



ผลของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี
และสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกอินทรีย์ที่มีสี

**EFFECT OF QUICK-COOKING RICE PROCESS ON PHYSICAL,
CHEMICAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES IN
ORGANIC GERMINATED COLOR RICE**

วริกรณ์ ปิติวิวัฒนากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ชื่อเรื่อง
ผลของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไว้ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี
และสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกอินทรีย์ที่มีสี

โดย
วริกรณ์ ปิติวิวัฒนากุล

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรยา พิมพ์พิไล)
วันที่ 7 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2555

กรรมการที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยวัฒน์ ไชยสุด)
วันที่ 6 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2555

กรรมการที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ นักร้อง)
วันที่ 7 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2555

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร
(อาจารย์ ดร.ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี)
วันที่ 8 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2555

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ เพ็ญรัตน์ หงษ์วิทยากร)
รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 17 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2555

ชื่อเรื่อง	ผลของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพเคมีและสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกอินทรีย์ที่มีสี
ชื่อผู้เขียน	นางสาววริภรณ์ ปิณีวัฒนากุล
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรยา พิมพ์พิไล

บทคัดย่อ

ในการผลิตข้าวกล้องงอกจากเมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกพบว่าเกิดปัญหากลิ่นผิดปกติในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเนื่องจากกิจกรรมระหว่างจุลินทรีย์และแป้งในเมล็ดข้าว การศึกษานี้จึงได้พัฒนารูปแบบการผลิตข้าวกล้องงอกโดยอาศัยการฟ้นละอองน้ำโดยวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นข้าวกล้องที่มีสีสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3 ที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่าข้าวกล้องขาวทั่วไปและพบไฟเตทในรูปกรดไฟติกในปริมาณสูงถึง 1,780 และ 1,021 มิลลิกรัมต่อข้าวกล้อง 100 กรัมตามลำดับ ในการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการผลิตร่วมกับอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ดังกล่าว พบว่าวิธีการฟ้นละอองน้ำให้เมล็ดข้าวรวมกับการบ่มเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสส่งผลให้เมล็ดข้าวยังคงมีสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในปริมาณสูงและพบปริมาณไฟเตทที่ลดน้อยลงเมื่อเทียบกับในเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ผ่านการงอกด้วยวิธีการอื่น ในการผลิตข้าวกล้องงอกหุงสุกไว ได้อาศัยการให้ความร้อนด้วยหม้อหนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5 นาที และผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาทีสำหรับข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และอุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาทีสำหรับข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 ซึ่งพบว่าผลทำให้สมบัติการต้านออกซิเดชันลดลงร้อยละ 16-86 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงร้อยละ 21-80 และปริมาณไฟเตทลดลงร้อยละ 95-99 จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านความชอบรวมของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนด้านความชอบรวมของตัวผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 มากกว่าในชุดควบคุม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ในด้านความนุ่มของทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามข้าวกล้องงอกหุงสุกไวใช้เวลาในการหุงลดลงร้อยละ 67 เมื่อเปรียบเทียบกับหุงข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกรรมวิธี แต่ผลิตภัณฑ์ของข้าวกล้องงอกทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผ่านการคั้นรูปนั้นไม่มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกรรมวิธี ($p \leq 0.05$)

Title	Effect of quick-cooking rice process on physical, chemical and antioxidant properties in organic germinated color rice
Author	Miss Vareeporn Pitiwiwattanakul
Degree of	Master of Science in Food Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Suthaya Phimphilai

