



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกที่เหมาะสม
STUDY ON THE OPTIMIZATION OF GERMINATED BROWN RICE PROCESSING

โดย

ประเทือง โชคประเสริฐ สุภักตร์ ปัญญา

2552



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกที่เหมาะสม

STUDY ON THE OPTIMIZATION OF GERMINATED BROWN RICE PROCESSING

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2551

จำนวน 276,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นาย ประเทือง โชคประเสริฐ

ผู้ร่วมโครงการ นาย สุภักตร์ ปัญญา

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31 มีนาคม 2552

กิตติกรรมประกาศ

รายงานผลการวิจัย เรื่อง ศักยภาพการผลิตข้าวกล้องพะวงอกที่เหมาะสม โดยได้รับ
ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ปีงบประมาณ 2551
ขอขอบคุณ ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวแพร่ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและเครื่องมือในการทำวิจัยบางส่วน อีกทั้ง
ผู้ร่วมประชุมกลุ่มย่อยทุกท่านที่ร่วมแสดงความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกจนได้
ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อผู้บริโภค

ผู้จัดทำ

มีนาคม 2552



สารบัญ

	หน้า
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร (Literature review)	3
อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)	29
ผลการทดลองและอภิปราย (Results and discussion)	34
สรุปผล (Summary)	59
เอกสารอ้างอิง (References of literature cited)	61
ภาคผนวก	65



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงถึงปริมาณของกรดอะมิโนที่สำคัญมีอยู่ในข้าวกล้อง (Brown rice) และข้าวกล้องเพาะงอก (Germinated brown rice)	11
2	แสดงอัตราร้อยละของน้ำหนักรวมข้าว และปริมาณ GABA ในพันธุ์ข้าวไทย	17
3	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องพันธุ์ <i>Haiminori</i> ระหว่างการเพาะงอกแบบทั่วไป (แช่น้ำที่ 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง) กับ การเพาะงอกด้วยวิธี SGT (เพาะในภาชนะปิดสนิท 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส)	22
4	แสดงผลของการใช้น้ำและเอทานอลต่อปริมาณสาร GABA และปริมาณ เซื้อจุลินทรีย์ในข้าวกล้องเพาะงอก	24
5	ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก	34
6	ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง	35
7	ผลการเปรียบเทียบความยาวของยอดอ่อนข้าวกล้อง (มิลลิเมตร) แต่ละพันธุ์ ใน ช่วงเวลาการเพาะงอกที่แตกต่างกัน	36
8	ความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และเมล็ดข้าวกล้องที่เพาะงอก ยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร	38
9	ความยาวของเมล็ดข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และเมล็ดข้าวกล้องที่เพาะงอก ยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร	40
10	น้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอกและเมล็ดข้าวกล้องที่เพาะงอกยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร	42
11	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของเมล็ดข้าวกล้อง (ก่อนเพาะงอก และหลัง เพาะงอก)	44
12	ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของเมล็ดข้าวกล้อง (ก่อนและหลัง เพาะงอก)	45

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเมล็ดข้าวกล้อง (ก่อน เพาะงอก เพาะงอก 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร)	47
14	คะแนนเฉลี่ยผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9- points hedonic scale ของข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ หลังการนึ่งให้สุกบางส่วน ที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที	49
15	แสดงการจัดเตรียมอัตราส่วนของข้าวกล้องงอกผสมสูตรต่าง ๆ โดยปริมาตร เพื่อใช้สอบถามความคิดเห็นจากที่ประชุมกลุ่มย่อย	50
16	ผลการทดสอบผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัส	58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบของเมล็ดข้าวกล้อง	3
2	แสดงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารที่ความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว	9
3	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารที่มีในข้าวกล้องเพาะงอกและข้าวขัดขาว	11
4	ปริมาณ GABA ในจมูกข้าวที่เพิ่มขึ้นระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	17
5	แสดงสัดส่วนของสาร GABA ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	18
6	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าว	19
7	แสดงกระบวนการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกโดยวิธี SGT	20
8	ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอกพันธุ์ <i>Haiminori</i> หลังแช่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ	21
9	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอก เมื่อเพาะงอกโดยวิธีทั่วไป และวิธี SGT	23
10	แผนผังเส้นทางการเสื่อมเสียแบบ hydrolytic และ oxidative ในน้ำมันรำข้าว	25
11	แสดงการเกิด free fatty acid (FFA)	27
12	ผลของเวลาและอุณหภูมิในการใช้เอทานอลสกัด free fatty acid (FFA) ในข้าวกล้องที่เก็บรักษาไว้ที่ 36°C	28
13	เพศของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสม	53
14	ช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสม	54
15	ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสม	54
16	อาชีพของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสม	55
17	รายได้โดยเฉลี่ยของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสม	55
18	ความถี่ในการรับประทานข้าวกล้องของผู้ตอบแบบสอบถาม	56

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ความสนใจที่จะซื้อข้าวกล้องเมื่อทราบคุณค่าทางโภชนาการ	57
20	การได้ยินหรือการรู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอก	57
21	ความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอก	58



ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกที่เหมาะสม

STUDY ON THE OPTIMIZATION OF GERMINATED BROWN RICE PROCESSING

ประเทือง โชคประเสริฐ¹ และ สุภักตร์ ปัญญา²
Pratheung Chokeprasert¹ and Supak Punya²

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140 E-mail: pratheung@phare.mju.ac.th โทร. 08-1594-2158

² ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

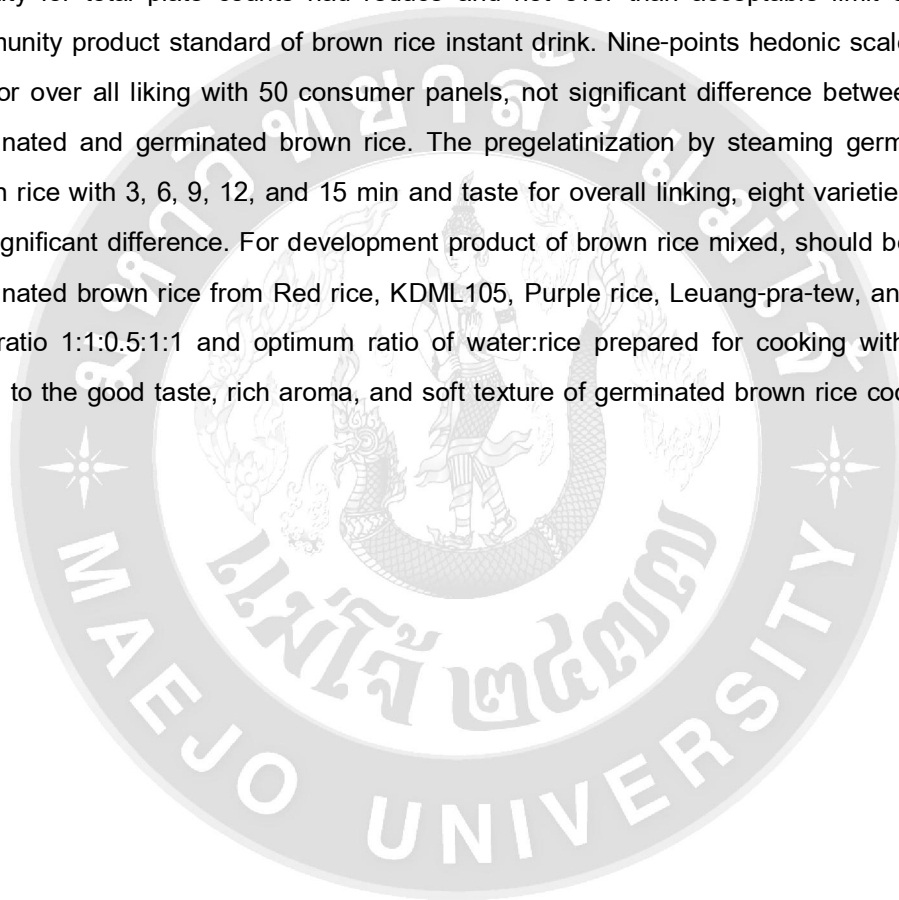
บทคัดย่อ

การศึกษากกรรมวิธีการเพาะงอกข้าวกล้องที่เหมาะสม มีความมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้อง 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข6, กข10, กข15, หอมมะลิแดง, เหนียวดำ, ข้าวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1, พิษณุโลก 2 และพันธุ์เหลืองประทิวโดยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และข้าวกล้องเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ที่งอกเร็วที่สุด คือ พันธุ์ข้าวเหนียวดำ การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ในข้าวกล้องที่ผ่านการเพาะงอก และนำไป pregelatinization พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะลดลง เมื่อผ่านการเพาะงอก และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวกล้องผง จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของข้าวกล้องเพาะงอก ด้วยวิธี 9-points hedonic scale กับผู้ทดสอบจำนวน 50 คน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งข้าวที่ไม่เพาะ และที่เพาะงอกยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร ในการนึ่งข้าวกล้องงอกให้สุกบางส่วนที่เวลาต่าง ๆ กัน 5 ระดับ คือ 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที แล้วทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า จำนวน 8 พันธุ์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติด้านความชอบโดยรวม การพัฒนาข้าวกล้องเพาะงอกผสม พบว่า พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผสมทำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมนั้นควรประกอบไปด้วย ข้าวกล้องงอกพันธุ์ หอมมะลิแดง, ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ข้าวเหนียวดำ (ข้าวกำ), ข้าวเหลืองประทิว และข้าวเหนียวขาว กข.6 ที่อัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.5 : 1 : 1 และ อัตราส่วนของน้ำ ต่อ ข้าว ที่ใช้ในการหุงเท่ากับ 1 : 2.5 ด้วย ซึ่งจะได้รสชาติ, กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ดี เหนียวนุ่ม ไม่แข็งมาก มีกลิ่นที่หอม รับประทานง่าย

คำสำคัญ: ข้าวกล้องเพาะงอก, ข้าว, กรรมวิธี

ABSTRACT

The study on the optimization of germinated brown rice processing was aimed to improve the sensory characteristics of 10 rice varieties following RD6, RD10, RD15, Red rice, Purple rice, KDML105, Patumtanee1, Chainat1, Phisanulok2, and Leuang-pra-tew. The research were conducted by germinated brown rice until the shoot tip reach to 1 and 2 mm. Results found that Purple rice fastest grown, the microbiological quantity for total plate counts had reduce and not over than acceptable limit of Thai community product standard of brown rice instant drink. Nine-points hedonic scale were test for over all liking with 50 consumer panels, not significant difference between non germinated and germinated brown rice. The pregelatinization by steaming germinated brown rice with 3, 6, 9, 12, and 15 min and taste for overall linking, eight varieties were not significant difference. For development product of brown rice mixed, should be used germinated brown rice from Red rice, KDML105, Purple rice, Leuang-pra-tew, and RD6 with ratio 1:1:0.5:1:1 and optimum ratio of water:rice prepared for cooking with 1:2.5 reach to the good taste, rich aroma, and soft texture of germinated brown rice cooked.



คำนำ

ข้าวกล้อง (brown rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกโดยไม่มีการขัดสีใด ๆ จึงยังคงมีจมูกข้าวหรือเอ็มบริโอ (embryo) และรำข้าวซึ่งเป็นเยื่อบางๆ หุ้มเมล็ดข้าวอยู่ ปัจจุบันมีคนหันมาบริโภคข้าวกล้องมากขึ้น เพราะข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยเกลือแร่และวิตามินรวมกว่า 20 ชนิด ช่วยให้อวัยวะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างร่างกายให้สมบูรณ์ ซึ่งข้าวกล้องสามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัย แม้แต่เด็กทารก คนชรา หรือผู้ป่วยระยะพักฟื้น

แม้ว่าข้าวกล้องมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขัดขาว คือมีโทเคมีน และปริมาณไขมันสูงกว่าประมาณ 5 เท่า มีปริมาณเยื่อใย ไนอะซิน ฟอสฟอรัส โบแตสเซียม เหล็ก โซเดียม ไรโบฟลาวิน สูงกว่าประมาณ 2-3 เท่า แต่มีผู้บริโภคข้าวกล้องเพียงประมาณร้อยละ 3 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจาก ข้าวกล้องมีเนื้อสัมผัสแข็ง สีดำไม่น่ารับประทาน หุงสุกยาก และมีอายุการเก็บรักษาสั้น ประมาณ 3-6 เดือนเท่านั้น เนื่องมาจากเกิดการเหม็นหืน มีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป รวมทั้งปัญหามอดแมลงเข้าทำลายรวดเร็ว อันเป็นข้อจำกัดทางการผลิต การตลาด และการบริโภคข้าวกล้อง

จากการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการกะเทาะและหุงการงอกโดยทำการนึ่งด้วยไอน้ำช่วงระยะเวลาหนึ่ง จึงนำไปทำแห้งและบรรจุถุงขายให้ผู้บริโภคจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะเปลี่ยนภาพลักษณ์ด้านลบของข้าวกล้องโดยพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม สีดำและรสชาติที่น่ารับประทาน หุงสุกง่าย และมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยใช้กระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้เครื่องจักรน้อยที่สุด เพื่อให้ชาวบ้านสามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ได้เองอีกด้วย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการจ้างงานในชนบทมากขึ้นและเพื่อเป็นแรงกระตุ้นหรือแรงบันดาลใจให้ชาวบ้านได้รู้จักวิธีการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรด้วย เป็นการรักษาอาชีพของเขา สามารถที่จะกำหนดสินค้าของเขาว่าพอใจจะขายราคาดังนี้ถึงจะอยู่ได้ ความเป็นอยู่แบบเศรษฐกิจพอเพียง เป็นอาชีพยั่งยืนของชาวบ้าน รวมทั้งประเทศไทยได้รับประทานข้าวกล้องที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มอร่อยและมีคุณค่าสูงและอีกประการหนึ่ง ถือเป็นยุทธศาสตร์ในการรักษาความมั่นคงของรัฐที่ชาวนาผลิต คือ การทำให้ประชาชนทุกคนมีความเข้มแข็ง พยายามให้เศรษฐกิจมีความมั่นคงในครัวเรือนหรือในชุมชนดีกว่าก่อน ให้มีเพียงพอ กินอยู่สบาย เพราะหากอยู่ไม่สบาย อยู่ไม่ได้ อาจเป็นโจร เป็นขโมย หรือเป็นคอมมิวนิสต์

กลุ่มผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะงอก ในระยะแรก เริ่มที่กลุ่มผู้รักสุขภาพ กลุ่มผู้สูงอายุ กลุ่มที่มีอายุ 30 กว่าขึ้นไป ในส่วนบุคคลกลุ่มรากหญ้าในระยะแรกอาจจะรับประทานสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ทำเป็นข้าวต้มหรือเป็นอาหารเสริมก็ได้ และหากเปรียบเทียบราคากับข้าวกล้องต่างประเทศพบว่ามีความสูงถึงกิโลกรัมละ 200-300 บาท และเป็นข้าวกล้องพะงอกเพียงชนิดเดียว แต่ผู้วิจัยมีแนวคิดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะงอกผสมซึ่งประกอบด้วยข้าวกล้องพะงอกถึง 5 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน เช่น บางชนิดให้กลิ่นหอม บางชนิดให้สีสวย บางชนิดให้ธาตุเหล็กสูงเป็นพิเศษ เป็นต้น ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีมาแล้วทำให้ข้าวกล้องพะงอกหลาย ๆ ชนิดมาผสมกันแล้วให้หุงสุกพร้อมกัน เนื้อสัมผัสนุ่ม นุ่มรับประทาน และมีสีสวย

วัตถุประสงค์

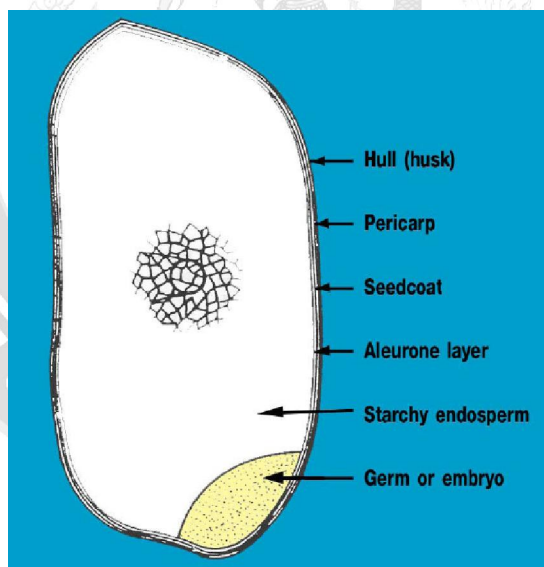
1. ศึกษากรรมวิธีการพะงอกข้าวกล้องที่เหมาะสม
2. ศึกษาระยะเวลาการนึ่งข้าวกล้องพะงอกให้สุกบางส่วน (pre-gelatinization) เพื่อหยุดการงอกของข้าวและยับยั้งเอนไซม์อะไมเลส โดยที่ข้าวยังคงมีน้ำหนักหลังการทำแห้งที่ดี และใช้เวลาในการหุงสุกน้อยลง ข้าวมีคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มขึ้น
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นข้าวกล้องพะงอกผสมกันหลาย ๆ ชนิดในถุงเดียวกัน และหุงสุกพร้อมกัน เนื้อสัมผัสนุ่ม มีสีสวยสวยงาม และมีกลิ่นหอม ชวนรับประทาน

การตรวจเอกสาร (Literature review)

ข้าวกล้อง (Brown rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกโดยไม่มีการขัดสีใดๆ จึงยังคงมีจมูกข้าวหรือเอ็มบริโอ (embryo) และรำข้าวซึ่งเป็นเยื่อบางๆ หุ้มเมล็ดข้าวอยู่ ปัจจุบันมีคนหันมาบริโภคข้าวกล้องมากขึ้น เพราะข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยเกลือแร่และวิตามินรวมกว่า 20 ชนิด ช่วยให้ร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างร่างกายให้สมบูรณ์ ซึ่งข้าวกล้องสามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัย แม้แต่เด็กทารก คนชรา หรือผู้ป่วยระยะพักฟื้น

ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเรียกว่าแกลบ และส่วนที่รับประทานได้เรียกว่า ข้าวกล้อง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดข้าวกล้อง

ที่มา : ข้าวกล้อง, 2549

1. แกลบ (Hull)

แกลบเป็นเปลือกของเมล็ดข้าว มีลักษณะเป็นเปลือกแข็ง ผิวหยาบ แยกเป็นสองฝา ประกอบหุ้มเมล็ดข้าวกลิ้งตามแนวยาวด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) และเปลือกเล็ก (palea) ส่วนของแกลบนี้มีประมาณร้อยละ 18-24 โดยน้ำหนักข้าวเปลือก แกลบอุดมไปด้วยสารซิลิกา (silica) ซึ่งมียู้อยู่สูงถึงร้อยละ 18.8-22.3 และมีลิกนิน (lignin) อยู่ร้อยละ 9-20

2. ข้าวกล้อง (Brown rice)

เมื่อกะเทาะเปลือกออกจะได้ข้าวกล้อง ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้บริโภคเป็นอาหาร เมล็ดข้าวกล้องประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญได้แก่ เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อแอลูโรน คัพภะ และเอนโดสเปิร์ม

2.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มผลประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ ชั้นใน ชั้นกลาง ชั้นนอก เยื่อหุ้มผลมีลักษณะเป็นเส้นใย ผนังเซลล์ประกอบด้วย โปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ก็มีแร่ธาตุต่างๆ และไขมันอยู่ด้วย

2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) และชั้นเยื่อโปร่งใส ส่วนนี้จะประกอบด้วย ไขมันสูง เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรีอาจมีแถวเดียวหรือสองแถวหรือมากกว่า เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วย เยื่อหุ้มเมล็ดมีสมบัติในการป้องกันมิให้น้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด ส่วนชั้นเยื่อโปร่งใส จะอยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดมีลักษณะโปร่งใส ในชั้นทั้งสองนี้นอกจากจะมีสารให้สีแล้วยังประกอบด้วย โปรตีน แร่ธาตุ เซลลูโลส และ ไขมัน

2.3 เยื่อแอลูโรน (Aleurone layer) อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มเมล็ดห่อหุ้มส่วนที่เป็นแป้งและคัพภะ ส่วนนี้จะประกอบด้วยโปรตีนและไขมันสูง เป็นชั้นที่สำคัญประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด มีไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ นอกจากนี้ยังมีน้ำตาล รวมทั้งอุดมไปด้วยวิตามิน เช่น ไนอะซิน เป็นต้น ภายในเซลล์แอลูโรนยังมีเมล็ดแอลูโรน (aleurone grain) ขนาดเล็กอยู่มากมาย ซึ่งภายในเมล็ดเป็นกรดไนตริก หรือเกลือโปรแตสเซียม และแมกนีเซียม รวมทั้งโปรตีนด้วย

2.4 เนื้อเมล็ด (Endosperm) เป็นส่วนที่เป็นข้าวสาร อยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก คือร้อยละ 84-93 โดยน้ำหนักแห้งและมีโปรตีนอยู่บ้าง แป้งข้าวสามารถแยกองค์ประกอบย่อยได้เป็น 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin)

2.5 คัพภะ (Embryo) คัพภะอยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านเปลือกใหญ่ เป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อน ของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้รอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลูโรน หรือชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดล้อมรอบอยู่ ภายในคัพภะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วน สกู

เทลลัม (scutellum) ซึ่งเป็นเกาะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมลิ็ดกับคัพพะ และส่วนของคัพพะที่พร้อมจะเจริญเป็นต้นอ่อนและรากพืชต่อไป ทำให้ส่วนคัพพะนี้อุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุและวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะโปรตีนและไขมันมีมากในคัพพะ และวิตามินบี 1 มีมากในส่วนสกุเทลลัม (อรพิน, 2533)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง

