่านการแช่ (soaking) เพื่อให้ข้าวเกิดเจล



ภาพที่ 3 ตู้อบลมร้อน (cabinet dryer)
ใช้ในการอบแห้งข้าวกล้องสำเร็จรูป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ข้าวกล้องสำเร็จรูป
(ก) ข้าวหอมมะลิกล้องสำเร็จรูป
(ข) ข้าวบาตมาติกล้องสำเร็จรูป



ภาพที่ 5 ข้าวถึงสำเร็จรูปซึ่งผ่านการคั้นรูป
ได้ข้าวมีลักษณะใกล้เคียงข้าวสวยที่หุงโดยวิธีปกติ

ตารางผนวกที่ 1 คุณค่าทางอาหารข้าวพรีมิกซ์ ข้าวกล้องและข้าวเสริมวิตามิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

ผลิตภัณฑ์	โทอะซีน	โนอะซิน	เหล็ก
ข้าวพรีมิกซ์	70	1000	400
ข้าวกล้อง	0.2 - 0.51	4.0 - 6.4	1.5 - 2.5
ข้าวเสริมวิตามิน (พรีมิกซ์ : ข้าวปกติ เท่ากับ 1:200)	0.35	5.0	2.0

ที่มา : Bramall (1986)

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณวิตามินที่คงอยู่หลังจากหุงต้มข้าวพรีมิกซ์

สารอาหาร	ปริมาณเริ่มต้น (มิลลิกรัม/กรัม)	ปริมาณวิตามินที่คงอยู่ (ร้อยละ)
โทอะซีน	1.5	89
ไรโบฟลาวิน	0.06	88
โนอะซิน	6.2	92
กรดแพนโทเทนิค	2.34	97
ไพริดอกซิน	0.08	100
วิตามินอี	1.38	85
แคลเซียม	8.0	-
เหล็ก	1.2	-

- ไม่ได้วิเคราะห์

ที่มา : Misaki และ Yasumatsu 1985

ตารางผนวกที่ 3 คุณค่าทางอาหารในข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเสริมวิตามินผสม 1:200
ของญี่ปุ่น (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

สารอาหาร	ข้าวสาร	ข้าวกล้อง	ข้าวผสม 1:200
โทอะมีน	0.12	0.54	0.87
ไรโบฟลาวิน	0.03	0.06	0.06
ไนอะซิน	1.40	4.50	4.50
กรดเพนโทเทนิค	0.23	1.40	1.40
ไทริดอกซิน	0.06	0.43	0.10
วิตามินอี	0.09	0.78	0.78
แคลเซียม	6.0	10.00	10.00
เหล็ก	0.5	1.10	1.10