ABSTRACT

Germination processes of brown rice sometimes cause fermentation and unpleasant flavor from microorganism activities on rice starch. Process development on rice germination using spraying technique was investigated in this study. Hom Dam Sukhothai 2 and Hom Dang Sukhothai 3 husked color rice were used as raw materials because of their higher amount of antioxidant and polyphenol contents than normal brown rice. However, phytate content of 1,780 and 1,021 mg. as phytic acid were found in 100 g. rice samples, respectively. Germination process on the rice quality study found that water spraying technique under $35\pm0.5^{\circ}\text{C}$ for 20 hrs. led to higher antioxidant properties with less phytate content in comparison to other germinating treatments. In a quick-cooking rice process, rice samples were subjected to heat treatment under 121°C , 103 kPa for 0.5 minutes, and dried at 84°C in 130 minutes for Sukhothai 2 and 73°C in 170 minutes for Sukhothai 3. Dried quick-cooking rice samples were then cooked and compared to normal rice. The quick-cooking process caused a reduction in antioxidant properties by 16-86% and total polyphenol for 21-80%. However, phytate contents in germinated quick-cooking rice samples were decreased by 95-99% as compared to normal rice. Sensory evaluation showed that overall acceptability in Sukhothai 2 samples was significantly different ($p\leq0.05$). However, no difference on softness of the both cooked rice samples was found ($p>0.05$). The quick-cooking rice sample used approximately 67% less cooking time than that of the normal rice with less antioxidant properties, total polyphenol and phytate contents ($p\leq0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความเมตตาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านอาจารย์และประธานกรรมการที่ปรึกษาผู้มีพระคุณ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชนาگانต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย ที่สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรยา พิมพ์พิไล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำและชี้แนะทั้งในด้านทฤษฎี ด้านการปฏิบัติและในด้านทุนการศึกษาในการดำเนินงานทดลอง เพื่อให้สามารถทำงานสำเร็จลุล่วงไปตามที่คาดหวัง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยวัฒน์ ไชยสุด และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ นักหล่อ กรรมการที่ปรึกษาที่คอยอนุมัติเห็นชอบ ให้คำชี้แนะในข้อมูลงานวิจัย ตรวจสอบแก้ไข และให้กำลังใจ ให้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนการทำงานให้เป็นไปอย่างราบรื่นและรูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ หากขาดกำลังใจและแรงสนับสนุนที่สำคัญที่สุดของบุคคลท่านนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณในความเมตตา ของคุณพ่อ ละออ กลิ่นลำดวน คุณพ่อบุญธรรมผู้มีพระคุณ ที่เป็นตัวแทนความรักและเมตตาจากคุณแม่ สุจิตตรา ปิติวิวัฒนากุล ผู้ล่วงลับ ผู้เขียนจึงขออำนาจความดีที่เกิดขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ให้ท่านมีสุขภาพพลานามัยที่แข็งแรงและดีขึ้นจากที่เป็นอยู่

ผู้เขียนมีความซาบซึ้งอย่างยิ่งในความเมตตากรุณาจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

วริกรณ์ ปิติวิวัฒนากุล

สิงหาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญภาพผนวก	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ข้าว	3
สารต้านอนุมูลอิสระ	21
สารประกอบโพลีฟีนอล	25
ไฟเตท	29
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	32
วัสดุอุปกรณ์	32
วิธีการทดลอง	36
การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ	36
การศึกษาเวลาการแช่และวิธีการให้น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว	37
การศึกษารูปแบบการผลิตที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท	38
การศึกษากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท	39
การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวหลังการขึ้นรูป	40

การศึกษาสมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณ โพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตท ของข้าวกล้องงอกหุงสุกไอลงการคินรูป	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	41
การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ	41
การศึกษาเวลาการแช่และวิธีการให้น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวกล้อง วัตถุดิบ	45
การศึกษารูปแบบการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีต่อลักษณะทางกายภาพสมบัติการด้าน ออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของผลิตภัณฑ์	47
การศึกษากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไอลงที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติ การด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท	54
การศึกษาผลของการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพข้าวกล้องงอกหุงสุกไอลงสมบัติการด้าน ออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท	62
การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไอลง การคินรูป	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	73
สรุปผลการทดลอง	73
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก ภาพผนวกข้าววัตถุดิบ	87
ภาคผนวก ข ภาพผนวกผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไอลง	89
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี	91
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	98
ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย	100

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส	9
2 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกติน	11
3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้นร้อยละ 14	12
4 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้นร้อยละ 14	13
5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมแดงสุโขทัย 1 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	17
6 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	41
7 ค่าสีของข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	42
8 สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัตถุดิบสายพันธุ์หอมด่ำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3	44
9 ปริมาณไฟเตท ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และสมบัติการด้านออกซิเดชันของข้าววัตถุดิบสายพันธุ์หอมด่ำสุโขทัย 2 ที่ผ่านกระบวนการทำออกทั้ง 3 วิธีการภายใต้อุณหภูมิ 30 ± 0.5 และ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	48
10 ปริมาณไฟเตท ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และสมบัติการด้านออกซิเดชันของข้าววัตถุดิบสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการทำออกทั้ง 3 วิธีการภายใต้อุณหภูมิ 30 ± 0.5 และ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	49
11 ปริมาณความชื้นหลังการให้ความร้อนของข้าวกล้องงอกหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5-1.5 นาที	55
12 ค่าสีหลังการให้ความร้อนของข้าวกล้องงอกหอมด่ำสุโขทัย 2 โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาลเป็นเวลา 0.5-1.5 นาที	55
13 ค่าสีหลังการให้ความร้อนของข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาลเป็นเวลา 0.5-1.5 นาที	56