ในข้าวกล้องมีองค์ประกอบทางเคมีดังต่อไปนี้ คือ

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในข้าวกล้องแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และน้ำตาลอิสระ

1.1 แป้ง มีปริมาณสูงสุดร้อยละ 90 ของน้ำหนักข้าวมีปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนอะไมโลเพกติน เป็นส่วนประกอบหลักของข้าวเหนียวทั้ง ข้าวเหนียวและข้าวเจ้ามีขนาดเม็ดแป้งใกล้เคียงกัน

1.2 เฮมิเซลลูโลส พบมากในรำละเอียด รำข้าวขาว และจมูกข้าว ข้าวกล้องมีเฮมิเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 1.43-2.08 และข้าวขาวมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 0.61-1.09

1.3 เซลลูโลส ส่วนใหญ่พบในชั้นรำ รำละเอียดมีเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 62 ในจมูกข้าวมีเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 4 ในรำข้าวขาวมีอยู่ร้อยละ 7 และข้าวขาวมีอยู่ร้อยละ 27 ของน้ำหนักข้าว

1.4 น้ำตาลอิสระ พบมากในจมูกข้าวและเนื้อแป้ง ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลราฟิโนส โดยมีน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตสเล็กน้อย ข้าวกล้องมีน้ำตาลอิสระอยู่ร้อยละ 0.83-1.36 ของน้ำหนักข้าวกล้อง

2. สารประกอบไนโตรเจน

โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากแป้ง ในรำข้าวละเอียดมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 14 ในรำข้าวขาวมีอยู่ร้อยละ 83 ถ้าข้าวมีโปรตีนอยู่สูงการกระจายตัวของโปรตีนจะมีมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนจากส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวมีอยู่ไม่เท่ากัน อัลบูมิน และโกลบูลิน จะพบมากในข้าวกล้อง กลูเตนิน พบในข้าวกล้องและข้าวขาว ข้าวกล้องมีไลซีนสูง แต่มีกรดกลูตามิกต่ำกว่าข้าวขาว นอกจากนี้แล้วยังพบว่าข้าวมีสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น histidine, alanine, ornithine และ ribonucleic acid เป็นต้น

3. ไขมัน

ข้าวกล้องมีไขมันอยู่ร้อยละ 80 อยู่ในรำละเอียด และในรำข้าวขาวมีอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของข้าวขาว ไขมันมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดปาล์มติก ส่วนกรดลอริก และกรดไมลิสโทเลอิก มีอยู่เล็กน้อย

4. วิตามิน

วิตามินส่วนใหญ่พบในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว และจมูกข้าว ในข้าวสารไม่พบ วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินดี และในรำข้าวขาวพบวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และ niacin โดยพบวิตามินบี 1 ในรำละเอียด อยู่ร้อยละ 65 ในรำข้าวขาวอยู่ร้อยละ 13 และในข้าวขาวอยู่ร้อยละ 22 วิตามินบี 2 พบในรำละเอียดอยู่ร้อยละ 39 ในรำข้าวขาวอยู่ร้อยละ 8 และในข้าวขาวอยู่ร้อยละ 53 และในอะซินพบในรำละเอียดอยู่ร้อยละ 54 ในรำข้าวขาวอยู่ร้อยละ 13 และในข้าวขาวอยู่ร้อยละ 33

5. เกลือแร่

มีปริมาณไม่คงที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของดินที่ปลูก ในรำละเอียดพบปริมาณเกลือแร่ร้อยละ 51 รำข้าวขาวพบอยู่ร้อยละ 10 และในข้าวขาวพบอยู่ร้อยละ 28 พบ ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียม แคลเซียม คลอรีน ซิลิคอน โซเดียม และเหล็ก แร่ธาตุที่พบมากที่สุด คือ แมกนีเซียม และซิลิคอน

ประโยชน์ของข้าวกล้อง

การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่าง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีน ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ได้ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มาก เป็นส่วนใหญ่ในข้าวคือ วิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 (Thiamin) ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ช่วยในกระบวนการเปลี่ยนแปลงในร่างกายให้เป็น พลังงานและช่วยในการทำงานของระบบประสาท ในการบังคับกล้ามเนื้อ วิตามินบี 2 (Riboflavin) ช่วยป้องกันโรคปากนกกระชอก และช่วยในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน (niacin) ช่วยในการทำงานของ ระบบผิวหนังและระบบประสาท นอกจากได้วิตามินแล้ว ข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนในจมูกข้าวยังมีวิตามินอี เซเลเนียม และแมกนีเซียม ประกอบอยู่ด้วยแร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้ช่วยเสริมสร้างการทำงาน ในระบบต่างๆ ของร่างกาย ส่วนเส้นใยอาหารซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน (Polysaccharides) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มี

อยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวของข้าวกล้อง เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจากน้ำย่อยไม่สามารถย่อย เส้นใยอาหารได้ทั้งหมด จึงถูกขับออกมาและช่วยพาส่งที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูกและช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วย (วิไล, 2549)

การที่คนไทยกลับมาบริโภคข้าวกล้อง จึงมีใช้เรื่องใหม่และยังไม่สายจนเกินไป ที่จะหันกลับคืนสู่ธรรมชาติ มีการดัดแปลงหรือปรุงแต่น้อย คุณค่าอาหารจะเหลืออยู่มาก เหตุที่คนไทยไม่นิยมกินข้าวกล้องนั้น มีหลายสาเหตุ เนื่องจากไม่ทราบถึงคุณค่าของข้าวกล้อง หรือข้าวกล้องมีสีสันทึมน่ารับประทาน เมื่อหุงแล้ว ไม่นุ่มเท่าข้าวขาว คนที่ไม่เคยบริโภคจึงไม่ค่อยนิยม และอีกประการหนึ่งคือ การใช้เครื่องจักรสีข้าว สามารถขัดสีข้าวให้ดูน่ากินได้ ตามความต้องการ คนไทยจึงคุ้นเคยกับข้าวขาวที่ได้พบเห็นอยู่เป็นประจำ จนเกิดความเคยชิน การกลับมาบริโภคข้าวที่ขัดสีเพียงครั้งเดียว เพื่อประโยชน์ต่อร่างกาย เป็นเรื่องที่ทำไม่ได้ไม่ยาก เนื่องจากมีปัจจัยเอื้ออำนวยอยู่แล้ว สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ตลอดจนการหุงต้มได้ไม่ยุ่งยาก

ในปัจจุบัน ผู้จำหน่ายข้าวกล้อง ได้นำข้าวกล้องมาผสมกับข้าวอื่น เช่น ข้าวมันปูผสมกับข้าวกล้อง ข้าวกล้องผสมกับข้าวขาว เพื่อให้ผู้ที่ยังไม่สามารถบริโภค ข้าวกล้องล้วนๆ เพราะคุ้นเคยแต่ข้าวนิ่มๆ ได้ซื้อไปทดลองหุงรับประทาน นอกจากนี้ประเทศไทย ได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวมากขึ้น ทำให้คนไทยมีข้าวที่ไม่เพียงแต่เหนียวนุ่มอร่อยแล้ว ยังมีกลิ่นหอมน่ารับประทานอีกด้วย คือ ข้าวพันธุ์หอมมะลิ ซึ่งมีจำหน่ายอย่างแพร่หลายทั้งชนิดที่เป็นข้าวขาวธรรมดา และชนิดที่เป็นข้าวกล้องจึงควรเริ่มต้นจากข้าวกล้องชนิดนี้ก่อน (วิไล, 2549)

จากการรวบรวมของ ศรีนวล (2529) กล่าวว่า การบริโภคข้าวกล้องเป็นประจำและบริโภคอาหารเพียงพอถูกตามหลักโภชนาการ พบว่าสามารถแก้ปัญหาโรคต่างๆ ได้ดังนี้

1. โรคเหน็บชา

โรคเหน็บชาเกิดจากการขาดวิตามินบี 1 โรคเหน็บชาแบ่งเป็นชนิดแห้งและชนิดเปียก ถ้าชนิดแห้งจะไม่มีอาการบวม ส่วนชนิดเปียกมีอาการบวมและหัวใจโต ส่วนอาการอื่นๆ ได้แก่ อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ท้องผูก มีอาการทางประสาทและกล้ามเนื้อ คือ กล้ามเนื้อไม่ทำงาน หัวใจทำงานผิดปกติ หอบ เหนื่อยง่าย ถ้าเป็นมากหัวใจอาจวาย แก้ไขได้โดยกินอาหารที่มีวิตามินบีสูง ซึ่งในข้าวกล้องมีวิตามินบี 1 มากกว่าข้าวขาว

2. โรคปากนกกระจอก

โรคปากนกกระจอกเกิดจากการขาดวิตามินบี 2 ผู้ป่วยจะมีอาการเป็นแผลที่มุมปาก ริมฝีปากบวม ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ตาสู้แสงไม่ได้ ในชนบทมีเด็กเป็นโรคปากนกกระจอกร้อยละ 60 ในข้าวกล้องมีวิตามินบี 2 มากกว่าข้าวขาวร้อยละ 66

3. โรคโลหิตจาง

โรคโลหิตจางเกิดจากการขาดธาตุเหล็ก เป็นได้ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ และยังพบว่า การขาดวิตามินบีและโปรตีนเป็นสาเหตุของโรคนี้ด้วย ผู้ป่วยมีอาการ อ่อนเพลีย หงุดหงิด หน้าที่ เป็นลมง่าย เบื่ออาหาร ผิวซีด หัวใจโต ถ้ามีมากอาจดับโต การแก้ไขสามารถทำได้โดยการ รับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กและโปรตีนสูง ในข้าวกล้องมีธาตุเหล็กมากกว่าข้าวขาว 2 เท่า

4. โรคนิ้ว

โรคนิ้วในกระเพาะปัสสาวะเกิดจากการได้รับโปรตีนและฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ อาการ คือ ปัสสาวะขุ่นและปวดเจ็บเวลาถ่ายปัสสาวะ ปัสสาวะขุ่น และมีเลือดออกมด้วย ในข้าว กล้องมีฟอสฟอรัสมากกว่าข้าวขาว 4 เท่า การรับประทานข้าวกล้องสามารถป้องกันโรคนี้ได้

5. โรคท้องผูก

โรคท้องผูกเกิดจากการรับประทานข้าวขาว เพราะข้าวขาวมีเส้นใยน้อยกว่าข้าว กล้อง มีผลมาจากการขัดสีข้าวกล้องให้ขาว ในข้าวกล้องมีเส้นใยมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า

6. โรคทางระบบประสาทบางชนิดและโรคปลายประสาทอักเสบ เพราะขาดวิตามิน บีรวม

ข้าวกล้องเพาะงอก

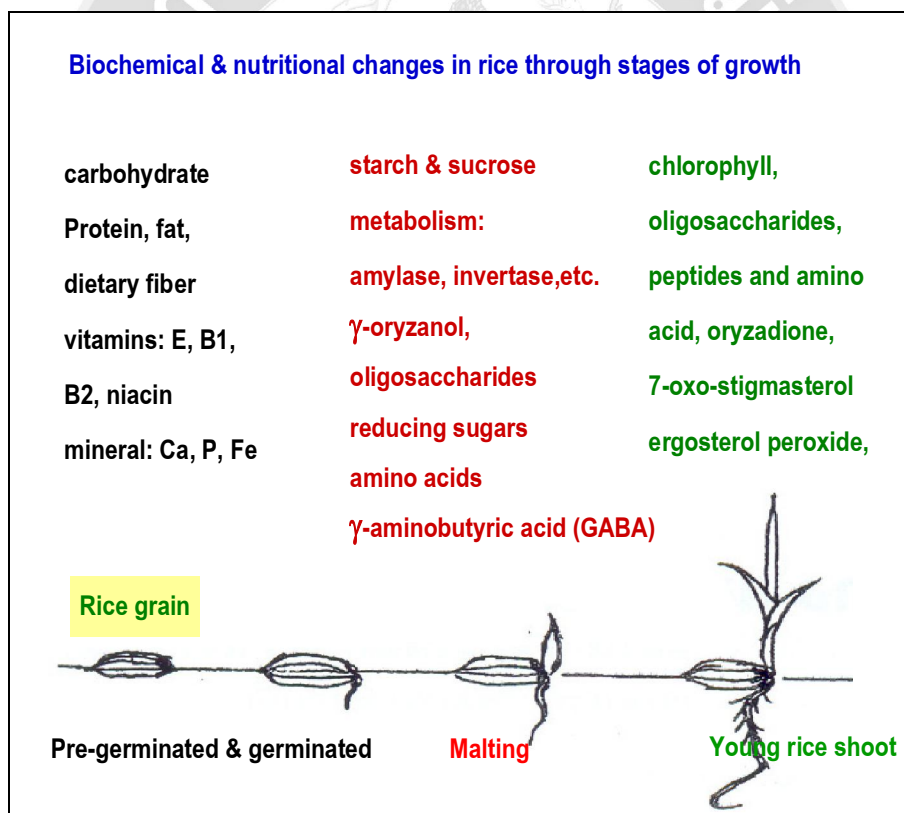
การเพาะงอก (Germinated) ได้มีการศึกษามานานกว่า 30 ปีแล้ว โดย Finney (1978) ได้ ทำการศึกษาการเพาะงอกของข้าวสาลีและถั่วเหลือง และในปี 1994 Horino และ Mori ได้ค้นพบ วิธีการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องได้โดยการนำข้าวกล้องไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 8 ถึง 24 ชั่วโมง (Ito และ Ishikawa, 2004)

Okada et al. (2000) พบว่าการบริโภค GABA เข้าไปเป็นเวลานาน 8 สัปดาห์ติดต่อกัน สามารถป้องกันโรคความดันโลหิต และช่วยให้นอนหลับได้ดี และยิ่งกว่านั้นเมื่อเร็ว ๆ นี้ Jeon et al. (2003) พบว่าการบริโภคข้าวกล้องเพาะงอก สามารถป้องกันโรคเมะเร็งตับได้ และจาก การศึกษาในญี่ปุ่นพบว่าคนสมัยก่อนบริโภคข้าวกล้องโดยการนำไปแช่น้ำก่อน

ข้าวกล้องเพาะงอกในญี่ปุ่นเริ่มได้รับความนิยมและมีออกมาวางขายตามท้องตลาดในปี 1995 ผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องเพาะงอกในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการผลิตออกมากกว่า 49 ชนิด ที่ ได้รับการจดสิทธิบัตรรับรอง (Ito และ Ishikawa, 2004)

ในระหว่างที่ข้าวมีการเจริญเติบโต จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว และการ เปลี่ยนแปลงสารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปใน เมล็ดข้าวจะกระตุ้นให้เอนไซม์ในข้าวมีการทำงาน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปเมล็ดข้าวเริ่มงอก

(malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการชีวเคมี ให้ได้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) แล reducing sugar จากการกระตุ้นเมตาบอลิซึมของแป้งและน้ำตาล มีเอนไซม์จำพวกย่อยแป้ง เช่น amylase, invertase เป็นต้น นอกจากนี้โปรตีนก็ถูกย่อยให้เป็กรดอะมิโน และเปปไทด์ และยังมีการสะสมสารเช่น gamma aminobutyric acid (GABA), tocopherol, tocotrienol, gamma-oryzanol เป็นต้น เมื่อดันข้าวเจริญเติบโตต่อไปในระยะที่มีการแทงยอดอ่อน จะมีการสร้างสารที่เรียกว่าสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ได้แก่ คลอโรฟิลล์, oryzadione, 7-oxo-stigmasterol, ergosterol peroxide เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของต้นข้าว ผ่านกระบวนการ defense mechanism การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสารอาหารในระยะต่างๆ ของข้าวดังแสดงในภาพที่ 2 (ข้าวกล้อง, 2549)



ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารที่ความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

ที่มา : ข้าวกล้อง, 2549

ในด้านเภสัชกรรม ยังให้ความสำคัญของสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยสารต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาในช่วงอายุของข้าวที่ต่างกัน ก็มีรูปแบบการสะสมสารทุติยภูมิที่ต่างกัน เช่น สาร oryzadione ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย เช่นเดียวกับสาร oryzalide B, oryzalic acid, oryzalic acid B เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ gamma-oryzanol , feruloyl arabinoxylans สารที่มีฤทธิ์ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และสารที่มีคุณสมบัติเป็น antianxiety เช่นสาร GABA เป็นต้น (Komatsuzaki et al., 2007)

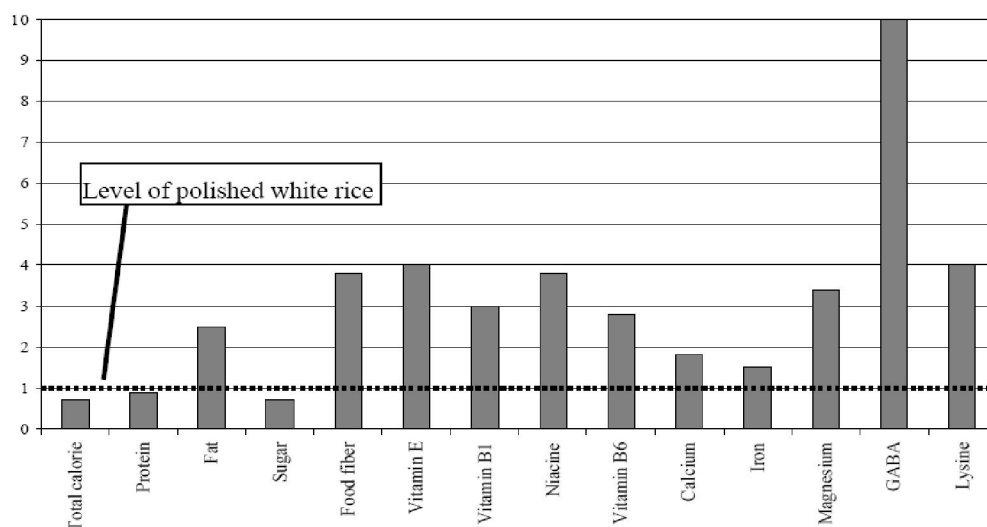
ประโยชน์ของข้าวกล้องเพาะงอก

การบริโภคข้าวกล้องในญี่ปุ่นกลับมาได้รับความนิยมอีกครั้งในปี 1990 เพราะข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีทั้งเส้นใยและสารอาหารต่างๆ มากมาย อย่างไรก็ตาม การบริโภคข้าวกล้องก็ได้รับความนิยมได้ไม่นานนัก เพราะข้าวกล้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี และหุงยาก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกขึ้นมา

ในระหว่างการเพาะงอกนั้นสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในข้าวกล้องได้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของข้าวกล้องที่นำมาเพาะงอก สารอาหารสำคัญที่พบในข้าวกล้องเพาะงอก ได้แก่ GABA โยอาหาร กลีโคไซด์ และวิตามิน ได้แก่ โทเคอโนล โพแตสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอาซีน นอกจากนี้ในข้าวกล้องเพาะงอก ยังพบสารที่ทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา polyendopeptidase

ซึ่งสอดคล้องกับการบริโภคข้าวกล้องเพาะงอกเข้าไป จะช่วยให้กระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกายดีขึ้น และเร่งกระบวนการต่าง ๆ ในสมอง ช่วยลดอาการปวดศีรษะ ป้องกันการเกิดโรคท้องผูก ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ และยังสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และควบคุมความดันในกระแสเลือด และยังสามารถป้องกันการเกิดโรคความจำเสื่อมได้อีกด้วย (Ito และ Ishikawa, 2004)

Kayahara และ Tsukahara (2000) ได้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารที่มีอยู่ในข้าวกล้องเพาะงอกนั้น มีความสัมพันธ์กับชนิดหรือพันธุ์ของข้าวที่นำมาทดสอบ เมื่อนำข้าวกล้องมาเพาะงอกแล้วนั้น พบว่า สำหรับสาร GABA มีปริมาณเพิ่มขึ้น 10 เท่า สารอาหารต่างๆ ไปพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น 4 เท่า คือ วิตามินอี ไนซีน ไลซีน ส่วนสารอาหารที่เพิ่มขึ้น 3 เท่า คือ วิตามินบี และแมกนีเซียม ดังแสดงในภาพที่ 3 และตารางที่ 1



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารที่มีในข้าวกล้องเพาะงอกและข้าวขัดขาว

ที่มา : Kayahara และ Tsukahara, 2000

ตารางที่ 1 แสดงถึงปริมาณของกรดอะมิโนที่สำคัญมีอยู่ในข้าวกล้อง (Brown rice) และข้าวกล้องเพาะงอก (Germinated brown rice)

Harvested year	2003				2002				2002			
Analyzed date	January 2004				October 2003				October 2002			
Moisture(%)	14.8		13.5		12.3		12.7		14.2		14.7	
Germination rate(%)	10		36		90		56		93		82	
Amino acids	BR	GBR	BR	GBR	BR	GBR	BR	GBR	BR	GBR	BR	GBR
Aspartic acid	5.9	0.6	7.9	0.9	8.0	2.7	26.2	4.0	23.5	3.9	14.2	2.6
Glutamic acid	10.8	2.6	9.8	3.7	18.2	8.5	25.0	7.5	32.2	9.5	17.1	5.5
Alanine	5.8	8.8	3.6	11.1	10.2	18.9	8.9	15.8	4.2	27.9	5.4	32.3
GABA	3.6	6.1	4.1	6.4	4.9	10.9	2.7	9.8	7.6	16.6	10.5	13.6
Total*	57.9	34.1	46.0	46.8	68.0	78.1	103.0	77.5	93.3	79.3	71.6	76.5