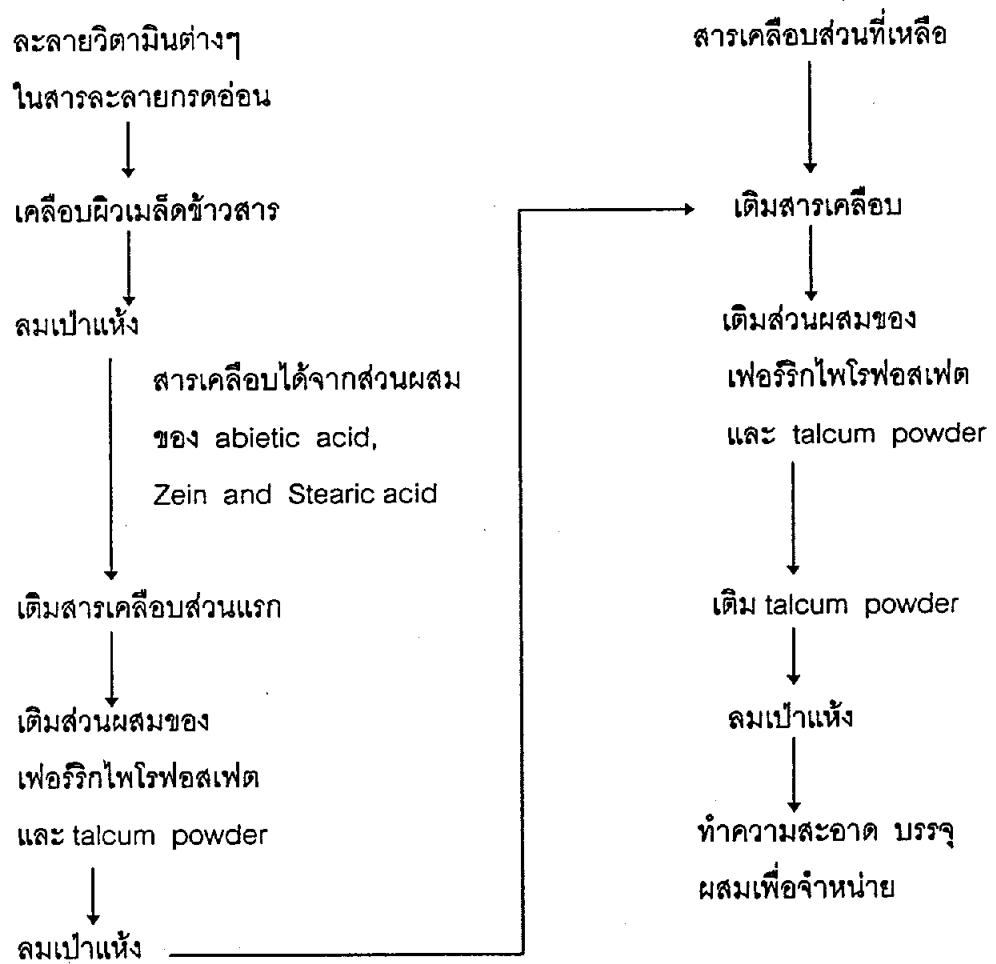
ที่มา : Misaki และ Yasumatsu 1985

ตารางผนวกที่ 4 มาตรฐานข้าวเสริมวิตามินในสหรัฐอเมริกา

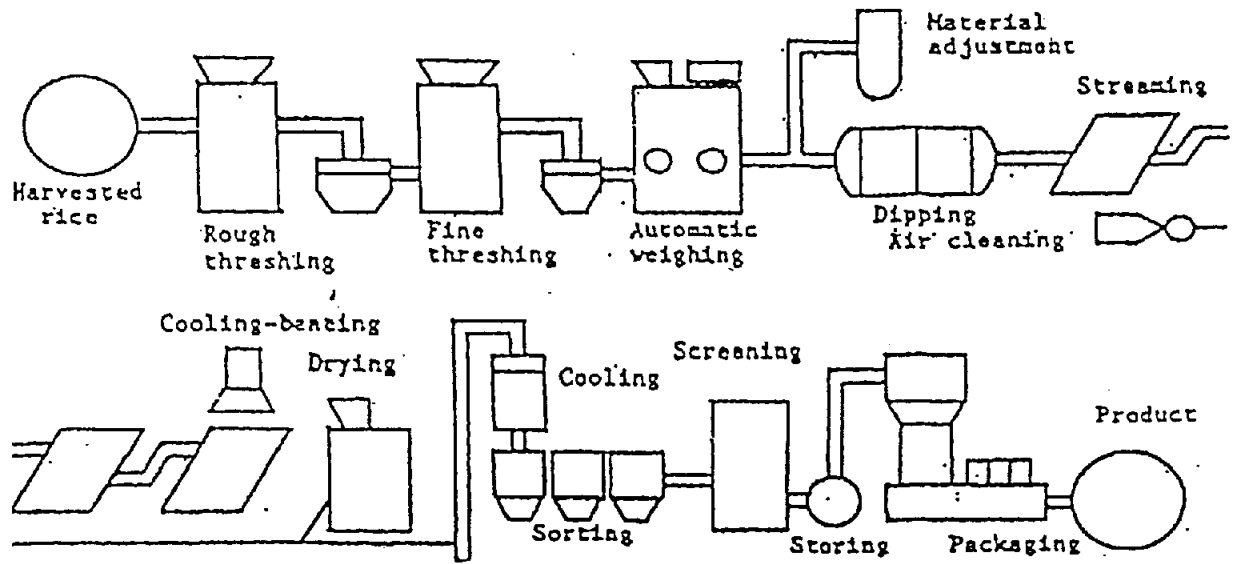
สารอาหาร (มก./100 ก.)	มาตรฐานเดิม	มาตรฐานแก้ไขใหม่
โทอะมีน	0.44 - 0.88	0.64
ไรโบฟลาวิน	0.26 - 0.53	0.40
ไนอะซิน	3.50 - 7.10	5.30
แคลเซียม	110.20 - 220.50	211.60
เหล็ก	2.90 - 5.70	8.80
วิตามินดี (USP units/100 ก.)	55.10 - 220.40	-

หมายเหตุ ไรโบฟลาวินและวิตามินดีอาจใส่หรือไม่ใส่ก็ได้

ที่มา : Mickus และ Luh (1980) ; Brook (1972)



แผนผังผนวกที่ 1 กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินของ Hoffman-La Roche
ที่มา : Bramall (1986)



ภาพผนวกที่ 1 กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินในอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น

ที่มา : Misaki และ Yasumatsu (1985)