- 14 สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของ
ข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 หลังการให้ความร้อนโดยใช้หม้อหนึ่ง
ความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาลเป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที 58
- 15 สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าว
กล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 หลังการให้ความร้อนโดยใช้หม้อหนึ่ง
ความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาลเป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที 59
- 16 ปริมาณความชื้น ค่าสี สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและ
ปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 หลังการทำแห้ง โดยใช้
ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที และอุณหภูมิ
84 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 130 นาที 63
- 17 ปริมาณความชื้น ค่าสี สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและ
ปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 หลังการทำแห้งโดยใช้
ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 170 นาที และอุณหภูมิ 84
องศาเซลเซียส 64
- 18 การประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อความนุ่มและ
ความชอบรวมของตัวผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้น้ำสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2
และหอมแดงสุโขทัย 3 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม 69
- 19 สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของ
ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 (วัตถุดิบ) และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้น้ำ หลังการ
กินรูป 70
- 20 สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของ
ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 (วัตถุดิบ) และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้น้ำ หลังการ
กินรูป 71

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
2 โครงสร้างของอะไมโลส	8
3 โครงสร้างอะไมโลเพกติน	10
4 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน	25
5 ปฏิกริยาการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล	27
6 สูตรโครงสร้างไฟเตท	31
7 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและ ปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัตถุดิบเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกของข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	53
8 ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวแสดงการเกิดเจลลิ่งในเซชันหลังการให้ความร้อนโดยใช้หม้อหุงความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสคาล	56
9 สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัตถุดิบเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้หม้อหุงความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสคาลเป็นเวลา 0.5 นาทีของข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	61
10 สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัตถุดิบเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้หม้อหุงความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสคาลเป็นเวลา 0.5 นาทีและหลังการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 130 นาทีสำหรับข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมด่ำสุโขทัย 2 (a) และ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที สำหรับข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 (b)	67

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก	หน้า
1 ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2	88
2 ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	88
3 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสาบพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2	90
4 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสาบพันธุ์ หอมแดงสุโขทัย 3	90

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดสี จึงยังคงมีส่วนของจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งเป็นแหล่งของสารอาหารต่างๆ เช่น โยอาหาร กรดไขมัน วิตามินอี วิตามินบี สาร GABA (Gamma aminobutyric acid) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Banchuen et al, 2009) อีกทั้งยังพบว่ามีสารให้สีอยู่บนเยื่อหุ้มเมล็ด ที่ส่งผลให้เมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ มีสีที่แตกต่างกันออกไปและยังเป็นแหล่งของสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่เป็นแหล่งของสารประกอบ โพลีฟีนอล ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอีกด้วย (งามชื่น, 2546)

ข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการขัดสีจึงใช้เวลาในการหุงต้มมากกว่าการหุงข้าวขาวหรือข้าวขัดสีทั่วไป และพบการแพร่ของรังสีจากเยื่อหุ้มเมล็ดเข้าสู่เนื้อเมล็ดในขณะหุงต้มเนื่องจากรังสีจากหลอดไฟมีคุณสมบัติในการละลายในน้ำได้ดี เมล็ดข้าวกล้องจึงมีสีเข้ม แลดูไม่น่ารับประทาน (งามชื่น, 2546) นอกจากนี้คุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้องในแต่ละสายพันธุ์นั้นยังมีความแปรปรวนมาก การนำข้าวกล้องมาแช่น้ำและบ่มในอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจนเกิดการงอกของรากจะได้ข้าวกล้องที่มีสารอาหารมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาร GABA และสามารถหุงและรับประทานได้ง่ายขึ้นด้วยนอกจากนี้ด้วยเทคโนโลยีการผลิตข้าวหุงสุกไวสามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการหุงข้าวกล้องให้สั้นลง หรือสามารถหุงร่วมกับข้าวสารขาวได้ (สุทธยา, 2549) แต่ข้าวกล้องอาจมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารที่สำคัญเช่น วิตามิน หรือคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไปบางส่วน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการผลิตข้าวกล้องงอกที่เหมาะสม และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตข้าวหุงสุกไวกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารต่างๆ สมบัติการต้านออกซิเดชัน รวมถึงปริมาณของสารไฟเคทที่เป็นสารต้านการดูดซึมแร่ธาตุที่มักพบในข้าวกล้อง เพื่อพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตที่สามารถนำไปประยุกต์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก ตลอดจนอิทธิพลต่างๆ ที่มีต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทในผลิตภัณฑ์
2. เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไว้ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทในผลิตภัณฑ์
3. เพื่อศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ปริมาณไฟเตท และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้หลังการคืนรูป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลในการผลิตข้าวกล้องงอก
2. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก และกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไว้ การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทในข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ที่ศึกษา
3. ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ที่สามารถนำไปผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไปได้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้าว