ที่มา : Kayahara และ Tsukahara , 2000

จากตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาความเข้มข้น ของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องเพาะงอก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสภาพของข้าวกล้องก่อนการเพาะงอก และจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีหลายวิธี จำเป็นที่จะต้องทราบถึงระดับความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวกล้องก่อนเสมอ เพราะพบว่าปัจจัยทั้งสองมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสารอาหารในข้าวเป็นอย่างมาก

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกรดอะมิโนอิสระ ของข้าวกล้องทั้งหมัด ขณะที่กำลังเพาะงอก พบว่าสาร GABA เพิ่มขึ้นจาก 3.6 เป็น 6.1

จากการศึกษาเมล็ดข้าวกล้อง พันธุ์ Calrose และพันธุ์ M401 ในเวียดนามที่มีระยะเวลาการเก็บรักษานานกว่า และข้าวกล้องจากประเทศญี่ปุ่นที่มีระยะเวลากการเก็บรักษาน้อยกว่า จากการศึกษาพบว่าข้าวกล้องจากเวียดนามพันธุ์ Calrose มีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า คือจาก 4.9 เป็น 10.9 และพันธุ์ M401 พบว่ามีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า คือจาก 2.7 เป็น 9.8 โดยอัตราการงอกจะอยู่ที่ร้อยละ 90 และ 50 ตามลำดับ (Kayahara และ Tsukahara, 2000)

การผลิตข้าวกล้องเพาะงอกและการแปรรูป

สิ่งสำคัญที่สุดของการเตรียมการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกนั้น อันดับแรก ต้องเลือกพันธุ์ข้าวกล้องที่มีความเหมาะสม มาเพาะงอก อันดับสองต้องนำข้าวกล้อง ไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 32 ถึง 40 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง หรือมากกว่า พร้อมกับนำมาทำให้เย็น ในขั้นตอนการแช่ข้าวของการทำข้าวกล้องเพาะงอกนั้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส ของข้าวกล้องน้อยมาก ข้าวกล้องเพาะงอก โดยทั่วๆ ไปมีระดับความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 15

ข้าวกล้องเพาะงอกกำลังเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากข้าวกล้องเพาะงอกมีปริมาณสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่สูง จึงส่งผลทำให้การบริโภคข้าวกล้องเพาะงอกมีความนิยมเพิ่มมากขึ้น การบริโภคข้าวกล้องเพาะงอกในผู้ใหญ่เน้นมุ่งเน้นเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นหลัก ส่วนการบริโภคข้าวกล้องเพาะงอกในวัยรุ่นนั้นจะเป็นไปตามแฟชั่นมากกว่า

ข้าวกล้องเพาะงอกสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายทั้ง ซุป โดนัท เบอร์เกอร์ และอื่นๆ อีกมากมาย หรือสามารถใช้ข้าวกล้องเพาะงอกผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ (Ito และ Ishikawa, 2004)

การงอกของเมล็ด

จวงจันทร (2529) กล่าวว่า เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่ (mature seed) คือ เมล็ดที่ได้ผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเป็นเมล็ดที่สุกแก่ สิ่งที่เกิดขึ้นกับเมล็ดในระหว่างการสุกแก่ คือ การสูญเสียน้ำหรือความชื้น (dehydration) เมล็ดแก่หรือเมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่จึงมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-15 เมล็ดที่มีน้ำหรือความชื้นต่ำเหล่านี้ จะมีอัตราการหายใจ และกิจกรรมทาง

ชีวเคมีต่างๆ ตลอดจนไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาน้อยที่สุดหรือแทบไม่มีเลย เมล็ดอยู่ในระยะที่เรียกว่าพักตัว (resting stage) ระยะพักตัวของเมล็ดในระหว่างนี้เปรียบเสมือนคนที่กำลังนอนหลับ แต่ก็ยังมีชีวิตและมีการหายใจ เมื่อใดที่มีสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการงอกเกิดขึ้น เช่น เมล็ดได้รับน้ำหรือความชื้นพอเหมาะ มีออกซิเจนเพียงพอและอยู่ในระดับอุณหภูมิที่เมล็ดงอกได้ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกิจกรรมในเมล็ดเริ่มถูกกระตุ้นใหม่ เมล็ดมีความชื้นสูง มีเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเมล็ดทำให้เมล็ดงอกได้

การงอกของเมล็ด หมายถึง ขบวนการต่างๆ อันสลับซับซ้อนที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน นักสรีรวิทยาหรือนักชีวเคมี อาจจะทำให้คำจำกัดความของการงอกของเมล็ดแต่เพียงระยะที่รากอ่อนแทงทะลุส่วนของเปลือกหรือเยื่อหุ้มเมล็ดออกมาปรากฏให้เห็น ในขณะที่นักวิชาการทางพืชระบุไว้ว่า การงอก หมายถึง ระยะเวลาดังแต่ระยะที่เมล็ดเริ่มมีขบวนการต่างๆ เกิดขึ้นภายในเมล็ดแห้งไปจนถึงระยะที่ต้นอ่อนเริ่มเจริญเติบโต และให้ต้นกล้าที่แข็งแรงพอที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไปได้ (จวงจันทร์, 2529)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด

จวงจันทร์ (2529) กล่าวว่า การที่เมล็ดจะงอกได้นั้นต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ สำหรับการงอก ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ น้ำหรือความชื้น ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม นอกจากนี้เมล็ดบางชนิดยังต้องการแสงเป็นปัจจัยในการงอกอีกด้วย

1. น้ำหรือความชื้น

น้ำเป็นปัจจัยอันดับแรกสุดที่เมล็ดต้องการใช้สำหรับการงอก เพื่อละลายโปรโตพลาสซึมและทำให้อาหารที่เก็บสะสมไว้ในรูปโมเลกุลใหญ่ๆ แตกย่อยออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญ เช่น โปรตีนก็จะแตกออกเป็นกรดอะมิโน แป้งแตกออกเป็นกลูโคส และซูโครส เป็นต้น เมล็ดโดยทั่วไปจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 6-14 ในการที่เมล็ดจะงอกได้นั้นเมล็ดจะต้องมีความชื้นสูงขึ้นมาประมาณร้อยละ 30-60 มากน้อยเท่าไร ขึ้นกับชนิดของพืช เช่น ข้าวโพดมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 ถั่วเหลืองมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 (จวงจันทร์, 2529)

จวงจันทร์ (2529) กล่าวว่า น้ำที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด มีดังนี้

- 1) ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม และเมล็ดมีการขยายตัวขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจาก โปรโตพลาสซึมขยายตัว

- 2) น้ำจะช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปสู่ภายในของเมล็ดและทำให้การหายใจเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ เพราะเมื่อผนังเซลล์ดูดน้ำเข้าไปก็จะอ่อนนุ่ม ทำให้การดูดซึมน้ำออกซิเจนเข้าไปในเมล็ดสะดวกขึ้น
- 3) น้ำเป็นตัวละลายโปรโตพลาสซึมทำให้เกิดกิจกรรมต่างๆ ในเมล็ดที่เคยหยุดนิ่ง ขบวนการดูดน้ำเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเริ่มสูงขึ้นตามลำดับ มีการย่อยและนำแร่ธาตุอาหารจากส่วนที่เก็บสะสมไว้ไปยังจุดเจริญ
- 4) น้ำเป็นพาหะและช่วยให้การขนย้ายถ่ายเทธาตุอาหารต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้ถูกนำไปใช้ได้รวดเร็วขึ้น จะเห็นได้ว่าน้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการที่เมล็ดจะงอก เมล็ดพืชที่แห้งจะดูดน้ำโดยขบวนการที่เรียกว่า “imbibition”

2. ออกซิเจน

ขบวนการงอกของเมล็ดเกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องการพลังงานจึงต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ โดยทั่วไป เมล็ดพืชจะงอกได้เมื่อบรรยากาศมีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 ถ้ามีออกซิเจนมากขึ้นอัตราการงอกก็จะสูงขึ้น แต่มีเมล็ดพืชบางชนิดสามารถที่จะงอกได้ในที่ที่มีออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 20 เช่น ข้าว และวัชพืชบางชนิด ออกซิเจนเพียงร้อยละ 8 ก็สามารถงอกได้ นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด ปกติเมล็ดจะงอกได้ดี ถ้าอากาศมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การงอกของเมล็ดลดลง ถ้าอากาศหรือบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในปริมาณที่สูงมากๆ จะทำให้เมล็ดไม่งอกเลย

3. อุณหภูมิที่เหมาะสม

เมล็ดพืชต่างชนิดกันสามารถงอกได้ในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป อุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะยับยั้งหรือทำให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ โดยปกติพืชทั่วไป สามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-35 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด เมล็ดพืชสามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งตลอดระยะเวลาการงอก แต่มีพืชหลายชนิดที่จะงอกได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิ (alternating temperature) ให้เหมือนกับสภาพอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงๆ ตามธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน คือ มักต้องการอุณหภูมิสูงประมาณ 8 ชั่วโมง และอุณหภูมิต่ำอีก 16 ชั่วโมงสลับกันไป (จวงจันทร์, 2529)

4. แสง

เมล็ดพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่นั้นต้องการปัจจัยเพียง 3 อย่าง สำหรับการงอก ได้แก่ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่มีเมล็ดพืชเป็นจำนวนมากที่ต้องการแสงเป็นปัจจัยพิเศษ เช่น ยาสูบ เป็นต้น เมล็ดพืชบางชนิดต้องการแสงตลอดระยะเวลาของการงอก แต่พืชบางชนิดต้องการแสง เพียงเพื่อกระตุ้นการงอกในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ช่วง

แสงที่มีความถี่ต่างๆ กัน ก็จะมีผลในการกระตุ้นหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดด้วย (จวงจันทร, 2529)

ขบวนการต่างๆ ในการงอกของเมล็ด

จวงจันทร (2529) กล่าวว่า เมล็ดงอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นเอง และมีความสัมพันธ์กัน เริ่มตั้งแต่เมล็ดที่อยู่ในสภาพเมล็ดแห้งมีการดูดน้ำภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสมทำให้มีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ด ผลสุดท้ายคือ ได้ต้นอ่อนที่เจริญเติบโต เปลี่ยนแปลงมาจากคัพภะ (embryo) ของเมล็ด ขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดมีดังนี้

1. การดูดน้ำของเมล็ด

เมล็ดพืชโดยทั่วไปมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ในการงอกของเมล็ด เมล็ดต้องได้รับปัจจัยต่างๆ อย่างเพียงพอ ฉะนั้นขบวนการแรกที่จะเกิดขึ้นก็คือ การดูดน้ำของเมล็ด เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้น และอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการต่างๆ สำหรับการงอกในระหว่างการดูดน้ำนี้ เมล็ดจะดูดน้ำอย่างรวดเร็วแตกต่างกันออกไป ตามชนิดของพืช ลักษณะของเปลือกหุ้มเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด ขนาดของเมล็ดและอุณหภูมิในขณะนั้น ปริมาณความชื้นที่จะทำให้ขบวนการงอกของเมล็ดเกิดขึ้นได้นี้แตกต่างกันไป ในเมล็ดพืชต่างๆ เมื่อการดูดน้ำเกิดขึ้นจนถึงจุดที่พอเพียงแล้ว จะเกิดขบวนการลำดับต่อไป (จวงจันทร, 2529)

2. การย่อยสลายและการหายใจ

เมื่อน้ำเข้าไปสู่เมล็ดในปริมาณที่พอเพียงแล้ว น้ำจะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ของเมล็ด ขณะเดียวกันน้ำจะย่อยสลายโปรโตพลาสซึม และช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปสู่ภายในเมล็ด ทำให้มีการย่อยอาหารต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ด ในส่วนของเนื้อเยื่อสะสมอาหารต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะมีพลังงานเกิดขึ้น พลังงานเหล่านี้จะถูกใช้ไปในการสร้างอาหารในส่วนของคัพภะต่อไป (จวงจันทร, 2529)

3. การเคลื่อนย้ายและการขนส่งอาหาร

เมื่ออาหารต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ อยู่ในรูปที่ละลายน้ำแล้ว ก็จะเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญ เพื่อสร้างหรือสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนต่อไป (จวงจันทร, 2529)

4. เมตาบอลิซึม

เมื่อส่วนของต้นอ่อน ได้รับพลังงานที่เกิดจากขบวนการหายใจ และได้รับแร่ธาตุอาหารต่างๆ ที่ส่งมาจากเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหาร ต้นอ่อนก็จะเริ่มมีการสร้างหรือสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต (จวงจันทร, 2529)

5. การเจริญเติบโต

หลังจากที่ต้นอ่อนมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ ให้พอเพียงพอต่อการเจริญเติบโตแล้ว ปรากฏการณ์ที่จะเห็นได้ชัดก็คือ การยืดตัวของจุดเจริญ ซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ โดยทั่วไปส่วนของรากอ่อนจะมีการเจริญเติบโตปรากฏให้เห็นก่อนส่วนของลำต้น หรือยอดอ่อน ดังนั้น การเจริญเติบโตที่เห็นได้ชัดก่อนสิ่งอื่นก็คือ การที่รากโผล่ออกมาจากส่วนของเมล็ด โดยดันให้เยื่อหุ้มเมล็ดแตกออก ติดตามด้วยการเจริญเติบโตของลำต้น หรือยอดอ่อน จนได้ต้นกล้าที่เจริญเติบโตเต็มที่ (จวงจันทร, 2529)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มของปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องพะวงอก

Varanyanond et al. (2005) พบว่าผลของการแช่น้ำต่อปริมาณ GABA ในพันธุ์ข้าวไทย 6 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์เหลืองประทิว 123 และพันธุ์ไผ่งาม ผลที่ได้ คือ ข้าวพันธุ์ไผ่งาม มีอัตราการย่อยละของน้ำหนักรวมข้าวสูงที่สุด ขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัตราการย่อยละของน้ำหนักรวมข้าวต่ำที่สุด อัตราย่อยละของน้ำหนักรวมข้าวที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณ GABA จากการศึกษาพบว่าปริมาณ GABA ที่มีปริมาณสูงสามารถพบได้ในจมูกข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบ GABA ปริมาณ 186.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว พันธุ์ปทุมธานี 1 พบ GABA ปริมาณ 154.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว และพันธุ์ชัยนาท 1 พบ GABA ปริมาณ 144.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว และพันธุ์ไผ่งาม พบ GABA ปริมาณ 116.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2 การแช่น้ำสามารถเพิ่มปริมาณ GABA ในจมูกข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้ ปริมาณ GABA ที่เพิ่มขึ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่ด้วย

ตารางที่ 2 แสดงอัตราร้อยละของน้ำหนักจมูกข้าว และปริมาณ GABA ในพันธุ์ข้าวไทย

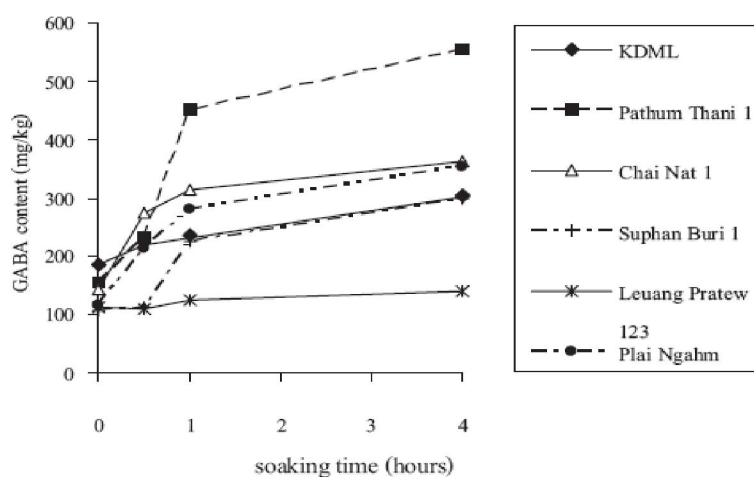
Variety	Percentage weight of germ in brown rice (a)	GABA content (mg/kg of germ) (b)
Khao Dawk Mali 105	3.61	186.2
Pathum Thani 1	2.95	154.6
Chai Nat 1	3.75	144.5
Suphan Buri 1	4.08	107.5
Leuang Pratew 123	3.95	113.4
Plai Ngahm	5.01	116.9

(a) Each value was determined from 100 mature rice grains.

(b) Average are based on three measurements of each sample.

ที่มา : Varanyanond et al., 2005

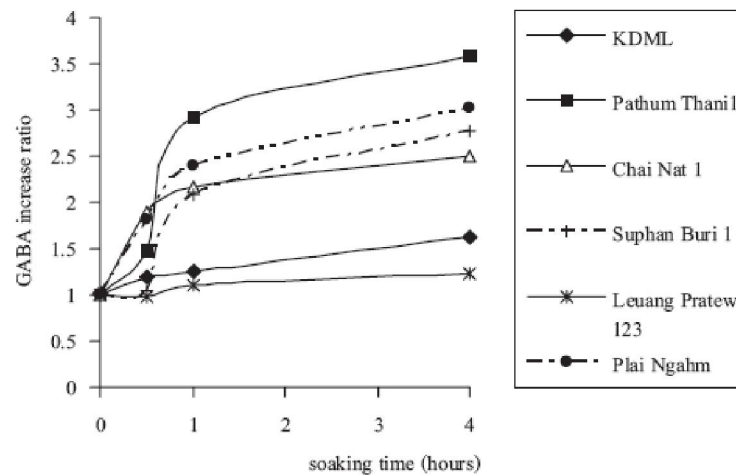
ปริมาณสาร GABA จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากระหว่างการแช่น้ำ ระยะเวลาในการแช่น้ำและความแตกต่างของสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ปริมาณ GABA ในจมูกข้าวที่เพิ่มขึ้นระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ที่มา : Varanyanond et al., 2005

จากภาพที่ 4 แสดงถึงปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวแต่ละพันธุ์ จะเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการแช่น้ำ โดยพันธุ์ปทุมธานี 1, พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นอย่างมาก และปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ พันธุ์ปทุมธานี 1 คือ 555.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว หลังจาก 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

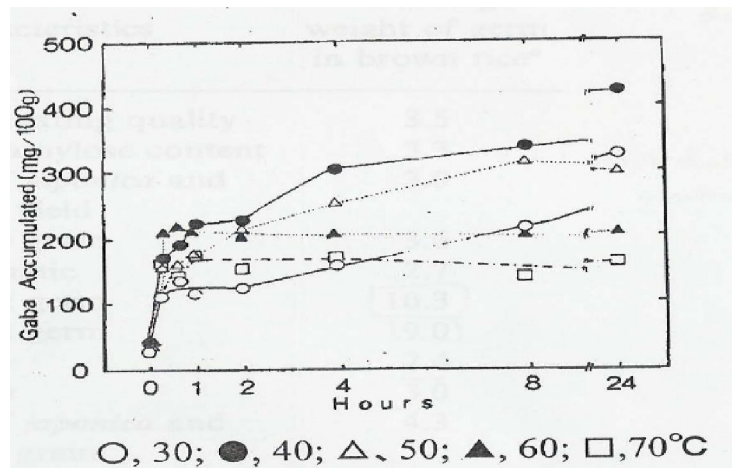


ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนของสาร GABA ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
ที่มา : Varayanond et al., 2005

ปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์เหลืองประทิว 123 จะมีปริมาณต่ำมากในช่วงครึ่งชั่วโมงแรก

ปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ไผ่งาม จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 0.5-1 ชั่วโมงของการแช่น้ำ และจากการศึกษาพบว่าปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวพันธุ์เหลืองประทิวจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Varayanond et al., 2005) อย่างไรก็ตาม ปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวพันธุ์ต่างๆ ส่วนใหญ่ก็จะเพิ่มสูงขึ้นหลังจากแช่น้ำได้ 4 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 5

จากภาพที่ 5 จะชี้ให้เห็นว่าปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าวที่ไม่ได้แช่น้ำ



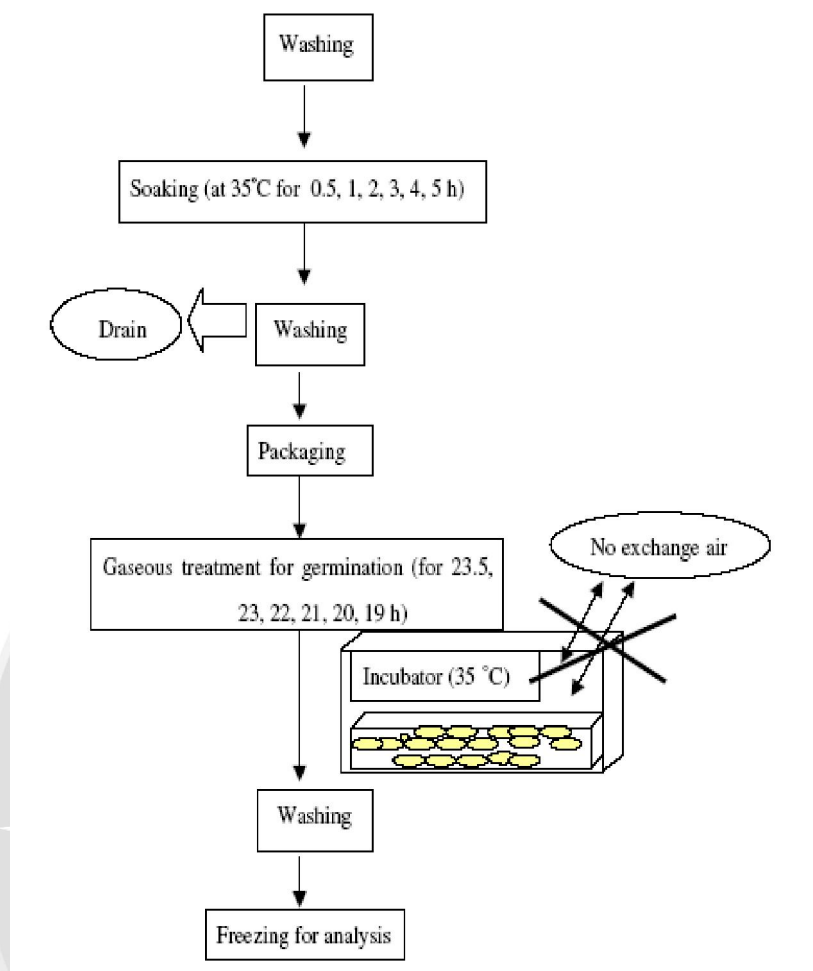
ภาพที่ 6 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าว

ที่มา : Varayanond et al. (2005)

จากภาพที่ 6 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในจมูกข้าว โดยอุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะยับยั้งหรือทำให้เมล็ดข้าวกล้องไม่สามารถงอกได้ โดยปกติพืชต่างๆ ไป สามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณสาร GABA

การแช่น้ำและการเพาะงอกข้าวกล้องในภาชนะที่อับอากาศ (Soaking and gaseous treatment; SGT)

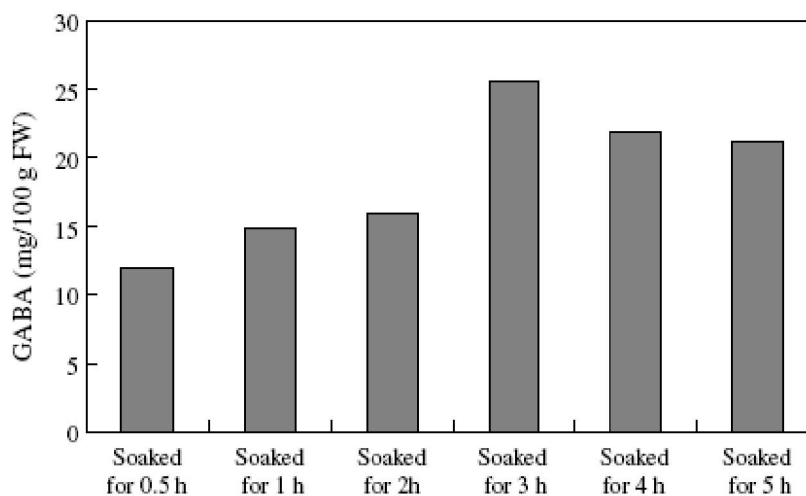
วิธีการแช่น้ำและการเพาะงอกข้าวกล้องในภาชนะที่อับอากาศ (Soaking and gaseous treatment; SGT) เป็นวิธีที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ โดยขั้นแรก นำข้าวกล้องไปแช่น้ำ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำข้าวกล้องที่ได้ไปเพาะงอกในภาชนะกล่องพลาสติกที่อับอากาศเป็นเวลา 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงกระบวนการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกโดยวิธี SGT

ที่มา : Komatsuzaki et al., 2007

จากภาพที่ 7 แสดงกระบวนการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกโดยวิธี SGT ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ คือ นำข้าวกล้องมาล้าง แล้วแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำข้าวกล้องไปใส่ในกล่องพลาสติกปิดสนิทบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอกมีปริมาณสูงถึง 24.9 มิลลิกรัม/ข้าวกล้องเพาะงอก 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณสาร GABA มากกว่าการเพาะงอกแบบทั่วไปที่นำไปแช่น้ำอย่างเดียว คือ มีปริมาณสาร GABA 10.1 มิลลิกรัม/ข้าวกล้องเพาะงอก 100 กรัม (Komatsuzaki et al., 2007)



ภาพที่ 8 ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอกพันธุ์ *Haiminori* หลังแช่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ

ที่มา : Komatsuzaki et al., 2007

จากภาพที่ 8 แสดงถึงปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอกพันธุ์ *Haiminori* ที่เพาะงอกโดยวิธีการ SGT ซึ่งจะมีปริมาณสาร GABA สูงสุดที่ 25.5 มิลลิกรัม/ 100 กรัม เมื่อแช่ 3 ชั่วโมง และเพาะงอกในกล่องพลาสติกปิดสนิทที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส (Komatsuzaki et al., 2007)

กรดอะมิโนที่พบในข้าวกล้องเพาะงอก ได้แก่ กรดแอสพาทิก (aspartic acid), เซอรีน (serine), แอสพาราจีน (asparagines) และ กรดกลูตามิก (glutamic acid) ปริมาณกรดกลูตามิก จะมีปริมาณลดลงหลังจากผ่านกระบวนการเพาะงอก ซึ่งจะต่างจากตัวอื่นๆ ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น หลังจากผ่านกระบวนการเพาะงอก โดยกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอกนั้นเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนโดยน้ำที่ดูดซับเข้าไป การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้มีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้เมล็ดข้าวเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนต่อไป ดังนั้น น้ำที่ดูดซับเข้าไป และเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD) จะไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง glutamic acid ไปเป็นสาร GABA

จากตารางที่ 3 ในข้าวกล้องที่เพาะงอกโดยวิธี SGT ปริมาณของ glutamine และ glutamic acid จะเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าปริมาณสาร GABA จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เป็นผลมาจากเกิดการสังเคราะห์ glutamic acid ขึ้นโดยเอนไซม์ glutamate synthase (GOGAT) และเอนไซม์ glutamine synthase (GS) ในวัฏจักรของ GS และ GOGAT มีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณสาร GABA และ alanine ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องพันธุ์ *Haiminori* ระหว่างการเพาะงอกแบบทั่วไป (แช่น้ำที่ 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง) กับการเพาะงอกด้วยวิธี SGT (เพาะในภาชนะปิดสนิท 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส)

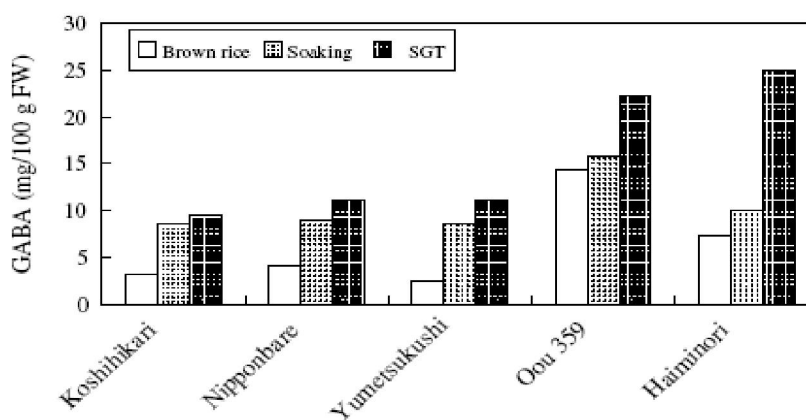
Amino acid	Control	GBR	GBR by SGT
Asp	6.6 ± 1.04	1.2 ± 0.22	1.8 ± 0.61
Thr	1.0 ± 0.48	3.1 ± 0.76	6.0 ± 1.16
Ser	3.5 ± 0.29	2.0 ± 0.75	2.7 ± 0.42
Asn	7.1 ± 1.69	3.7 ± 0.55	7.0 ± 0.78
Glu	12.4 ± 3.06	4.5 ± 0.41	13.4 ± 3.57
Pro	1.9 ± 1.66	5.1 ± 0.67	8.4 ± 1.26
Gly	1.5 ± 0.89	4.3 ± 0.82	8.7 ± 1.50
Ala	12.2 ± 4.48	13.0 ± 2.00	25.6 ± 9.29
Val	0.8 ± 0.33	4.5 ± 0.76	12.3 ± 1.0
Cys	1.4 ± 0.51	1.9 ± 1.41	2.9 ± 0.70
Met	0.4 ± 0.40	2.2 ± 0.52	3.3 ± 1.01
I-Leu	0.7 ± 0.15	3.7 ± 0.67	5.8 ± 0.70
Leu	0.9 ± 0.17	6.4 ± 0.97	12.3 ± 1.31
Tyr	1.4 ± 0.39	4.1 ± 0.37	7.0 ± 0.33
Phe	1.0 ± 0.59	3.8 ± 0.37	5.5 ± 0.99
GABA	7.3 ± 2.05	10.1 ± 1.36	24.9 ± 4.00
Lys	3.9 ± 1.45	4.4 ± 0.84	9.6 ± 2.55
His	1.0 ± 0.30	2.4 ± 0.79	4.3 ± 0.99
Arg	4.9 ± 1.14	9.0 ± 3.06	10.6 ± 6.48
Total	67.0 ± 12.38	93.0 ± 13.34	178.7 ± 32.78

Data expressed as mean ± SD of three independent experiments.

ที่มา : Komatsuzaki et al., 2007

ยิ่งไปกว่านั้นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณสาร GABA ขณะที่เพาะงอกนั้น จะแตกต่างกันเนื่องจากแรงกระตุ้นที่ต่างกัน การเพาะงอกโดยวิธี SGT สภาวะต่างๆ จะมีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณของสาร GABA (Komatsuzaki et al., 2007)

จากการศึกษาปริมาณสาร GABA ในตัวอย่างข้าวกล้อง 5 พันธุ์นั้น พบว่าสาร GABA จะมีปริมาณสูงสุด เมื่อนำข้าวกล้องไปเพาะงอกโดยวิธี SGT ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่าการเพาะงอกข้าวกล้องโดยวิธีทั่วไป



ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอก เมื่อเพาะงอกโดยวิธีทั่วไป และวิธี SGT

ที่มา : Komatsuzaki et al., 2007

จากภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าข้าวกล้องพันธุ์ Oou 359 และพันธุ์ Haiminori เมื่อนำไปเพาะงอกจะมีปริมาณสาร GABA สูงกว่าข้าวกล้องพันธุ์อื่นๆ อย่างชัดเจน เป็นผลมาจากข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์มีขนาดเมล็ดที่ใหญ่กว่าพันธุ์อื่นๆ (Komatsuzaki et al., 2007)

การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในข้าวกล้องเพาะงอก

ถึงแม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิวของเมล็ดข้าวกล้องจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแช่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้ข้าวกล้องเพาะงอกปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยการนำไปให้อุ่นน้ำ 20 นาที และใช้เอทานอล 3 นาที โดยวิธีการนี้ไม่มีผลทำให้ปริมาณของสาร GABA ลดลง

ดังนั้นจึงทำให้ข้าวกล้องเพาะงอกได้กลายเป็นที่นิยม เพราะข้าวกล้องเพาะงอก เป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และได้ทำการศึกษาถึงการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องเพาะงอกซึ่งเป็นวิธีการที่คิดขึ้นมาใหม่

ในระหว่างที่ทำการแช่เมล็ดข้าวกล้องในน้ำที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 20 ชั่วโมง ในระหว่างขั้นตอนนี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในข้าวกล้องเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว วิธีการลดจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างการผลิตข้าวกล้องเพาะงอก คือ ได้มีการใช้ความดัน

สูงร่วมด้วย โดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต และใช้วิธีอีเล็กโทรเคมี วิธีดังกล่าวนี้สามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการผลิตข้าวกล้องเพาะงอกได้

จากการใช้ไอน้ำและการใช้เอทานอลในข้าวกล้องเพาะงอกนั้น จะส่งผลทำให้ข้าวกล้อง-เพาะงอกที่ได้ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งได้จากการวัดปริมาณจุลินทรีย์โดยวิธี aerobic plate counts (APC) ในข้าวกล้องเพาะงอก พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มสูงกว่า 10^8 cfu.g⁻¹ หลังจากแช่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลของการใช้ไอน้ำและเอทานอลต่อปริมาณสาร GABA และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในข้าวกล้องเพาะงอก

Treatment	GABA (mg/100 g FW)	APC (cfu.g ⁻¹)
Control (brown rice)	4.1	1.7×10^4
GBR (soaking for 24 h)	9.6	1.9×10^8
Steamed for 10 min	9.2	2.2×10^3
Steamed for 20 min	10.1	1.0×10^2
Steamed for 30 min	9.8	1.0×10^2
Steamed for 10 min+ethanol	9.2	3.0×10^2
Steamed for 20 min+ethanol	9.1	ND
Steamed for 30 min+ethanol	8.8	ND

ที่มา : Komatsuzaki และคณะ, 2007

หลังจากใช้ไอน้ำ 20 และ 30 นาที พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ลดลงจาก 10^8 cfu.g⁻¹ เป็น 10^2 cfu.g⁻¹ แต่เมื่อใช้ไอน้ำ 20 และ 30 นาที ควบคู่กับการใช้เอทานอล จะทำให้ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์

โดยทั่วไปพบเชื้อ *Bacillus* และเชื้อราในปริมาณเท่าๆ กัน แต่เชื้อ *Aspergillus* จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป ถึงแม้ว่าเชื้อดังกล่าวจะไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 นาทีได้ แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่สปอร์ของแบคทีเรียดังกล่าว จะหลงเหลืออยู่ วิธีการใช้ความดันสูง ก็มีผลทำให้ปริมาณของแบคทีเรียในข้าวกล้องลดลงได้ และส่งผลทำให้จำนวนสปอร์ของแบคทีเรียลดลงตามลำดับเช่นกัน ดังนั้นการใช้ไอน้ำและเอทานอลร่วมกัน มีผลทำให้สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงได้อย่างสมบูรณ์

มีรายงานว่าปริมาณสาร GABA ในขนมปังที่มีส่วนประกอบของข้าวกล้องและข้าวกล้องเพาะงอกอยู่นั้น พบว่าปริมาณสาร GABA เกือบจะทั้งหมดจะสลายไปในระหว่างกระบวนการอบ ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง คือ ความร้อน ซึ่งมีผลต่อปริมาณสาร GABA โดยตรง อย่างไรก็ตาม

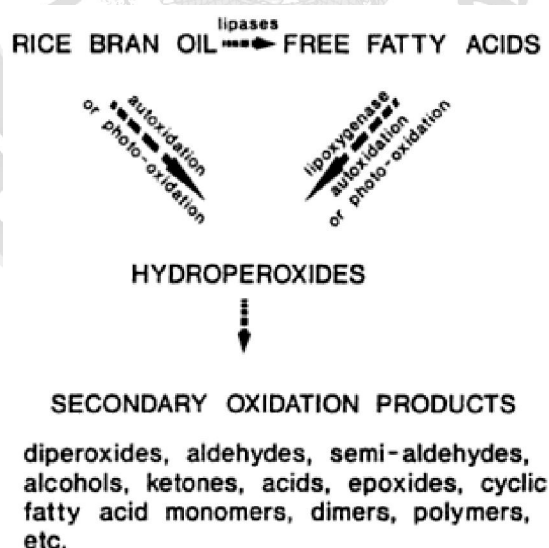
การใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสจะไม่ส่งผลต่อลักษณะทั่วไปในข้าวกล้องเพาะ
งอก (Komatsuzaki et al., 2007)

การเสื่อมเสียของข้าวกล้อง

ข้าวกล้องมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขัดขาว มีสารอาหารทุกตัวสูงกว่าข้าวขัดขาวยกเว้นคาร์โบไฮเดรต มี Thiamine และปริมาณไขมันสูงกว่าข้าวขัดขาวประมาณ 5 เท่า ขณะที่ปริมาณเยื่อใย ไนอะซิน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม เหล็ก โซเดียม วิตามินสูงกว่ข้าวขัดขาวประมาณ 2-3 เท่า (Kennedy, 1980)

ถึงแม้ทราบดีว่าข้าวกล้องอุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการ แต่มีการบริโภคข้าวกล้องกันประมาณร้อยละ 3 เท่านั้น ซึ่งมีเหตุผลที่สำคัญ คือ ข้าวกล้องมีอายุการเก็บรักษา (shelf life) สั้นประมาณ 3-6 เดือน เท่านั้น เนื่องจากเกิดการเหม็นหืน มีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป รวมทั้งเกิดปัญหามอดแมลงเข้าทำลายรวดเร็ว ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงเป็นข้อจำกัดทางการผลิต การตลาด และการบริโภคข้าวกล้อง

ไขมันที่มีอยู่ในข้าวกล้อง เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสีย แบบ hydrolytic และ oxidative แสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนผังเส้นทางการเสื่อมเสียแบบ hydrolytic และ oxidative ในน้ำมันรำข้าว

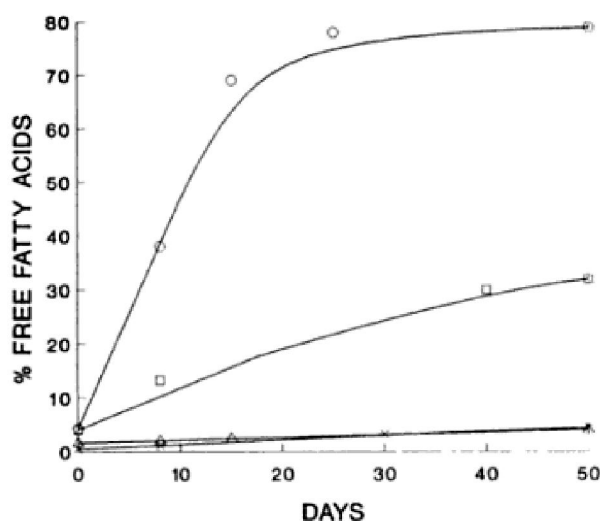
ที่มา : Champagne, 1993.

เอ็นไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในข้าวกล้องเอง และ เอ็นไซม์ไลเปสที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น จะเป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยา hydrolysis กับไขมันในข้าวกล้อง แต่สำหรับข้าวเปลือกที่ยังไม่ได้ผ่านการขัดสี เอาเปลือกออกนั้น เอ็นไซม์ไลเปสจะอยู่ในสภาพพักตัว เพราะเอ็นไซม์ และ substrate (ไขมัน) ยังไม่มีการสัมผัสกัน คือ เอ็นไซม์ไลเปสจะอยู่ชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดด้านนอก ส่วนไขมันจะมีปริมาณมากที่ชั้นแอลูโรน (aleurone) และคัพพะ (embryo) ตามลำดับ (Shastry และ Raghavendra, 1971) การเสียดสีที่เกิดขึ้นขณะเอาเปลือกออกทำให้ไขมันเกิดการแพร่ ไปสัมผัสกับเอ็นไซม์ไลเปส จึงทำให้เกิดการ hydrolysis ของไตรกลีเซอไรด์ไปเป็น free fatty acid (FFA) รวมทั้งเอ็นไซม์ไลเปสที่ผลิตโดยแบคทีเรียและเชื้อราที่มีอยู่ตามผิวของเมล็ดข้าวกล้องก็เป็นตัวช่วยเร่งให้เกิดการ hydrolysis ด้วย (DeLucca, et al., 1978)

อัตราเร็วในการสร้าง free fatty acid ในข้าวกล้องจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสบนเมล็ดข้าว อุณหภูมิในการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นและจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณของ free fatty acid ในข้าวกล้องที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานกว่า 6 เดือน จะอยู่ในช่วงร้อยละ 6-25 (Sharp และ Timme, 1986) และในรำข้าว น้ำมันรำข้าวมีสูงประมาณ ร้อยละ 30 โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีความชื้นและอุณหภูมิสูงก็จะเกิดเร็วขึ้น (Enochian et al., 1980) การเกิด free fatty acid ในข้าวกล้องจะทำให้กลิ่นรสของข้าวกล้องเปลี่ยนไปเป็นกลิ่นคล้ายสบู่ (soapy taste) (Barnes และ Galliard, 1991)

การพัฒนารวมวิธีการผลิตเพื่อให้ข้าวกล้องมีความคงตัวต่อการเกิด lipolytic hydrolysis สามารถที่จะทำได้ 3 ทาง คือ 1) ใช้ความร้อนช่วยในการทำลายและยับยั้งกิจกรรมของเอ็นไซม์ไลเปส 2) ใช้สารละลายอินทรีย์สกัดไขมันในข้าวกล้องออกไปเพื่อไม่ให้มันเป็นแหล่ง substrate ของเอ็นไซม์ไลเปส และ 3) ใช้เอทานอลเพื่อทำลายและยับยั้งกิจกรรมของเอ็นไซม์ไลเปส รวมทั้งทำลายแบคทีเรียและเชื้อราที่ผลิตเอ็นไซม์ไลเปส

มีการศึกษาการใช้ไอน้ำเป็นเวลา 5 นาทีในข้าวหนึ่ง (parboiled rice) เพื่อลด free fatty acid ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 11

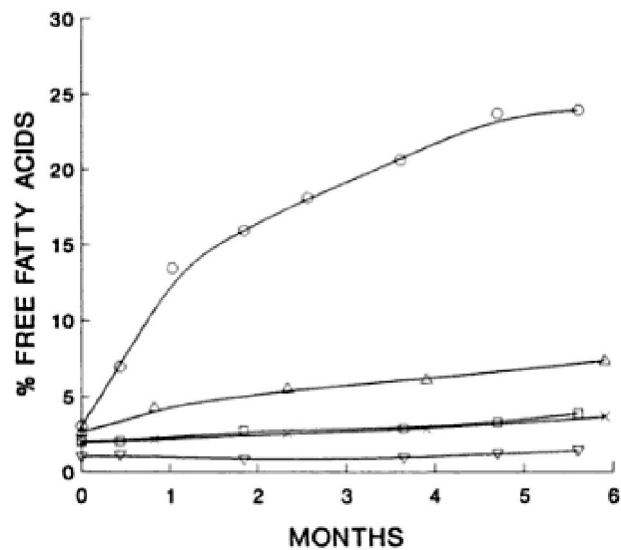


ภาพที่ 11 แสดงการเกิด free fatty acid (FFA)

หมายเหตุ; ในรำข้าวดิบ (O), แชน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70°C นาน 3 ชม. (□), นึ่งด้วยไอน้ำ 100°C นาน 5 นาที (X), และข้าวึ่ง (parboiled, Δ) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ค่า FFA แสดงเป็นร้อยละของน้ำมันในข้าวกล้อง

ที่มา : Champagne, 1993.