ข้าว เป็นคำที่ใช้เรียกเมล็ดของพืชล้มลุกตระกูลหญ้าที่ถูกจัดอยู่ในสกุล *Oryza* วงศ์ Gramineae (บุญหงษ์, 2547) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์ หมายถึง ผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียว ของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อย ที่เกิดรวมกันอยู่เป็นช่อดอก ผลเดี่ยวนี้อาจติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่ หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) ซึ่งเมื่อผลสุกหรือแก่จะเป็นผลแห้ง (dry fruit) ที่ไม่แตก (indehiscent fruit) เรียกว่า เมล็ด (caryopsis grain) ที่มีเยื่อหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) เชื่อมรวมกันอย่างแนบแน่นโดยตลอดผลหรือเมล็ดข้าวจะมีลักษณะแตกต่างกันตามพันธุ์ ในด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (awn) หรือไม่มีหางและมีขน (pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (hull หรือ husk) (จำรัส, 2534) ซึ่งข้าวนั้นถือได้ว่าเป็นอาหารหลักที่สำคัญของมนุษย์ โดยพบว่ามีประเทศกว่า 100 ประเทศที่รับประทานข้าวเป็นอาหารหลัก มีการปลูกข้าวในพื้นที่กว่า 159 ล้านเฮกเตอร์และมีผลผลิตข้าวถึง 594 ล้านตันต่อปีจึงถือได้ว่าข้าวเป็นพืชผลทางการเกษตรที่สำคัญและได้รับความนิยมในการปลูกทั้งในเขตทวีปเอเชีย อเมริกาใต้ อเมริกาเหนือ แอฟริกา และทวีปยุโรป (Kainuma, 2004)

แหล่งกำเนิดและวิวัฒนาการของข้าว

จากการศึกษาของบุญหงษ์ (2547) สรุปได้ความว่า จากหลักฐานทางภูมิศาสตร์และโบราณคดีทำให้สันนิษฐานได้ว่าข้าวมีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา เกาเมดากัสการ์ อินเดีย อเมริกากลาง อเมริกาใต้ แอนตาร์กติกา และออสเตรเลีย ซึ่งเคยรวมตัวกันอยู่ในบริเวณเขตร้อนของพื้นแผ่นดิน Гондвана ในมหาสมุทรแอตแลนติกประมาณ 230-500 ล้านปีมาแล้ว โดยมนุษย์โบราณในยุค 9,000 ปีที่แล้วได้นำข้าวป่าเข้ามาปลูกและทำการคัดเลือกพันธุ์จนได้ข้าวล้มลุกสำหรับปลูกติดต่อกันมา ซึ่งพบว่ามีข้าวเพียง 2 ชนิด ที่ถูกนำมาปลูกเพื่อการบริโภคเรียกว่าข้าวปลูก (cultivated rice) ได้แก่ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) ซึ่งนอกเหนือจากข้าวปลูกดังกล่าวแล้วข้าวที่เหลืออีกประมาณ 21 ชนิด จะถูกจัดเป็นกลุ่มของข้าวป่า (wild rice) และจากความแตกต่างทางสภาพพื้นที่และภูมิอากาศของแหล่งปลูกข้าว จึงเป็นสาเหตุให้มีการแบ่งข้าวเอเชียออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

ข้าวอินดิกา (Indica) ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาวเรียวยาวเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ ไทย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น จากการสันนิษฐานเชื่อกันว่าข้าวอินดิกาได้มีการปลูกครั้งแรกในบริเวณตอนกลางของกลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียงก่อน ค.ศ. 200

ข้าวจาโปนิกา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น เช่น จีนตอนเหนือและตะวันออก ญี่ปุ่น เกาหลียุโรปตอนใต้ รัสเซีย และอเมริกาใต้ เป็นต้น สันนิษฐานว่าแหล่งกำเนิดของข้าวจาโปนิกานี้น่าจะอยู่ในบริเวณกลุ่มแม่น้ำเหลืองของจีนและตอนล่างของกลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียง

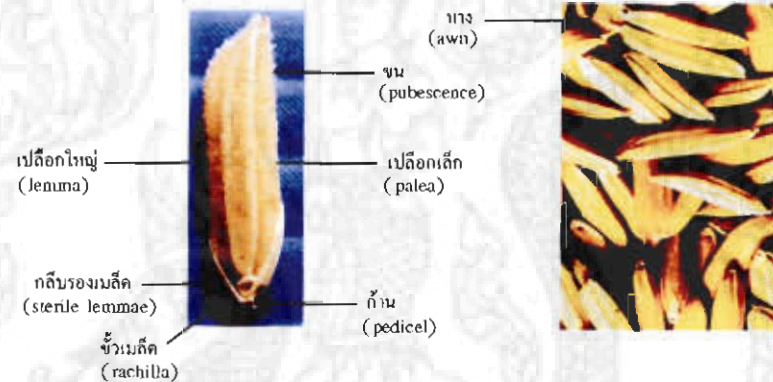
ข้าวจาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวต้นสูง เมล็ดใหญ่ป้อม สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นจากการคัดเลือกพันธุ์มาจากข้าวอินดิกา และได้นำเข้ามาปลูกในประเทศอินโดนีเซียครั้งแรกในระยะเวลามากกว่า 1,800 ปีก่อนคริสตกาล

โครงสร้างของเมล็ดข้าว

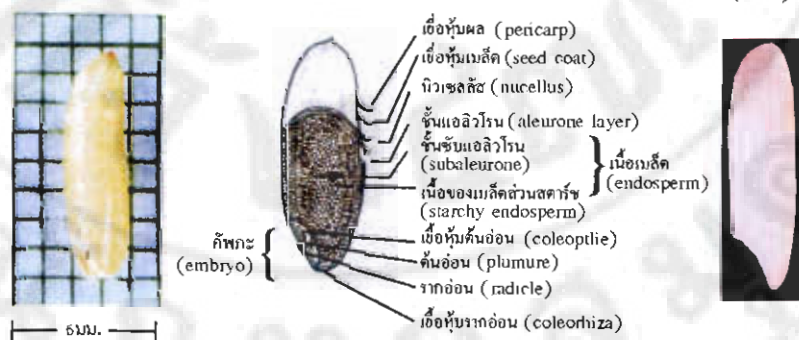
อรอนงค์ (2550) กล่าวว่า เมล็ดข้าวโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้ม หรือ แกลบ และส่วนที่รับประทานได้หรือ ส่วนของข้าวกล้อง โดยในส่วนของข้าวกล้องนี้จะประกอบไปด้วยเยื่อหุ้มผลห่อหุ้มในส่วนที่อยู่ภายในมีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังชั้นใน 6 ชั้น ที่มีรงควัตถุปนอยู่ด้วยและส่งผลให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญโดยเยื่อหุ้มผลนี้ยังสามารถแบ่งย่อยเป็น 3 ชั้นย่อย คือ เอพิคาร์พ (epicarp) หรือ เอกโซคาร์พ (exocarp) ถัดเข้าไปคือ ชั้น เมโซคาร์พ (mesocarp) หรือ ไฮพอดERM (hypoderm) และเยื่อชั้นในสุดเรียกว่า เอนโดคาร์พ (endocarp) ถัดเข้าไปจากเยื่อหุ้มผลจะเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปร่างยาว เรียงตามขวาง และมีผนังบางๆ กันอยู่และภายในเซลล์มีรงควัตถุเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล จึงส่งผลให้ข้าวกล้องมีสี ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ดเรียกว่า นิวเซลล์ (nucellus) แต่เยื่อหุ้มเมล็ดและนิวเซลล์ติดกันไม่แน่นจึงสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ส่วนเยื่อในชั้นแอลูโรน (aleurone layer) จะเป็นเยื่อชั้นที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดที่ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้นในส่วนของคัพภะจะอยู่บริเวณโคนของส่วนท้องเมล็ด มีส่วนประกอบของรากอ่อน (radicle) ที่ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารของต้นอ่อน (pulumule) ส่วนของเนื้อเมล็ดหรือ เอนโดสเปิร์ม (endosperm) เป็นส่วนที่มีมากที่สุดในการเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชั้นซับแอลูโรน (subaleurone) และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (starch endosperm) ดังภาพ