มีรายงานการใช้เอทานอล (EtOH) เพื่อให้ข้าวกล้องคงตัวจากปฏิกิริยา lipolytic hydrolysis ซึ่งกระทำได้โดยผ่านไอของเอทานอล ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสไปยังข้าวกล้องเป็นเวลา 60 นาที เพื่อยับยั้งเอนไซม์ lipases และทำลายแบคทีเรียและเชื้อราที่สร้างเอนไซม์ lipases อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง พบว่า ระดับ free fatty acid ข้าวกล้องมีเพียง ร้อยละ 1.0-1.4 เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 36 °C ดังแสดงในภาพที่ 12 (Champagne, 2006).



ภาพที่ 12 ผลของเวลาและอุณหภูมิในการใช้เอทานอลสกัด free fatty acid (FFA) ในข้าวกล้องที่เก็บรักษาไว้ที่ 36°C

หมายเหตุ; เมล็ดข้าวกล้องผ่านการสกัดที่ 24°C เป็นเวลา 10 (Δ) หรือ 60 นาที (□), ที่ 70°C เป็นเวลา 10 (X) หรือ 60 นาที (▽), ตัวอย่างควบคุม (O) คือ เมล็ดข้าวไม่ผ่านการสกัด, ค่า FFA แสดงเป็นร้อยละของน้ำมันในข้าวกล้อง

ที่มา : Champagne, 2006.

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

อุปกรณ์

- วัตถุดิบ ใช้ข้าวพันธุ์ต่างๆ จำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข.6, กข.10, กข. 15, หอมมะลิแดง (มันปู), เหนียวดำ (ข้าวกำ), ข้าวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1, พิษณุโลก 2 และพันธุ์เหลืองประทิว

- วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย กล้องพลาสติกใส กระบอกชั่งน้ำ ตะกร้าพลาสติก ผ้าฝ้ายหรือผ้าลินิน ตู้บ่มโค เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องตรวจวัดความชื้น เครื่องขัดสีข้าวกล้อง ผ้าขาวบาง เชือก กระดาษมั่งสแตนเลส หม้อหุงข้าวสารปคมพิวเตอร์ไรซ์ รุ่น KS-ZT 10

- วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ถ้วยอลูมิเนียม (Moisture can), คีมคีบวัสดุ (Tong), โถดูดความชื้น (Desicator), ถ้วยกระเบื้องเคลือบมีฝาปิด (Crucible), หลอดกลั่น ขนาด 250 มล., ขวดปริมาตร ขนาด 100 ,250 ,500 และ 2000 มล., บิวเรตต์ ขนาด 25 และ 50 มล., ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล., ปีกเกอร์ ขนาด 250 มล., แท่งแก้วคนสาร, กระดาษกรองปราศจากไนโตรเจน (Whatman เบอร์ 1 Ø 9 ซม.), สำลี, กระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 ซม., หลอดใส่ตัวอย่าง, กระบอกตวง ขนาด 50 ,250 และ 500 มล., อุปกรณ์และเครื่องแก้วของเครื่องสกัดเยื่อใย, หลอดทดลอง, ปิเปตขนาด 10 และ 50 มล

- อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace), เตาไฟฟ้า (hot plate), ชุดย่อยโปรตีน (Kjeldahl digestion flask), เครื่องกลั่นโปรตีนอัตโนมัติ (Macro-kjeldahl digestion apparatus), เครื่องสกัดไขมัน (Continuous soxhlet extraction apparatus), ตู้อบไฟฟ้า, เครื่องสกัดเยื่อใย, อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath), เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer), เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง, ตู้บ่มเชื้อ, ตู้อบลมร้อน (Hot air oven), เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter), หม้อนึ่ง (Autoclave)

- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย กรดซัลฟูริก, คอปเปอร์ซัลเฟต, โพแทสเซียมซัลเฟต, โซเดียมไฮดรอกไซด์, กรดไฮโดรคลอริก, โซเดียมเททราโบอเรต, เมทิลเรด, เมทิลีนบลู, โบโรโมครีซอลกรีน, กรดบอริก, ปีโตเลียมอีเทอร์, ออกทานอล หรือ antiform, อะซิโตน, แอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95, โพแทสเซียมแอสिटพาทาเลท, ฟีนอล์ฟทาลีน, ไอโอดีน, โปแตสเซียมไอโอไดด์, กรดอะซิติก และอื่นๆ

วิธีการ

ตอนที่1 ศึกษาการเพาะงอกข้าวกล้องที่เหมาะสม

- 1) สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกแต่ละพันธุ์ ตัวอย่างละ 1,000 เมล็ด มาชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
- 2) นำข้าวเปลือกทุกพันธุ์มาแยกเปลือกด้วยเครื่องขัดสีข้าวแบบลูกกลิ้ง แล้วทำการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม เมล็ดหักเมล็ดเสียออก
- 3) สุ่มตัวอย่างข้าวกล้องแต่ละพันธุ์มาตัวอย่างละ 1,000 เมล็ด มาชั่งน้ำหนัก บันทึกผล และคำนวณหาร้อยละของผลได้ (% yield) แล้วทำการสุ่มตัวอย่างข้าวกล้องที่ได้แต่ละพันธุ์ มาทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้
 - วัดลักษณะทางกายภาพ น้ำหนักเมล็ด ขนาดความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องแต่ละพันธุ์
 - วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเยื่อใย ปริมาณน้ำตาล และปริมาณอะมิโน (AOAC, 2002)
 - วิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์โดยการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count, TPC) ในข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ ทั้งก่อนและหลังการเพาะงอก
- 4) นำข้าวกล้องแต่ละพันธุ์มาทำการเพาะงอก เริ่มจากล้างน้ำสะอาด 2 ครั้ง
- 5) นำข้าวกล้องมาแช่น้ำเพื่อกระตุ้นการงอกเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยให้น้ำท่วมข้าวกล้องประมาณ 2 นิ้ว
- 6) หลังจากแช่น้ำแล้วให้ข้าวขึ้นมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง
- 7) นำข้าวที่ได้มาใส่ภาชนะเพาะงอก ห่อด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น เพื่อรักษาความชื้น นำไปเพาะในตู้อบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พรหมน้ำและวัดความยาวของยอดอ่อน ทุกๆ 6 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) โดยทำการทดลองข้าวกล้อง 10 พันธุ์ ๆ ละ 3 ซ้ำ แล้วทำการบันทึกผล ความยาวของยอดอ่อนข้าวกล้อง (มิลลิเมตร) แต่ละพันธุ์ในช่วงเวลา 6, 12, 18, 24 และ 30 ชั่วโมง
- 8) เมื่อข้าวกล้องมีความยาวยอดอ่อนถึง 1 มิลลิเมตรแล้ว ทำการแบ่งข้าวที่เพาะออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก งอกยาว 1 มิลลิเมตร จะนำมาทำการ pre-gelatinization โดยการนึ่งด้วยไอน้ำนาน 5 นาที เพื่อหยุดกระบวนการงอก และยับยั้งเอนไซม์ แล้วนำตัวอย่างข้าวที่ได้ไปทำแห้งต่อ

โดยการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 14 จึงนำตัวอย่างข้าวที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- วัดลักษณะทางกายภาพ น้ำหนักเมล็ด ขนาดความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องแต่ละพันธุ์

- วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเยื่อใย ปริมาณน้ำตาล และปริมาณอะมิโดส (AOAC, 2002)

- วิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์โดยการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ในข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ หลังการเพาะงอก ยาว 1 มิลลิเมตร

9) นำตัวอย่างข้าวส่วนที่ 2 ไปเพาะต่อจนงอกยาว 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ต่อเหมือนส่วนที่ 1

10) นำตัวอย่างข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ/การยอมรับ โดยใช้ 9-points hedonic scale โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง คือ ข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก ข้าวกล้องเพาะงอกยาว 1 มิลลิเมตร และข้าวกล้องเพาะงอกยาว 2 มิลลิเมตร ทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยการนำตัวอย่างข้าวกล้องมาหุง และนำเสนอตัวอย่างกับผู้ทดสอบจำนวน 50 คน และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติโดยวิเคราะห์หาค่าวาเรียนซ์ (Analysis of variance = ANOVA) โดยวิธี Completely Randomized Design : CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยการทดลอง โดยใช้ Duncan's Multiple – Range Test, DMRT ใช้โปรแกรม SPSS

11) เลือกตัวอย่างข้าวกล้องเพาะงอก ยาว 1 หรือ 2 มิลลิเมตรที่ได้คะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงสุดในแต่ละพันธุ์ทุก ๆ พันธุ์ จำนวน 10 พันธุ์ มาทำการทดลองต่อตอนที่ 2

ตอนที่ 2 ศึกษาระยะเวลาการนึ่งข้าวกล้องเพาะงอกให้สุกบางส่วน (pre-gelatinization)

ในการนึ่งข้าวกล้องให้สุกบางส่วน เพื่อหยุดการงอกของข้าวกล้องและยับยั้งเอนไซม์ อะไมเลส โดยที่ข้าวยังคงมีน้ำหนักหลังการทำแห้งที่ดี และใช้เวลาในการหุงสุกน้อยลง ข้าวมีคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม ซึ่งจะทำให้การทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1) นำข้าวกล้องแต่ละพันธุ์จำนวน 10 พันธุ์ มาเพาะงอกตามกรรมวิธีเช่นเดียวกับตอนที่ 1 ข้อ 4) ถึงข้อ 9) โดยเลือกระยะเวลาการเพาะงอกที่เหมาะสมและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

2) การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมของการนึ่งข้าวกล้องเพาะงอกให้สุกบางส่วน โดยนำข้าวกล้องเพาะงอกแต่ละพันธุ์มานึ่งให้สุกบางส่วน โดยทดลองใช้เวลาในการนึ่งเป็น 5 ระดับ คือ 3, 6, 9, 12, และ 15 นาที แล้วนำไปอบแห้งให้เหลือความชื้นร้อยละ 14

3) นำข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ไปหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ที่อัตราส่วนข้าว ต่อ น้ำ 1 : 2 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม (Juliano et al. 1983)

4) นำข้าวกล้องที่หุงสุกมาทดสอบความชอบ/การยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale หุงข้าวให้สุกและนำเสนอตัวอย่างขณะอุ่นที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส กับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างทางสถิติ

5) วางแผนการทดลองแบบสุ่มไม่บล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ที่มี 5 ทรีตเมนต์ คือระยะเวลาของการนึ่งข้าวกล้องเพาะงอกให้สุกบางส่วนที่ต่างกัน 5 ระดับ

6) เลือกทรีตเมนต์ที่ดีที่สุดไปศึกษาในขั้นตอนที่ 3

ตอนที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นข้าวกล้องเพาะงอกผสม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นข้าวกล้องเพาะงอกผสมนั้น เป็นการนำข้าวกล้องมาผสมกันหลาย ๆ ชนิดในถุงเดียวกันและทำการหุงสุกพร้อมกัน เพื่อต้องการที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม สีสันสวยงาม และมีกลิ่นหอม ชวนรับประทาน โดยทำการศึกษาตามขั้นตอนดังนี้

1) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่หุงสุกบางส่วน โดยนำข้าวกล้องแต่ละพันธุ์จำนวน 10 พันธุ์ ที่ทำการ pre-gelatinization ที่ได้คะแนนการยอมรับดีที่สุดจากผู้ทดสอบมาทำการผสมกันเพื่อหาอัตราส่วนผสมของข้าวที่เหมาะสมโดยในขั้นแรก ทำการศึกษ้อัตราส่วนผสมเริ่มต้นจากข้าวกล้องเพาะงอกหุงสุก 5 ชนิด ที่ประกอบด้วย ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีคุณสมบัติด้านกลิ่นหอม ข้าว กข. 6 ที่มีคุณสมบัติด้านความเหนียวนุ่ม ข้าวเหนียวดำ (ข้าวเก่า) ซึ่งให้คุณสมบัติด้านธาตุเหล็กและวิตามินบีสูง ข้าวมันปูมีคุณสมบัติให้สีแดง และข้าวพันธุ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นอีก 1 พันธุ์ ทำการผสมในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน

2) นำไปหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1: 2 แล้วสอบถามความคิดเห็นจากที่ประชุมกลุ่มย่อย (Focus group discussion) ในด้านต่าง ๆ เช่น ความชอบ ความพอใจและความต้องการของผู้บริโภค ด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส โดยเลือกผู้บริโภคที่รับประทานข้าวกล้องเป็นประจำ มีอายุระหว่าง 18 – 55 ปี จำนวน 8 คน

3) นำข้อสรุป ข้อเสนอแนะที่ได้มาทำการปรับปรุงส่วนผสม ครั้งที่ 1

4) นำข้าวที่ได้จากการปรับส่วนผสมในสูตรต่าง ๆ ไปหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 แล้วสอบถามความคิดเห็นจากที่ประชุมกลุ่มย่อย (Focus group discussion) เป็นครั้งที่ 2 แล้วนำข้อสรุป ข้อเสนอแนะต่าง ๆ มาทำการศึกษาและปรับปรุงสูตรครั้งที่ 2 เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมต่อไป

5) ทำการปรับสูตรส่วนผสมจนได้สูตรผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกหุงกึ่งสุกสูตรที่เหมาะสมไม่เกิน 3 สูตร

6) ทำการทดสอบความชอบ/การยอมรับทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยใช้ 9-points hedonic scale กับผู้ทดสอบจำนวน 170 คน และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างทางสถิติโดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of variance = ANOVA) โดยวิธี Randomized Completely Block Design : RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยการทดลองโดยใช้ Duncan's Multiple – Range Test, DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ใช้โปรแกรม SPSS

7) นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ “ข้าวกล้องเพาะงอกหุงกึ่งสุกผสม” ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเยื่อใย ปริมาณน้ำตาล และปริมาณอะมิโนส (AOAC, 2002)

- วิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์โดยการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ปริมาณยีสต์ รา

ผลการทดลองและอภิปราย (Results and discussion)

ผลการศึกษาดอนที่ 1 ศึกษาการเพาะงอกข้าวกล้องที่เหมาะสม

จากการวัดลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวทางด้านความกว้าง ความยาว และ น้ำหนัก/1,000 เมล็ด แล้วทำการคำนวณหาปริมาณ yield ของข้าวทั้ง 10 ชนิดหลังการขัดสีเป็น ข้าวกล้อง พบว่า ข้าว กข. 6 มี yield เท่ากับร้อยละ 83.32 ข้าว กข. 10 มี yield เท่ากับร้อยละ 83.00 ข้าว กข. 15 มี yield เท่ากับร้อยละ 82.70 ข้าว หอมมะลิแดง มี yield เท่ากับร้อยละ 81.36 ข้าวเหนียวดำ มี yield เท่ากับร้อยละ 82.06 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มี yield เท่ากับร้อยละ 77.30 ข้าวปทุมธานี 1 มี yield เท่ากับร้อยละ 79.23 ข้าวชัยนาท 1 มี yield เท่ากับร้อยละ 82.01 ข้าวพิษณุโลก 2 มี yield เท่ากับร้อยละ 81.47 และข้าวเหลืองประทิว มี yield เท่ากับร้อยละ 76.80 ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก

พันธุ์ข้าว	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก/1,000 เมล็ด (กรัม)
กข.6	2.67	9.82	24.21
กข. 10	2.93	10.45	29.14
กข. 15	2.54	10.49	27.43
หอมมะลิแดง	2.70	10.46	28.03
เหนียวดำ	3.13	10.47	33.41
ขาวดอกมะลิ 105	2.52	10.37	27.76
ปทุมธานี 1	2.69	10.20	25.66
ชัยนาท 1	2.72	10.55	28.41
พิษณุโลก 2	2.88	10.84	29.47
เหลืองประทิว	2.68	10.45	27.13

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง

พันธุ์ข้าว	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก/ 1,000 เมล็ด (กรัม)	yield (ร้อยละ)
กข.6	2.28	7.02	20.171	83.32
กข. 10	2.36	7.27	24.187	83.00
กข. 15	2.16	7.37	22.684	82.70
หอมมะลิแดง	2.14	7.29	22.806	81.36
เหนียวดำ	2.77	7.43	27.419	82.06
ขาวดอกมะลิ 105	2.28	7.27	21.460	77.30
ปทุมธานี 1	2.14	7.53	20.330	79.23
ชัยนาท 1	2.30	7.38	23.298	82.01
พิษณุโลก 2	2.41	7.88	24.010	81.47
เหลืองประทิว	2.30	6.84	20.837	76.80

ผลการศึกษาอัตราการงอกของข้าวกล้อง

จากการศึกษาอัตราการงอกของข้าวกล้องโดยการเพาะงอกข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข.6 พันธุ์ กข. 10 พันธุ์ กข. 15 พันธุ์มันปู พันธุ์เหนียวดำ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์พิษณุโลก 2 และ พันธุ์เหลืองประทิว ในช่วงเวลา 6, 12, 18, 24 และ 30 ชั่วโมง จนข้าวกล้องมีระดับความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร โดยการวัดผลทุกๆ 6 ชั่วโมง ด้วยเวอร์เนียร์เนียคาลิเปอร์ แบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร วัด 20 ตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบความยาวของยอดอ่อนข้าวกล้อง (มิลลิเมตร) แต่ละพันธุ์ในช่วงเวลาการเพาะงอกที่แตกต่างกัน

พันธุ์ข้าว	ความยาวของยอดอ่อนข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)				
	6 ชม.	12 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	30 ชม.
กข.6	0	0.30	1.10	1.98	2.26
กข. 10	0	0.69	1.50	2.36	3.46
กข. 15	0	0.59	0.93	2.09	2.56
หอมมะลิแดง	0	0.52	1.50	2.23	3.12
เหนียวดำ	0	0.35	1.57	2.72	3.78
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.35	1.03	1.97	2.89
ปทุมธานี 1	0	0.72	1.35	2.34	3.04
ชัยนาท 1	0	0.81	1.47	2.36	2.98
พิษณุโลก 2	0	0.40	1.15	2.23	3.14
เหลืองประทิว	0	0.86	1.81	2.52	3.43

จากตารางที่ 7 แสดงความยาวของยอดอ่อนข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ ที่ช่วงเวลาต่างๆ คือ ที่ 6, 12, 18, 24 และ 30 ชั่วโมง พบว่าที่เวลา 6 ชั่วโมง ข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ จะยังไม่มีกรงอก และที่เวลา 12 ชั่วโมง ข้าวกล้อง พันธุ์ เหลืองประทิว งอกยาวมากที่สุด เท่ากับ 0.86 มม. งอกยาวน้อยที่สุด คือ ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6 เท่ากับ 0.30 มม. เมื่อเพาะงอกถึงเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้อง พันธุ์เหลืองประทิว งอกยาวมากที่สุด เท่ากับ 1.81 มม. งอกยาวน้อยที่สุด คือ ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 15 เท่ากับ 0.93 มม. เมื่อเพาะงอกถึงเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้อง พันธุ์ข้าวเหนียวดำ งอกยาวมากที่สุด เท่ากับ 2.72 มม. และ เมื่อเพาะงอกถึงเวลา 30 ชั่วโมง พบว่าข้าวกล้องพันธุ์ข้าวเหนียวดำ งอกยาวมากที่สุด เท่ากับ 3.78 มม. งอกยาวน้อยที่สุด คือ พันธุ์ กข. 6 เท่ากับ 2.26 มม.

อัตราการงอกของข้าวกล้องเกี่ยวข้องกับปริมาณสารอาหารที่สะสมอยู่ในบริเวณคัพภะ เพราะในกระบวนการเจริญเติบโต และการงอกของข้าวกล้อง ต้องใช้สารอาหารจากคัพภะโดยตรง ดังนั้นข้าวที่มีขนาดของเมล็ดที่ใหญ่ ส่งผลให้มีขนาดของคัพภะที่ใหญ่ จึงสามารถงอกได้ดีกว่าข้าวที่มีขนาดของคัพภะขนาดเล็ก เช่นเดียวกับข้าวกล้อง พันธุ์ข้าวเหนียวดำ เป็นข้าวพันธุ์ที่มีขนาด

ใหญ่ที่สุด จึงมีอัตราการงอกเร็วที่สุด ส่วนข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6 เป็นข้าวกล้องที่มีขนาดเล็กกว่าข้าวกล้องอื่นๆ พันธุ์ จึงส่งผลให้มีอัตราการงอกที่ช้าที่สุด

เนื่องจากบริเวณคัพภะ เป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น ทำให้อินทรีย์สารคัพภะนี้ อุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เนื้อเยื่อในส่วนของคัพภะในเมล็ดพืชมีเนื้อเยื่อในการดูดซับน้ำสูง (อรพิน, 2533)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง

จากการวัดลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆ ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร ทั้งทางด้านความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของเมล็ด (1,000 เมล็ด) แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ F-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีของดันแคน (Duncan's Multiple-Range Test, DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 8



ตารางที่ 8 ความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และเมล็ดข้าวกล้องที่เพาะงอกยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร

พันธุ์ข้าว	ความกว้างของเมล็ดข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)		
	ก่อนเพาะงอก	เพาะงอกยาว 1 ม.ม.	เพาะงอกยาว 2 ม.ม.
กข.6 [*]	2.28 ^a	2.24 ^{ab}	2.22 ^b
กข. 10 [*]	2.36 ^a	2.36 ^a	2.11 ^b
กข. 15 [*]	2.16 ^a	2.12 ^{ab}	2.08 ^b
หอมมะลิแดง ^{ns}	2.14	2.12	2.10
เหนียวดำ ^{ns}	2.77	2.68	2.67
ขาวดอกมะลิ 105 [*]	2.28 ^a	2.13 ^b	2.09 ^b
ปทุมธานี 1 ^{ns}	2.14	2.13	2.10
ชัยนาท 1 [*]	2.30 ^a	2.23 ^b	2.30 ^a
พิษณุโลก 2	2.44 ^a	2.36 ^b	2.34 ^b
เหลืองประทิว ^{ns}	2.30	2.24	2.23

หมายเหตุ : ns (not significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความกว้างของข้าวกล้อง ทั้ง 10 พันธุ์ ที่ไม่เพาะงอก และที่เพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร พบว่าลักษณะความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6, กข. 10, กข. 15, ขาวดอกมะลิ 105, ชัยนาท 1 และพันธุ์พิษณุโลก 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลความกว้างโดยเฉลี่ยไปทำการจำแนกความแตกต่างโดยวิธี DMRT พบว่าข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6 ที่ไม่เพาะงอก มีความกว้างเท่ากับ 2.28 มิลลิเมตร, และเพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.24 และ 2.22 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ กข.10 ที่ไม่เพาะงอก มีความกว้างเท่ากับ 2.36 มิลลิเมตร, และที่เพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.36 และ 2.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ กข.15 ที่ไม่เพาะงอก มีความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 2.16 มิลลิเมตร, และที่เพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.12 และ 2.08 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่เพาะงอก มีความกว้างเท่ากับ 2.28 มิลลิเมตร, และที่เพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1

มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.13 และ 2.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ และข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 ที่ไม่เพาะงอก มีความกว้างเท่ากับ 2.30 มิลลิเมตร, และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างของเมล็ดเท่ากับ 2.23 และ 2.30 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความกว้างโดยเฉลี่ยของข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง, ข้าวเหนียวดำ, ปทุมธานี 1 และพันธุ์ เหลืองประทิว ทั้งที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.14, 2.12 และ 2.10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.77, 2.68 และ 2.67 มิลลิเมตร ตามลำดับ ข้าวกล้องพันธุ์ ปทุมธานี 1 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.14, 2.13 และ 2.10 มิลลิเมตร ตามลำดับ และ ข้าวกล้องพันธุ์ เหลืองประทิว ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความกว้างเท่ากับ 2.30, 2.24 และ 2.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากการศึกษาความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องหลังเพาะงอก พบว่าค่าความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องจะลดลง เนื่องจากในกระบวนการงอกน้ำที่มีในเมล็ดจะละลายโปรตีนพลาซิมและทำให้อาหารที่เก็บสะสมไว้ในรูปโมเลกุลใหญ่ๆ แตกย่อยออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญ หรือยอดอ่อนที่ใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องมีค่าลดลง

ตารางที่ 9 ความยาวของเมล็ดข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และเมล็ดข้าวกล้องที่เพาะงอกยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร

พันธุ์ข้าว	ความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)		
	ก่อนเพาะงอก	เพาะงอกยาว 1 ม.ม.	เพาะงอกยาว 2 ม.ม.
กข.6 [*]	7.02 ^b	7.28 ^a	7.32 ^a
กข. 10 [*]	7.27 ^b	7.16 ^b	7.67 ^a
กข. 15 ^{ns}	7.37	7.53	7.56
หอมมะลิแดง [*]	7.29 ^b	7.30 ^b	7.48 ^a
เหนียวดำ [*]	7.43 ^b	7.50 ^b	7.88 ^a
ขาวดอกมะลิ 105 ^{ns}	7.27	7.27	7.34
ปทุมธานี 1 ^{ns}	7.53	7.53	7.65
ชัยนาท 1 [*]	7.38 ^b	7.71 ^a	7.73 ^a
พิษณุโลก 2 [*]	7.88 ^b	7.93 ^b	8.25 ^a
เหลืองประทิว [*]	6.84 ^b	6.57 ^b	7.26 ^a

หมายเหตุ : ns (not significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความยาวเมล็ดข้าวกล้อง ทั้ง 10 พันธุ์ ที่ไม่เพาะงอก และที่เพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร พบว่าลักษณะความยาวของเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6, กข. 10, หอมมะลิแดง, ข้าวเหนียวดำ, ชัยนาท 1, พิษณุโลก 2, และพันธุ์เหลืองประทิว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลไปทำการจำแนกความแตกต่างโดยวิธี DMRT พบว่าข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6 ที่ไม่เพาะงอก มีความยาวเท่ากับ 7.02 มิลลิเมตร, และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.28 และ 7.32 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ กข.10 ที่ไม่เพาะงอก มีความยาวเท่ากับ 7.27 มิลลิเมตร และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.16 และ 7.67 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง ที่ไม่เพาะงอกมีความยาวเท่ากับ 7.29 มิลลิเมตร และที่เพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.30 และ 7.48

มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ ที่ไม่เพาะงอก มีความยาวเท่ากับ 7.43 มิลลิเมตร และที่เพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.50 และ 7.88 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 ที่ไม่เพาะงอก มีความยาวเท่ากับ 7.38 มิลลิเมตร และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.71 และ 7.73 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ พิษณุโลก 2 ที่ไม่เพาะงอก มีความยาวเท่ากับ 7.88 มิลลิเมตร และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.93 และ 8.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ, และข้าวกล้องพันธุ์ เหลืองประทิว ที่ไม่เพาะงอก มีความยาวเท่ากับ 6.84 มิลลิเมตร และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 6.57 และ 7.26 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความยาวเมล็ดโดยเฉลี่ยของข้าวกล้องพันธุ์ กข. 15, ข้าวกล้องพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอก ที่ความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 15 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.37, 7.53 และ 7.56 มิลลิเมตรตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.27, 7.27 และ 7.34 มิลลิเมตร ตามลำดับ, และ ข้าวกล้องพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 7.53, 7.53 และ 7.65 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากการศึกษาความยาวของเมล็ดข้าวกล้องหลังเพาะงอก พบว่าค่าความยาว ของเมล็ด ข้าวกล้องจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการเพาะงอก เมื่อนำข้าวกล้องมาแช่น้ำ น้ำที่ซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดจะกระตุ้นการงอก จนกระทั่งข้าวกล้องมียอดอ่อนยาว 2 มิลลิเมตร ในขณะที่ข้าวมีการงอก องค์ประกอบทางเคมีก็มีการเปลี่ยนแปลง มีการสร้างสารอาหารทำให้ภายในเมล็ดข้าวมีการหายใจ มีการเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความยาวของเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้น

หลังจากที่ต้นอ่อนมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ ให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตแล้ว ปรากฏการณ์ที่จะเห็นได้ชัดก็คือ การยืดตัวของจุดเจริญ ซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์ และการยืดตัวของเซลล์ โดยทั่วไปส่วนของรากอ่อนจะมีการเจริญเติบโตให้เห็นก่อนส่วนของลำต้น หรือยอดอ่อน ดังนั้นการเจริญเติบโตที่เห็นได้ชัดก่อนสิ่งอื่นก็คือ การที่รากโผล่ออกมาจากส่วนของเมล็ดข้าวกล้อง โดยต้นให้เยื่อหุ้มเมล็ดแตกออก ติดตามมาด้วยส่วนของยอดอ่อน (จวงจันทร. 2529)

ตารางที่ 10 น้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และเมล็ดข้าวกล้องที่เพาะงอกยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร

พันธุ์ข้าว	น้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้อง/1,000 เมล็ด (กรัม)		
	ก่อนเพาะงอก	เพาะงอกยาว 1 ม.ม.	เพาะงอกยาว 2 ม.ม.
กข.6 [*]	20.171 ^a	20.070 ^b	19.810 ^b
กข. 10 [*]	24.187 ^a	22.873 ^b	22.230 ^c
กข. 15 [*]	22.684 ^a	20.160 ^b	19.680 ^b
หอมมะลิแดง ^{ns}	22.806	22.630	22.550
เหนียวดำ [*]	28.619 ^a	26.454 ^b	25.849 ^b
ขาวดอกมะลิ 105 ^{ns}	21.460	21.264	21.110
ปทุมธานี 1 [*]	20.330 ^a	19.729 ^b	18.155 ^c
ชัยนาท 1 ^{ns}	23.298	23.121	22.620
พิษณุโลก 2 ^{ns}	24.010	23.465	23.021
เหลืองประทิว [*]	22.254 ^a	21.930 ^a	20.837 ^b

หมายเหตุ : ns (not significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักข้าวกล้องต่อ 1,000 เมล็ด ทั้ง 10 พันธุ์ ที่ไม่เพาะงอก และที่เพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าน้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6, กข. 10, กข. 15, ข้าวเหนียวดำ, ปทุมธานี 1 และพันธุ์เหลืองประทิว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลไปทำการจำแนกความแตกต่างโดยวิธี DMRT พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6 ที่ไม่เพาะงอก มีน้ำหนักเท่ากับ 20.171 กรัม และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 20.070 และ 19.810 กรัม ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 10 ที่ไม่เพาะงอก มีน้ำหนักเท่ากับ 24.187 กรัม และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 22.873 และ 22.230 กรัม ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 15 ที่ไม่เพาะงอก มีน้ำหนักเท่ากับ 22.684 กรัม และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 20.160 และ 19.680 กรัม ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ ที่ไม่เพาะงอก มีน้ำหนักเท่ากับ 28.619 กรัม และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 26.454 และ 25.849 กรัม ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ปทุมธานี 1 ที่ไม่เพาะงอก มีน้ำหนักเท่ากับ 20.330 กรัม, และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 19.729 และ 18.155 กรัม

ตามลำดับ และข้าวกล้องพันธุ์ เหลืองประทิว ที่ไม่เพาะงอก มีน้ำหนักเท่ากับ 22.254 กรัม และที่เพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 21.930 และ 20.837 กรัม ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ดของข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง, ข้าวกล้องพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105, ข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 และข้าวกล้องพันธุ์ พิษณุโลก 2 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกให้มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 22.806, 22.630 และ 22.550 กรัม ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 21.460, 21.264 และ 21.110 กรัม ตามลำดับ, ข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 23.298, 23.121 และ 22.620 กรัม ตามลำดับ, และข้าวกล้องพันธุ์ พิษณุโลก 2 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 24.010, 23.465 และ 23.021 กรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาน้ำหนักของข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ หลังการเพาะงอก พบว่ามีการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการงอก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang และ Field (1978) ที่พบว่า เมื่อเวลาการเพาะเมล็ดข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการงอกในข้าวฟ่างเพิ่มจากร้อยละ 1.8 เป็น 3.8 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 24 ชั่วโมง เป็น 72 ชั่วโมง และงานวิจัยของ Bradtzaeg et al. (1981) พบว่าในข้าวสาลีเพาะงอก น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการงอกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 12 เมื่อเวลาการเพาะเพิ่มขึ้นจาก 24 ชั่วโมง เป็น 96 ชั่วโมง

น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการงอกนี้ เป็นสัดส่วนเดียวกับการเพาะเมล็ด การสูญเสีย เนื่องจากการงอกดังกล่าว เกิดจากกิจกรรมการหายใจ และการงอกของเมล็ด อย่างไรก็ตาม ก็ควรมีการสูญเสียน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการสูญเสียของสารอาหารในระหว่างการงอก (Pathirana et al. 1983)

การที่เมล็ดข้าวกล้องผ่านกระบวนการงอก น้ำหนักที่ได้จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ น้ำหนักข้าวกล้องเริ่มต้น (ที่ยังไม่ผ่านการงอก) เพราะในขณะที่เกิดการงอกสารอาหารที่สะสม เช่น สตาร์ช โปรตีน และไขมัน ถูกย่อยเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก และใช้ในการเจริญเติบโตของคัพภะ จึงทำให้น้ำหนักของข้าวที่เพาะงอกลดลง เมื่อนำน้ำหนักของข้าวที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของเมล็ดข้าวกล้อง

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของเมล็ดข้าวกล้อง (ก่อนเพาะงอก และหลังเพาะงอก)

หน่วย; ร้อยละ

พันธุ์ข้าว	*ทรีตเมนต์	อะมิโลส	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	ความชื้น
กข.6	1	13.00	7.42	71.38	2.15	0.73	4.74	13.58
	2	10.00	7.64	70.91	2.99	0.74	4.66	13.06
	3	7.60	7.80	70.31	2.67	0.79	4.50	13.93
กข. 10	1	13.00	8.11	72.44	2.52	0.79	3.02	13.12
	2	10.20	8.21	70.96	2.42	0.83	3.63	13.95
	3	13.80	8.42	73.01	2.41	0.76	3.10	13.30
กข. 15	1	24.40	8.54	68.55	2.65	0.89	6.30	13.07
	2	18.00	8.93	71.83	2.47	0.92	2.27	13.58
	3	24.00	8.88	67.47	2.35	0.88	7.04	13.38
หอมมะลิแดง	1	18.60	8.96	65.88	2.29	1.21	7.14	13.91
	2	22.00	9.22	67.66	2.06	1.01	6.20	13.85
	3	24.00	9.35	66.66	2.08	1.09	6.91	13.91
เหนียวดำ	1	9.80	8.66	71.59	2.31	1.03	2.64	13.77
	2	9.00	8.93	69.86	2.71	1.20	3.78	13.52
	3	11.60	9.67	67.86	2.33	1.15	5.47	13.52
ขาวดอกมะลิ105	1	19.60	8.64	71.55	3.16	0.72	2.51	13.42
	2	20.00	8.82	68.98	2.90	0.75	5.08	13.47
	3	21.60	9.86	67.00	2.20	0.78	3.55	13.61
ปทุมธานี 1	1	19.60	8.29	67.81	2.71	1.25	5.70	14.24
	2	28.40	8.25	67.74	2.65	1.12	7.11	13.13
	3	28.80	8.56	69.20	2.16	0.98	4.65	14.45
ชัยนาท 1	1	25.80	9.17	70.87	2.20	0.94	3.79	13.03
	2	29.20	9.04	67.81	2.54	0.86	6.68	13.70
	3	33.60	9.35	69.35	2.92	0.92	3.52	13.94
พิษณุโลก 2	1	37.33	8.22	71.58	2.76	0.84	3.22	13.38
	2	32.10	8.30	71.61	2.62	0.86	3.40	13.21
	3	35.67	8.58	71.18	2.65	0.87	3.29	13.43
เหลืงประทิว	1	22.60	8.42	67.46	2.26	1.22	7.30	13.34
	2	24.00	8.18	69.94	2.09	1.32	5.24	13.23
	3	22.40	8.29	71.15	2.35	1.18	3.33	13.70

หมายเหตุ *ทรีตเมนต์ 1 คือ ก่อนเพาะงอก, ทรีตเมนต์ 2 คือ เพาะงอก 1 มิลลิเมตร, ทรีตเมนต์ 3 คือ เพาะงอก 2 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 11 แสดงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอะมิโลส ปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใย ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น ที่เป็นองค์ประกอบในข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ที่ไม่เพาะงอก และข้าวกล้องเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าพันธุ์ข้าวเหนียวได้แก่ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 6, ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 10 และข้าวกล้องพันธุ์ข้าวเหนียวดำจะมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 7.60-13.80 ส่วนพันธุ์ข้าวเจ้าที่นำมาศึกษาพบว่าปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 18.00-37.33 จากการสังเกตผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการเพาะงอกแล้วจะมีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

โดยการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count Agar) ในเมล็ดข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ ทั้งก่อนเพาะงอก และหลังเพาะงอกแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของเมล็ดข้าวกล้อง (ก่อนและหลังเพาะงอก)

พันธุ์ข้าว	จำนวนโคโลนี (Plate Count Agar) CFU/g		
	ไม่เพาะงอก	เพาะงอก 1 ม.ม.	เพาะงอก 2 ม.ม.
กข.6	4.85×10^3	2.30×10^3	3.90×10^4
กข. 10	1.75×10^4	1.00×10^3	5.33×10^3
กข. 15	2.70×10^3	1.00×10^3	4.65×10^2
หอมมะลิแดง	5.50×10^3	7.40×10^2	5.63×10^2
เหนียวดำ	3.10×10^3	3.80×10^2	4.67×10^2
ขาวดอกมะลิ 105	2.35×10^3	1.00×10^3	1.70×10^3
ปทุมธานี 1	4.80×10^4	3.10×10^4	7.15×10^2
ชัยนาท 1	1.12×10^4	8.03×10^3	1.20×10^3
พิษณุโลก 2	2.34×10^3	2.12×10^3	2.26×10^3
เหลืองประทิว	2.60×10^4	1.80×10^3	9.60×10^3

จากตารางที่ 12 แสดงผลการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ในข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก 10 พันธุ์ โดยใช้อาหาร Plate Count Agar (PCA) ทำการเลี้ยงเชื้อนาน 48 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ กข.6 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.85×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ กข. 10 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.75×10^4 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ กข.15 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

2.70×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.50×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.10×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.35×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ปทุมธานี 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.80×10^4 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.12×10^4 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ พิษณุโลก 2 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.34×10^3 CFU/g และ ข้าวกล้องพันธุ์ เหลืองประทิว มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.60×10^4 CFU/g

จากตารางแสดงผลการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวกล้องเพาะงอกยาว

1 มิลลิเมตร จำนวน 10 พันธุ์ โดยใช้อาหาร PCA (Plate Count Agar) ทำการเลี้ยงเชื้อนาน 48 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ กข.6 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.30×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ กข.10 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.0×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ กข.15 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.0×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 7.40×10^2 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.80×10^2 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.00×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ปทุมธานี 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.10×10^4 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 8.03×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ เหลืองประทิว มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.80×10^3 CFU/g และข้าวกล้องพันธุ์ พิษณุโลก 2 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.12×10^3 CFU/g

จากตารางแสดงผลการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวกล้องเพาะงอกยาว

2 มิลลิเมตร จำนวน 10 พันธุ์ โดยใช้อาหาร PCA (Plate Count Agar) ทำการเลี้ยงเชื้อนาน 48 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ กข.6 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.90×10^4 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ กข.10 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.33×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ กข.15 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.65×10^2 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.63×10^2 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.67×10^2 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.70×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ปทุมธานี 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 7.15×10^2 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ ชัยนาท 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.20×10^3 CFU/g ข้าวกล้องพันธุ์ พิษณุโลก 2 มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.26×10^3 CFU/g และข้าวกล้องพันธุ์ เหลืองประทิว มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 9.60×10^3 CFU/g

จากผลการศึกษาทางด้านจุลินทรีย์ของข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอกกับข้าวกล้องเพาะงอกยาว 1 และ 2 มิลลิเมตร ในข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ พบว่า ข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ที่ผ่านการเพาะงอกมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลง ถึงแม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิวของเมล็ดข้าวกล้องจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแช่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ลดลงได้โดยการนำไปให้น้ำใน

ขั้นตอนการยับยั้งการงอก เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวกล้องผง พบว่าจำนวนเชื้อที่พบในข้าวกล้องเพาะงอกหลังการนำไป pregelatinization อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามการใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทั่วไปในข้าวกล้องเพาะงอก (Komatsuzaki *et al.*, 2007)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ ก่อนเพาะงอก และหลังเพาะงอก

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเมล็ดข้าวกล้อง (ก่อนเพาะงอก เพาะงอก 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร)

พันธุ์ข้าว	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวม		
	ไม่เพาะงอก	เพาะงอก 1 ม.ม.	เพาะงอก 2 ม.ม.
กข 6	5.56 ^a	4.50 ^b	5.56 ^a
กข 10	4.48 ^b	3.30 ^c	6.54 ^a
กข 15 ^{ns}	6.82	5.10	6.62
เหนียวดำ ^{ns}	7.26	7.18	7.04
หอมมะลิแดง ^{ns}	6.68	6.64	6.46
ขาวดอกมะลิ 105	7.06 ^a	6.50 ^b	6.96 ^{ab}
ปทุมธานี 1 ^{ns}	4.60	4.12	4.36
ชัยนาท 1 ^{ns}	5.60	5.10	5.08
พิษณุโลก 2 ^{ns}	4.88	4.90	4.80
เหลืองประทิว ^{ns}	4.02	4.06	4.30

หมายเหตุ : ns (not significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ยที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คนให้คะแนน 9 ระดับ (9 points hedonic scale) พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับด้านความชอบโดยรวมของข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร พันธุ์กข.15, พันธุ์ข้าวเหนียวดำ, พันธุ์หอมมะลิแดง, พันธุ์ปทุมธานี, พันธุ์ชัยนาท, พันธุ์พิษณุโลก และ พันธุ์เหลืองประทิว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยข้าวกล้องที่ไม่เพาะงอก พันธุ์กข.15, พันธุ์ข้าวเหนียวดำ, พันธุ์

หอมมะละแดง, พันธุ์ปทุมธานี, พันธุ์ชัยนาท, พันธุ์พิษณุโลก และ พันธุ์เหลืองประทิว มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.82, 7.26, 6.68, 4.60, 5.60, 4.88 และ 4.02 ตามลำดับ ข้าวกล้างที่เพาะงอกยาว 1 มิลลิเมตร พันธุ์ข.15, พันธุ์ข้าวเหนียวดำ, พันธุ์หอมมะละแดง, พันธุ์ปทุมธานี, พันธุ์ชัยนาท, พันธุ์พิษณุโลก และ พันธุ์เหลืองประทิว มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 5.10, 7.18, 6.64, 4.12, 5.10, 4.90 และ 4.06 ตามลำดับ และข้าวกล้างที่เพาะงอกยาว 2 มิลลิเมตร พันธุ์ข.15, พันธุ์ข้าวเหนียวดำ, พันธุ์หอมมะละแดง, พันธุ์ปทุมธานี, พันธุ์ชัยนาท, พันธุ์พิษณุโลก และ พันธุ์เหลืองประทิวมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.62, 7.04, 6.46, 4.36, 5.08, 4.80 และ 4.30 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความชอบโดยรวม ของข้าวกล้างพันธุ์ กข.6 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลความชอบโดยรวม มาจำแนกความแตกต่างโดยวิธี DMRT สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกัน โดยกลุ่มแรก คือ ข้าวกล้างที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 2 มิลลิเมตร มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 5.56 และ 5.56 ตามลำดับ กลุ่มสอง คือ ข้าวกล้างเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 4.50

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความชอบโดยรวม ของข้าวกล้างพันธุ์ กข.10 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลความชอบโดยรวม มาจำแนกความแตกต่างโดยวิธี DMRT สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน โดยกลุ่มแรก คือ ข้าวกล้างเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 2 มิลลิเมตร มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.54 กลุ่มสอง คือ ข้าวกล้างที่ไม่เพาะงอก มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 4.48 และกลุ่มสาม คือ ข้าวกล้างเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 1 มิลลิเมตร มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 3.30

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความชอบโดยรวม ของข้าวกล้างพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ไม่เพาะงอก และเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลความชอบโดยรวม มาจำแนกความแตกต่างโดยวิธี DMRT สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน โดยกลุ่มแรก คือ ข้าวกล้างที่ไม่เพาะงอก มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 7.06 กลุ่มสอง คือ ข้าวกล้างเพาะงอกที่ความยาวของยอดอ่อน 2 มิลลิเมตร มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.96 กลุ่มสาม คือ ข้าวกล้างเพาะงอกที่มีความยาวของยอดอ่อน 1 มิลลิเมตร มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.5

ผลการศึกษาตอนที่ 2 ระยะเวลาการนึ่งข้าวกล้องเพาะงอกให้สุกบางส่วน

จากการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวกล้องเพาะงอกทั้ง 10 พันธุ์ คือ พันธุ์ กข.6, กข. 10, กข. 15, หอมมะลิแดง, เหนียวดำ, ข้าวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1, พิษณุโลก 2 และพันธุ์เหลืองประทิว ให้สุกบางส่วนด้วยเวลาที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที แล้วนำมาทำให้แห้งให้มีความชื้นร้อยละ 14 และหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2 ถ้วยตวง จึงนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบโดยรวม โดยใช้วิธี 9-points hedonic scale กับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 คะแนนเฉลี่ยผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-points hedonic scale ของข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ หลังการนึ่งให้สุกบางส่วนที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที

พันธุ์ข้าว	เวลาในการหุงข้าวกล้องให้สุกบางส่วน (pre-gelatinization)				
	3 นาที	6 นาที	9 นาที	12 นาที	15 นาที
กข. 6 ^{ns}	7.73	7.73	7.63	7.50	8.03
กข.10 ^{ns}	7.53	7.50	7.17	7.13	7.37
กข.15 ^{ns}	7.63	7.30	7.47	7.70	7.53
หอมมะลิแดง ^{ns}	7.70	7.70	8.00	7.70	7.93
เหนียวดำ*	7.60 ^b	7.37 ^b	8.60 ^a	7.80 ^a	8.13 ^{ab}
ข้าวดอกมะลิ105 ^{ns}	7.87	8.10	7.77	7.77	7.53
ปทุมธานี 1 ^{ns}	7.80	7.77	8.03	8.00	7.93
ชัยนาท 1 ^{ns}	7.30	7.50	7.83	7.67	7.30
พิษณุโลก 2*	7.73 ^b	8.53 ^{ab}	8.33 ^{ab}	8.60 ^a	8.17 ^{ab}
เหลืองประทิว ^{ns}	6.37	6.67	6.93	7.07	5.80

หมายเหตุ : ns (not significant) หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยต่อท้ายด้วยอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 14 ผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-points hedonic scale ของข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ หลังการนึ่งให้สุกบางส่วนที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ ข้าวพันธุ์ กข.6, กข. 10, กข. 15, หอมมะลิแดง, ข้าวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1 และเหลืองประทิว ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนข้าวพันธุ์ ข้าวเหนียวดำ และพันธุ์พิษณุโลก 2 นั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อจำแนกความแตกต่างด้วยวิธี DMRT โดยที่พันธุ์ข้าวเหนียวดำ ให้ผลการยอมรับสูงสุดที่ระยะเวลา 9 นาที ที่ระดับคะแนนการยอมรับเท่ากับ 8.60 และพันธุ์พิษณุโลก 2 ให้ผลการยอมรับสูงสุดที่ระยะเวลา 12 นาที ที่ระดับคะแนนการยอมรับเท่ากับ 8.60

ผลการศึกษาตอนที่ 3 พัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นข้าวกล้องเพาะงอกผสม

3.1 การสอบถามความคิดเห็นจากที่ประชุมกลุ่มย่อย (Focus group discussion)

ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่หุงสุกบางส่วน โดยข้าวกล้องแต่ละพันธุ์จำนวน 10 พันธุ์ ที่ทำการ pre-gelatinization ที่ได้คะแนนยอมรับจากผู้ทดสอบดีที่สุดจากตอนที่ 2 มาทำการผสมเพื่อหาอัตราส่วนที่ผสมของข้าวที่เหมาะสม ซึ่งจะทำการเลือกสูตร โดยการสอบถามความคิดเห็นจากที่ประชุมกลุ่มย่อย (Focus group discussion) โดยในขั้นแรก ทำการศึกษาอัตราส่วนเริ่มต้นจากข้าวกล้องเพาะงอกซึ่งได้สูตรเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงการจัดเตรียมอัตราส่วนของข้าวกล้องงอกผสมสูตรต่าง ๆ โดยปริมาตร เพื่อใช้สอบถามความคิดเห็นจากที่ประชุมกลุ่มย่อย

พันธุ์ข้าว	สูตรที่				
	1	2	3	4	5
ข้าวดอกมะลิ 105	1	1	1	1	1
หอมมะลิแดง	1	1	1	1	1
ข้าวเหนียวดำ	0.50	0.50	-	0.25	1
กข. 6	-	1	1	1	-
ชัยนาท	1	-	1	-	-
เหลืองประทิว	-	1	1	1	1
ปทุมธานี	-	-	-	-	1
อัตราส่วนข้าว : น้ำ	1 : 2.25	1 : 2.50	1 : 2.50	1 : 2.50	1 : 2.25

ผลการอภิปรายความคิดเห็นทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส, กลิ่น และรสชาติจากที่ประชุม กลุ่มย่อย

สูตรที่ 1 ประกอบด้วยพันธุ์ หอมมะลิแดง : ขาวดอกมะลิ 105 : ข้าวเหนียวดำ : ชัยนาท

ในอัตราส่วน 1 : 1 : 0.5 : 1 (อัตราส่วนการหุง ข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.25)

ผลการอภิปราย ได้ความว่า ข้าวในสูตรนี้ยังค่อนข้างที่จะแข็งไปเล็กน้อย แต่เนื้อสัมผัสนุ่มเหนียวพอใช้ได้อยู่ในระดับดี เวลาเคี้ยวให้ความรู้สึกเหนียวและนุ่ม เม็ดข้าวที่หุงสุกดูสวยงามเต็มเม็ด

สูตรที่ 2 ประกอบด้วยพันธุ์ หอมมะลิแดง : ขาวดอกมะลิ 105 : ข้าวเหนียวดำ : เหลืองประทิว :

กข.6 ในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.5 : 1 : 1 (อัตราส่วนการหุง ข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 :

2.50) ผลของการอภิปรายได้ความว่า ข้าวในสูตรนี้ให้ผลตอบรับจากผู้เข้าร่วมอภิปรายดีมาก คือให้เนื้อสัมผัสที่ดี เหนียวนุ่ม ไม่แข็งมาก มีกลิ่นที่หอม รับประทานง่าย เม็ดข้าวที่หุงสุกดูสวยงามเต็มเม็ด และอัตราส่วนของน้ำกับข้าวในส่วนของ การหุงกำลังดี

สูตรที่ 3 ประกอบด้วยพันธุ์ หอมมะลิแดง : ขาวดอกมะลิ 105 : เหลืองประทิว : ชัยนาท : กข.6

ในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1 (อัตราส่วนการหุง ข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.50)

ผลของการอภิปรายได้ความว่า ข้าวในสูตรนี้ มีรสจืด ไม่น่ารับประทาน สีสดดูไม่สวย เนื้อสัมผัสนุ่มเกินไปจนแฉะ เม็ดข้าวแตกดูบวมน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ข้าวเหนียวดำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำข้าวกล้องเพาะงอกผสมถ้าขาดข้าวเหนียวดำจะมีสีและรสชาติไม่น่ารับประทาน (เป็นความคิดเห็นจากผู้ร่วมอภิปราย)

สูตรที่ 4 ประกอบด้วยพันธุ์ หอมมะลิแดง : ขาวดอกมะลิ 105 : ข้าวเหนียวดำ : เหลืองประทิว :

กข.6 ในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.25 : 1 : 1 (อัตราส่วนการหุง ข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.50)

ผลของการอภิปรายได้ความว่า ข้าวในสูตรนี้ให้ผลการอภิปรายไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2 แต่ในส่วน of เม็ดข้าวที่หุงสุกดูแตก และพอง มีรสจืดไปเล็กน้อย ซึ่งไม่แน่ใจว่าจะเป็นผลมาจากที่ปริมาณของข้าวเหนียวดำที่ผสมน้อยไปหรือไม่

สูตรที่ 5 ประกอบด้วยพันธุ์ หอมมะลิแดง : ขาวดอกมะลิ 105 : ข้าวเหนียวดำ : เหลืองประทิว :

ปทุมธานี ในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 1 : 1 : 1 (อัตราส่วนการหุง ข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.25)

ผลของการอภิปรายได้ความว่า สีของข้าวในสูตรนี้เป็นสีที่ไม่น่ารับประทาน เพราะมีสีดำนมาก ในส่วนของข้าวแข็งมากเกินไปและดูเหมือนสุกไม่เท่ากัน ซึ่งในบางเม็ดของข้าวยังดิบและยังไม่สุกใน

บางส่วน อาจเนื่องจากว่า อัตราส่วนของน้ำในการหุงน้อยเกินไป อาจต้องมีการใส่น้ำเพิ่มเป็น 2.5 เท่าและส่วนของสีที่ดูดำมากนั้นอาจเป็นผลมาจากการที่มีส่วนผสมของข้าวเหนียวดำมากเกินไป

ผลการอภิปรายทางด้านสีสันทนของข้าวหุงสุก

ในการทำข้าวกล้องพะวงอกผสมกันหลายพันธุ์และหุงสุกให้ผลตอบรับจากผู้ร่วมอภิปราย ในด้านของสีที่พึงพอใจมาก ซึ่งผู้เข้าร่วมอภิปรายให้ความเห็นที่ตรงกัน คือ ข้าวกล้องผสมที่นำมาให้ทดสอบในวันนี้มีสีสันทนดี ดูน่ารับประทาน และดูแปลกใหม่ เป็นที่น่าสนใจ แต่ในบางสูตร เช่น สูตรที่ 3 ควรเพิ่มส่วนของสีสันทน และสูตรที่ 5 ควรลดในส่วนของการสีดำให้น้อยลงไปกว่านี้

ผลการอภิปรายทางด้านปริมาณการบรรจุ และราคา

ผู้ร่วมอภิปรายให้ความเห็นว่าปริมาณต่อการบรรจุ ขนาด 500 กรัม ควรขายให้อยู่ในช่วงราคา 40 – 50 บาท และ ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม ควรขายให้อยู่ในช่วงราคา 75 – 100 บาท ซึ่งเป็นระดับราคาที่ยอมรับได้ และมีความเห็นเพิ่มเติมว่าราคาขายควรมากกว่าข้าวขาวหรือข้าวธรรมชาติประมาณ 1 เท่าตัว หรือปรับให้เหมาะสมกับกลุ่มคนในทุกสายอาชีพ หรือกลุ่มคนที่บริโภคทุกวันสามารถซื้อบริโภคได้โดยที่ไม่เดือดร้อน

ลักษณะของบรรจุภัณฑ์

ผู้ร่วมอภิปรายให้ความเห็นว่าเป็นถุงแบบตั้ง (stand pouch) ก็น่าจะดี หรือถุงแบบนอนก็ได้ และในส่วนของการเย็บติดบนบรรจุภัณฑ์ หรือฉลากนั้นควรใส่ให้ครบ อาทิ คุณค่าทางอาหาร, คุณค่าที่จะได้รับ, สารอาหารต่าง ๆ และลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากข้าวปกติ เพื่อจะช่วยให้ในเรื่องของความน่าสนใจ

ความต้องการในส่วนอื่น ๆ

- ควรบอกอัตราส่วนในการหุงบนบรรจุภัณฑ์ให้ชัดเจนเพราะว่าแตกต่างจากข้าวขัดขาวที่หุงรับประทานในชีวิตประจำวัน
- บอกถึงลักษณะพิเศษ (ใส่น้ำแล้วหุงทันทีโดยไม่ต้องแช่ข้าว)
- จัดทำข้าวกล้องผสม โดยเน้นจุดเด่น หรือจุดขายไปที่สารอาหารในแต่ละพันธุ์เพื่อสุขภาพ หรือตามโรคต่าง ๆ เช่น สูตรที่มีข้าวกล้องสูง คือสูตรที่มีธาตุเหล็กสูง
- เมื่อได้สูตรที่แน่นอนแล้ว ควรจัดให้ชิมฟรีก่อน เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์ให้มีความรู้ก่อนที่จะเริ่มวางจำหน่าย

สรุปประเด็น จากการทำอภิปรายกลุ่มย่อย

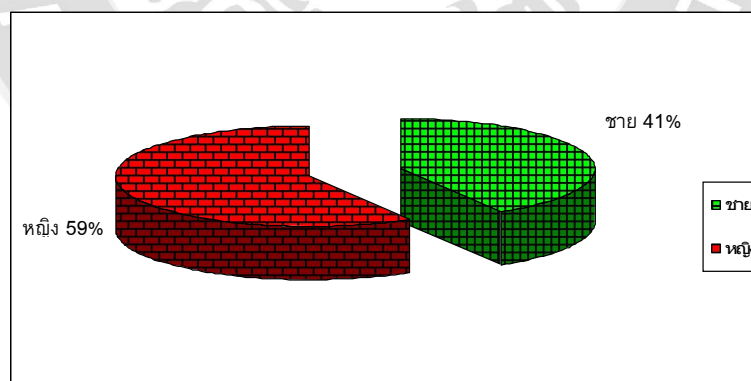
จากการอภิปรายกลุ่มย่อยได้ข้อสรุปดังนี้ คือ พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผสมทำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมนั้นควรประกอบไปด้วย ข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง, ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ข้าวเหนียวดำ (ข้าวกำ), ข้าวเหลืองประทิว และข้าวเหนียวขาว กข.6 ที่อัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.5 : 1 : 1 และ อัตราส่วนของน้ำ ต่อ ข้าว ที่ใช้ในการหุงเท่ากับ 1 : 2.5 ถ้วย ซึ่งจะได้รสชาติ, กลิ่น และ เนื้อสัมผัสที่ดี เหนียวนุ่ม ไม่แข็งมาก มีกลิ่นที่หอม รับประทานง่าย เม็ดข้าวที่หุงสุกดูสวยงามเต็มเม็ด และอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำในส่วนของ การหุงกำลังดี ดังนั้นจึงเลือกนำอัตราส่วนของพันธุ์ข้าวที่นำมาผสมข้างต้นมาทำการทดสอบ ลักษณะความชอบของผู้บริโภคต่อไป

3.2 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค (Consumer test)

ในการทดสอบความชอบของผู้บริโภคนั้น ได้จัดทำแบบประเมินเพื่อให้ผู้บริโภคได้กรอกข้อมูลในด้านความชอบ/การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมโดยใช้ 9-points hedonic scale และสอบถามข้อมูลส่วนตัวได้แก่ อายุ, เพศ, รายได้ และอาชีพ ผลการทดสอบแสดงได้ดังนี้

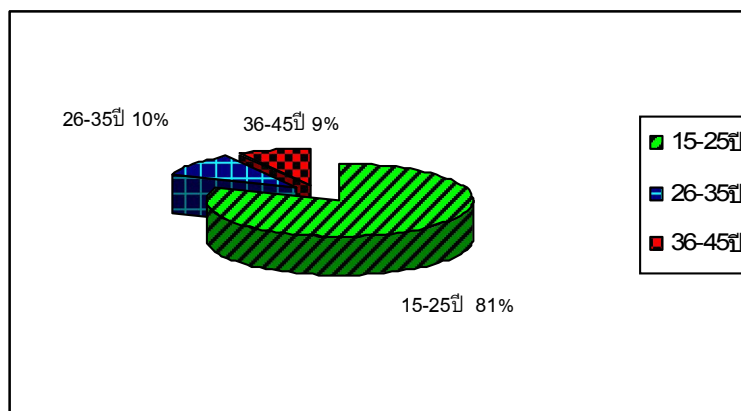
ผลการยอมรับของผู้บริโภค

จากการนำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคจำนวน 170 คน



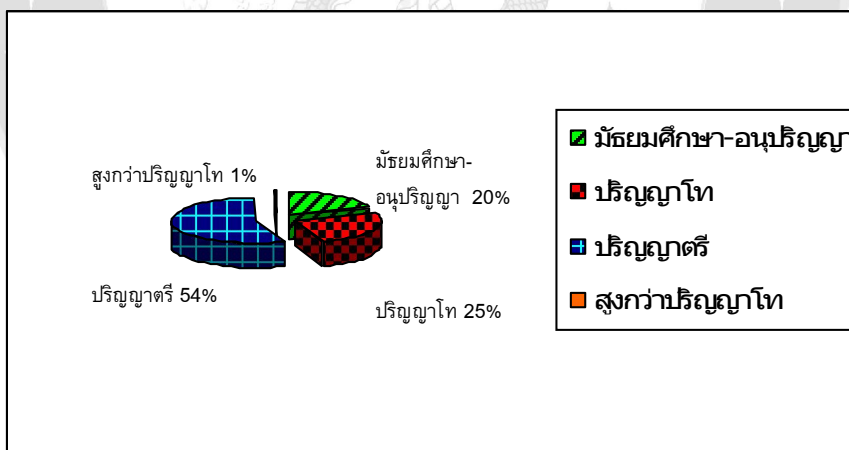
ภาพที่ 13 เพศของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสม

จากภาพที่ 13 แสดงเพศของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมพบว่า ร้อยละ 59 เป็นเพศหญิง และร้อยละ 41 เพศชาย จากจำนวนผู้ทดสอบ 170 คน



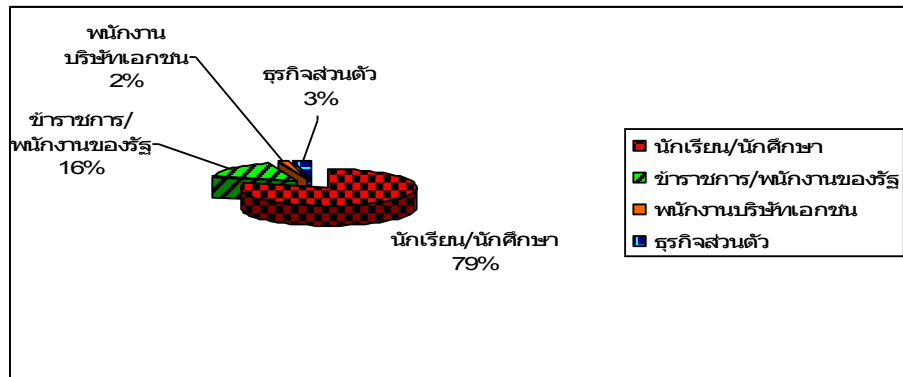
ภาพที่ 14 ช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตข้าวกลั่นเพาะงอกผสม

จากภาพที่ 14 แสดงช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตข้าวกลั่นเพาะงอกผสม พบว่ามีช่วงอายุต่างๆ ดังนี้ ร้อยละ 81 อายุ 15 -25 ปี, ร้อยละ 10 อายุ 26-35 ปี และร้อยละ 9 อายุ 35-45 ปี จากจำนวนผู้ทดสอบ 170 คน



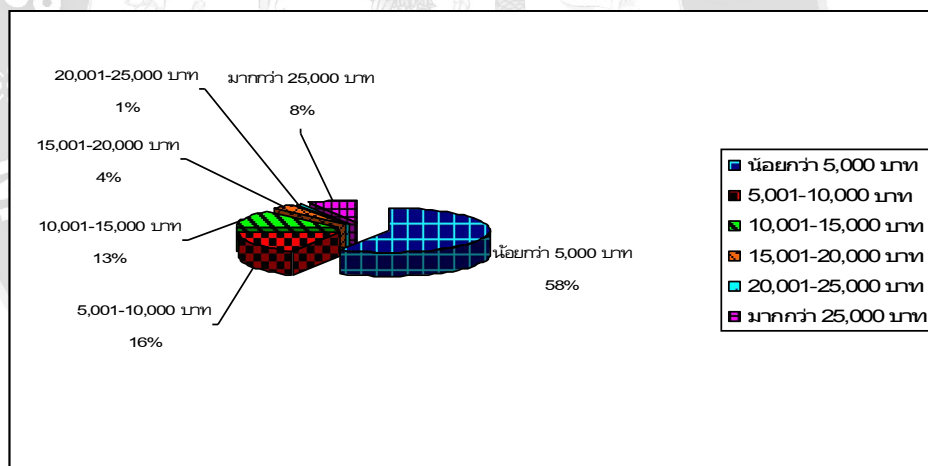
ภาพที่ 15 ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตข้าวกลั่นเพาะงอกผสม

จากภาพที่ 15 แสดงระดับการศึกษาของผู้ทดสอบผลิตข้าวกลั่นเพาะงอกผสม พบว่ามีระดับการศึกษา ดังนี้ ร้อยละ 54 ปริญญาตรี, ร้อยละ 25 ปริญญาโท, ร้อยละ 20 มัธยมศึกษา-อนุปริญญา และร้อยละ 1 สูงกว่าปริญญาโท จากจำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 170 คน



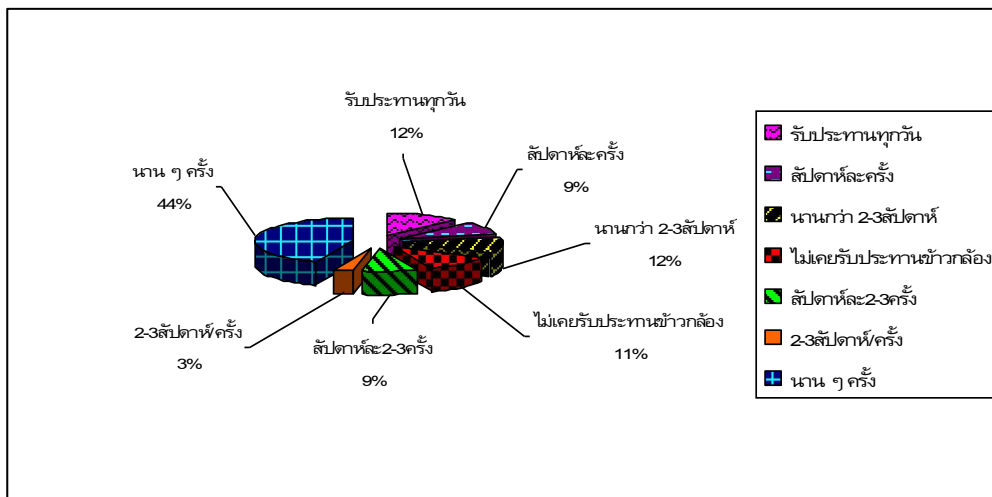
ภาพที่ 16 อาชีพของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสม

จากภาพที่ 16 แสดงอาชีพต่าง ๆ ของผู้ทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสม พบว่ามีอาชีพต่าง ๆ ดังนี้ ร้อยละ 79 นักเรียน/นักศึกษา, ร้อยละ 16 ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ, ร้อยละ 3 ธุรกิจส่วนตัว และร้อยละ 2 พนักงานบริษัทเอกชน จากจำนวนผู้ตอบทั้งหมด 170 คน



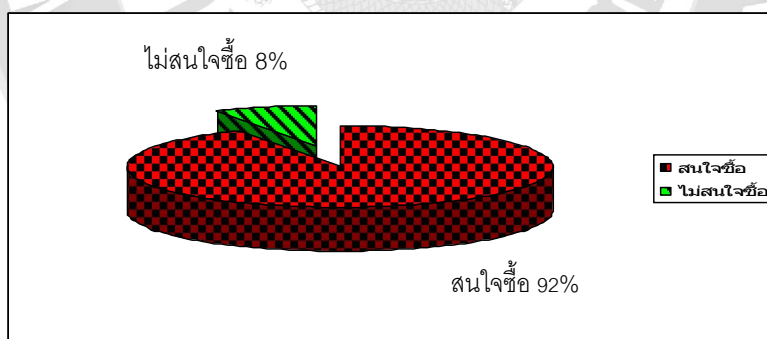
ภาพที่ 17 รายได้โดยเฉลี่ยของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสม

จากภาพที่ 17 แสดงรายได้โดยเฉลี่ยของผู้ตอบแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสมจำนวน 170 คน พบว่ามีรายได้โดยเฉลี่ย ดังนี้ ร้อยละ 58 รายได้โดยเฉลี่ย น้อยกว่า 5,000 บาท, ร้อยละ 16 รายได้โดยเฉลี่ย 5,001-10,000, ร้อยละ 13 รายได้โดยเฉลี่ย 10,001-15,000 บาท, ร้อยละ 8 มากกว่า 25,000, ร้อยละ 4 รายได้โดยเฉลี่ย 15,001-20,000 และร้อยละ 1 รายได้โดยเฉลี่ย มากกว่า 20,001-25,000 บาท



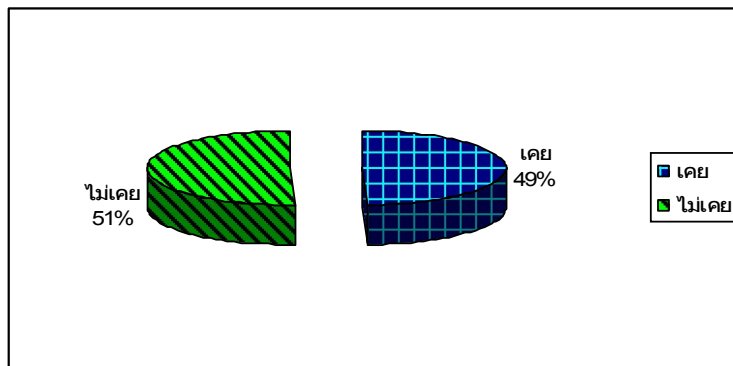
ภาพที่ 18 ความถี่ในการรับประทานข้าวกล้องของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากภาพที่ 18 แสดงค่าความถี่ในการรับประทานข้าวกล้องของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 170 คน ซึ่งมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคดังนี้ ร้อยละ 44 บริโภคนาน ๆ ครั้ง, ร้อยละ 12 รับประทานทุกวัน และนานกว่า 2-3 สัปดาห์, ร้อยละ 11 ไม่เคยรับประทาน, ร้อยละ 9 รับประทาน สัปดาห์ละครั้ง และร้อยละ 3 รับประทาน 2-3 สัปดาห์/ครั้ง



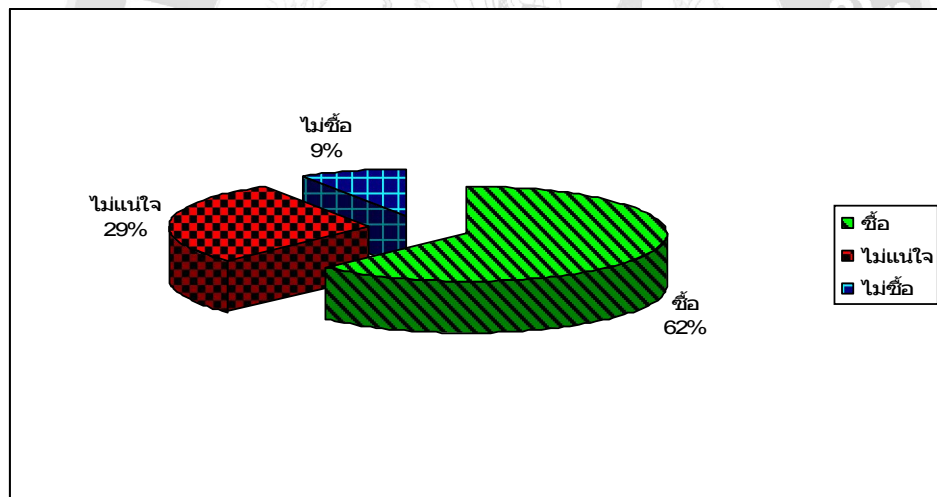
ภาพที่ 19 ความสนใจที่จะซื้อข้าวกล้องเมื่อทราบคุณค่าทางโภชนาการ

ภาพที่ 19 แสดงจำนวนความสนใจที่จะซื้อข้าวกล้องเมื่อได้รับทราบถึงคุณค่าทาง โภชนาการ โดยการสอบถามจากผู้บริโภคจำนวน 170 คน ซึ่งร้อยละ 92 ของผู้ตอบแบบสอบถามมี ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเมื่อทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการ และร้อยละ 8 ไม่สนใจซื้อ



ภาพที่ 20 การได้ยืมหรือการรู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงงอก

ภาพที่ 20 แสดงถึงการได้ยืมหรือการรู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงงอกของผู้บริโภค จากการสอบถามผู้บริโภคจำนวน 170 คน ซึ่งพบว่าผู้บริโภครู้จักข้าวกล้องพะวงงอกร้อยละ 49 และร้อยละ 51 ไม่รู้จักข้าวกล้องพะวงงอก



ภาพที่ 21 ความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงงอก

ภาพที่ 21 แสดงถึงคะแนนเฉลี่ยที่ผู้บริโภคมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงงอก โดยทำการสำรวจผู้บริโภคจำนวน 170 คน ซึ่งร้อยละ 62 มีความสนใจที่จะซื้อ, ร้อยละ 29 ไม่แน่ใจที่จะซื้อ และร้อยละ 9 ไม่สนใจ

ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง
เพาะงอกผสมจากผู้ทดสอบจำนวน 170 คน แสดงดังตารางที่ 16 พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่
มากกว่าร้อยละ 45 ชอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมในระดับที่ชอบมาก ทั้งในคุณลักษณะ
ของ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัส

ระดับความชอบ	ความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (ร้อยละ)			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ชอบมากที่สุด	18	10	14	12
ชอบมาก	45	45	50	46
ชอบปานกลาง	25	35	21	25
ชอบเล็กน้อย	7	6	9	11
บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	1	3	4	3
ไม่ชอบเล็กน้อย	2	0	0	1
ไม่ชอบปานกลาง	1	0	1	1
ไม่ชอบมาก	1	0	0	0
ไม่ชอบมากที่สุด	0	1	1	1

สรุปผล (Summary)

จากการศึกษาอัตราการงอกของข้าวกล้องโดยการเพาะงอกข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข.6 พันธุ์ กข. 10 พันธุ์ กข. 15 พันธุ์มันปู พันธุ์เหนียวดำ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ ปทุมธานี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์พิษณุโลก 2 และ พันธุ์เหลืองประทิว ในช่วงเวลา 6, 12, 18, 24 และ 30 ชั่วโมง จนข้าวกล้องมีระดับความยาวของยอดอ่อนที่ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร โดยการวัดผลทุกๆ 6 ชั่วโมง ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ พบว่าข้าวกล้องพันธุ์ข้าวเหนียวดำ งอกยาวมากที่สุด เท่ากับ 3.78 มม. ส่วนพันธุ์ กข. 6 งอกยาวน้อยที่สุด คือ เท่ากับ 2.26 มม.

ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้องแต่ละพันธุ์ที่ทำการศึกษา หลังจากผ่านกระบวนการเพาะงอก พบว่า ค่าความกว้างโดยเฉลี่ยของเมล็ดลดลง ค่าความยาว โดยเฉลี่ยของเมล็ดเพิ่มขึ้น และน้ำหนักของเมล็ด (1,000 เมล็ด) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวที่ผ่านการเพาะงอก และนำไป pregelatinization พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการเพาะ ถึงแม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิวของเมล็ดข้าวกล้องจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแช่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ลดลงได้โดยการนำไปให้น้ำในขั้นตอนการยับยั้งการงอก เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวกล้องผง พบว่าจำนวนเชื้อที่พบในข้าวกล้องเพาะงอกหลังการนำไป pregelatinization อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-points hedonic scale ของข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ หลังการนึ่งให้สุกบางส่วนที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที พบว่า ข้าวพันธุ์ กข.6, กข. 10, กข. 15, หอมมะลิแดง, ข้าวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1 และเหลืองประทิว ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วน ข้าวเหนียวดำ และพันธุ์พิษณุโลก 2 นั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่พันธุ์ข้าวเหนียวดำมีคะแนนการยอมรับสูงสุดที่ระยะเวลาการนึ่ง 9 นาที และพันธุ์พิษณุโลก 2 มีคะแนนการยอมรับสูงสุดที่ระยะเวลาการนึ่ง 12 นาที

เมื่อเตรียมข้าวกล้องเพาะงอกผสมในอัตราส่วนต่างก็นำมาหุงให้ผู้ทดสอบทำการอภิปรายกลุ่มย่อยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ได้ข้อสรุปดังนี้ คือ พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผสมทำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องเพาะงอกผสมนั้นควรประกอบไปด้วย ข้าวกล้องพันธุ์ หอมมะลิแดง, ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ข้าวเหนียวดำ (ข้าวเก่า), ข้าวเหลืองประทิว และข้าวเหนียวขาว กข.6 ที่อัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.5 : 1 : 1 และ อัตราส่วนของน้ำ ต่อ ข้าว ที่ใช้ในการหุงเท่ากับ 1 : 2.5 ถ้วย ซึ่งจะได้อร่อยชาติ, กลิ่น และ

เนื้อสัมผัสที่ดี เหนียวนุ่ม ไม่แข็งมาก มีกลิ่นที่หอม รับประทานง่าย เม็ดข้าวที่หุงสุกดูสวยงามเต็มเม็ด และอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำในส่วนของกรรหุงกำลังดี

ผลทดสอบความชอบของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสมจากผู้ทดสอบจำนวน 170 คน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 45 ชอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสมในระดับที่ชอบมาก ทั้งในคุณลักษณะของ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม และมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพะวงอกผสมร้อยละ 62



เอกสารอ้างอิง (References of literature cited)

- ข้าวกล้อง. 2549. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.matichon.co.th/youth/youth.php?tagsub=031105&tag950=03you30030242&show=1> (วันที่ค้นข้อมูล : 15 ก.ค. 2549)
- จรัสพรธร ต้นหยง. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมกิ่งสำโรง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. การทดสอบและการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร , กรุงเทพฯ. 194 น.
- ตำนานข้าวยอดอาหารอายุวัฒนะ. 2544, สถาบันอาหาร. 3(17) : 23-25.
- ปราณี อานเป็รื่อง. 2547. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรวิมล บัณฑิต. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิไล อุณันเทิง. 2549. ข้าวกล้อง ข้าวที่ไม่สวดย...แต่มาด้วยคุณภาพ [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : http://www.elib-online.com/doctors/food_rice2.html (วันที่ค้นข้อมูล : 15 ก.ค. 2549)
- ศรีนวล เจียรจันทร์พงษ์. 2529. อาหารและสุขภาพ. รุ่งแสงการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 50 น.
- สุภาณี จงดี. (2541). ข้าวกล้อง. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.ubon.ricethailand.org/document/supanee/b-rice/brownrice.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 ตุลาคม 2549).
- อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 212 น.
- เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. (2542). ข้าวกล้อง. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

AOAC. 2002. Official Method of Analysis of AOAC. International. 17th Ed. Virginia: AOAC International.

Aoto, H., T. Sugino, H. Shinmura, A. Mizukuchi, M. Kise, S. Teramoto, S. Someya, K. Tsuchiya, and K. Ishiwata. 2003. Germinated brown rice. United States Patent Number 6,630,193.

Barnes, P., and Galliard, T. 1991. Rancidity in cereal products. Lipid Technol., 3:23.

Brandtzaeg, B., Malleshi, N.G. and Svanberg, U. 1981. Dietary bulk as limiting factor for nutrient intake with special reference to the feeding of preschool children. J Trop Pediatr. 27(4):184-189.

brown rice. 2006. [Online]. Available : [http://www.foodmarketexchange.com/images /product_info/rice/rice_img03.gif](http://www.foodmarketexchange.com/images/product_info/rice/rice_img03.gif). (Access date : 18 October 2006).

Champagne, E. T. 1993. Brown rice stabilization. In. Marshall, E. Wayne and James, I. Wadsworth, Rice Science and Technology, CRC press, NY, 470 p.

Champagne E.T. and R.J. Hron. 2006. Stability of ethanol-extracted brown rice to hydrolytic and oxidative deterioration. J. of Food Sci. 57(2); 433-436.

DeLucca, A. J., Plating, S.J., and Ory, R. L. 1978. Isolation and identification of lipolytic microorganisms found on rough rice from two growing areas. J. Food Prot., 41;28.

Enochian, R. V., Saunders, R. M., Schultz, W. G., Beagle, E. C., and Crowley, P. R. 1980. Stabilization of rice bran with extruder cookers and recovery of edible oil: A preliminary analysis of operational and financial feasibility. U.S. Dept. of Agriculture Marketing Research Report .1120.

Finney, P. L. 1978. Potential for the use of germinated wheat and soybeans to enhance human nutrition, " advances in experimental medicine and biology. Nutr. Improv. Food Feed Proteins, 681-701.

Ito S. and Ishikawa Y. 2004. "Marketing of value – added rice product in Japan germinated brown rice and rice bread". FAO International Rice Year : Rome , Italy February 12 , 2004

Jang, S. S. 1999. Method for germinating dehulled brown rice. United States Patent Number 5,862,627

- Jeon Tae Il, Hwang Seong-Gu, Lim B. O, and Park D. K. 2003. Extracts of *Phellinus linteus* grown on germinated brown rice suppress liver damage induced by carbon tetrachloride in rats. Biotechnology Letters, 25(24): 2093-2096.
- Juliano, B.O., and C.M. Prerez. 1983. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. J. of Texture Study. 14: 235-243.
- Juliano, C., Cossu, M., Alamanni, M.C. and Piu, L. 2005. Antioxidant activity of gamma-oryzanol: mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils. International J. Pharmaceutics, 299:146-154.
- Kayahara H. and Tsukahara K. 2000. Flavor, health and nutritional quality of pre-germinated brown rice. International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii. Hawaii.
- Kennedy B. M. 1980. Nutritional quality of rice endosperm. Rice: Production & Utilization. (B. S. Luh, ed.), AVI Publishing Co., Westport. CT, p. 439.
- Kono, Y., Kojima, A., Nagai, R., Watanabe, M., Kawashima, T., Onizawa, T., Teraoka, T., Watanabe, M., Koshino, H., Uzawa, J., Suzuki, Y. and Sakurai, A. 2004. Antibacterial diterpenes and their fatty acid. conjugates from rice leaves. Phytochem. 65:1291-1298.
- Komatsuzaki N. , Tsukahara K. , Toyoshima H. , Suzaki T. , Shimizu N. and Kimura T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. Journal of Food Engineering. 78: 556-560.
- Okada, T., Tomoko S., Taro M., Hiromichi M., Takayo S., Toshiroh H., Akihiko O., Osami K., Rei T., and Takeo T. 2000. Effect of the defatted rice germ enriched with GABA for sleeplessness, depression, autonomic disorder by oral administration," Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi. 47(8): 596-603.
- Pathirana, R.A., Sivayogasundaram and Jaytissa, P.M. 1983. Optimization of conditions for malting of sorghum. J. of Food Sci. and Technol. 20: 108–111.
- Sharp, R. N., and Timme, L. K. 1986. Effects of storage time, storage temperature, and packaging method on shelf life of brown rice. Cereal Chem. 63: 247.

- Shastri, B. S., and Raghavendra Rao, M. R. 1971. Studies on rice bran lipase. Ind. J. Biochem. Biophys. 8:327.
- Shyama Prasad Rao, R. and Muralikrishna, G. 2006. Water soluble feruloyl arabinoxylans from rice and ragi: changes upon malting and their consequence on antioxidant activity. Phytochem. 67: 91-99.
- Toyoshima, H., K. Ohtsubo, H. Okadome, K. Tsukahara, N. Komatsuzaki, and T. Kohno. 2004. Germinated brown rice with good safety and cooking property, process for producing the same, and processed food therefrom. United States Patent. 6,685,979.
- Varayanond W. , Tungtrakul P. , Surojanamatakul V. , Watanasiritham L. and Luxiang W. 2005. "Effect of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties". Kasetsart J. (Nat. Sci.) 39: 411-415.
- Wang, Y.D. and M.L. Field. 1978. Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritive value. Journal of Food Science. 43 (4): 1113-1115.



ภาคผนวกที่ 1 กระบวนการเพาะงอกข้าวกล้อง



การสีข้าวกล้องเพื่อใช้ในการศึกษา และการคัดแยกเปลือกข้าวออกจากข้าวกล้อง



ลักษณะเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (ข้าว) และ พันธุ์หอมมะลิแดง (ถั่วแดง) (ขวา)



ลักษณะเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์เหนียวดำ (ข้าวเหนียวดำ) (ข้าว) และข้าวกล้องพันธุ์เหนียว กข 6 (ขวา)

ขั้นตอนการเพาะงอกข้าวกล้อง มีดังต่อไปนี้



ล้างข้าวกล้องด้วยน้ำประปา 2 ครั้ง



นำข้าวกล้องมาแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง



รินน้ำทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำประปา 2 ครั้ง



นำเมล็ดข้าวกล้องมาห่อด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น



พรมน้ำให้ชุ่ม นำมาวางบนถาด



เพาะในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส



วัดความยาวยอดอ่อน



ลักษณะของเมล็ดข้าวกล้องงอก



ต้มน้ำให้เดือดจนกลายเป็นไอน้ำ



เกลี่ยข้าวกล้องงอกให้สม่ำเสมอในหม้อนี้



นึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส



นำไปอบแห้งหรือตากแดดให้แห้ง



ผสมและบรรจุถุง



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากงานวิจัย



ภาคผนวกที่ 2 การประชุมกลุ่มย่อย (Focus group discussion)



เตรียมตัวอย่างข้าวเพื่อใช้ในการประชุมกลุ่มย่อย



หม้อหุงข้าวที่ใช้ในการศึกษา



การเตรียมหุงข้าว



ตัวอย่างข้าวที่หุงสุก



ตัวอย่างข้าวที่เตรียมนำเสนอ



การประชุมกลุ่มย่อยเพื่อสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับข้าวกล้อง



ผู้เข้าร่วมประชุมแสดงความคิดเห็น