การแบ่งองค์ประกอบของเมล็ดข้าว เป็นร้อยละสัดส่วนของโครงสร้างต่างๆ ได้ดังนี้ ข้าวเปลือกประกอบไปด้วยส่วนของแกลบร้อยละ 20 และส่วนของข้าวกล้องร้อยละ 80 ในข้าวกล้องประกอบไปด้วยส่วนของเยื่อหุ้มผลร้อยละ 1.5 ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดร้อยละ 5 ส่วนของคัพภะร้อยละ 3 และส่วนของเนื้อเมล็ดถึงร้อยละ 90.5 และภายในคัพภะยังประกอบไปด้วยส่วนของรากอ่อนร้อยละ 1.8 ต้นอ่อนร้อยละ 0.34 เยื่อหุ้มรากอ่อนร้อยละ 0.18 ใบเลี้ยงร้อยละ 1.29 ส่วนของท่อน้ำและอาหารร้อยละ 0.26 และส่วนอื่นๆ ร้อยละ 0.75 (Juliano 1993; เกรือวัลย์, 2536)

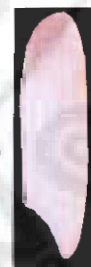
ข้าวเปลือก
(Whole grain rice)



ข้าวกล้อง
(Caryopsis grain หรือ brown rice)



ข้าวสาร
(Rice)



ภาพ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

การจำแนกชนิดของข้าว

อรรถวุฒิ (2526) กล่าวว่าในการจำแนกข้าวที่ขึ้นอยู่กับปัจจัย และสิ่งแวดล้อมหลายประการด้วยกัน ซึ่งเฉพาะในประเทศไทยมีการจำแนกข้าวออกได้หลายรูปแบบดังนี้

1. จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด

1.1. ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) ประกอบด้วยแป้ง (starch) ประมาณร้อยละ 90 ซึ่งแป้งนี้มีส่วนประกอบใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกันคืออะไมโลเพกติน ประมาณร้อยละ 60-90 และอะไมโลส ประมาณร้อยละ 10-30

1.2. ข้าวเหนียว (glutinous rice) ประกอบด้วยอะไมโลเพกตินถึงร้อยละ 95 และพบว่ามีอะไมโลสในปริมาณที่น้อยมาก หรือไม่มีเลย

2. จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก

2.1. ข้าวไร่ (upland rice) คือข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบ และลาดชัน ไม่ต้องทำคันนาเก็บน้ำเพราะไม่ชอบน้ำขัง ปลูกได้เฉพาะในฤดูการทำนาปีเพราะข้าวไร่จะอาศัยน้ำฝนที่ตกตามฤดูกาล นิยมปลูกมากในบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาของทุกๆ ภาคซึ่งคิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ

2.2. ข้าวนาสวน (lowland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มต่างๆ ไปในสภาพที่มีน้ำหล่อเลี้ยงข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว ข้าวนาสวนเป็นที่นิยมปลูกกันมากในแทบทุกภาคของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่ปลูกประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ

2.3. ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (floating rice) คือข้าวที่ปลูกกันในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้งหากระดับน้ำในบริเวณที่ปลูก สูงกว่า 1 เมตร จะต้องปลูกข้าวพันธุ์ ข้าวขึ้นน้ำ ข้าวลอยหรือข้าวฟางลอยเพราะข้าวประเภทนี้มีลักษณะพิเศษในการยึดตัวหนีน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกมากในแถบจังหวัดอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาทและสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อปลูกข้าวทั่วประเทศ

3. จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว

3.1. ข้าวเบา (early variety) คือข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 90-100 วันนับตั้งแต่เพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

3.2. ข้าวกลาง (medium variety) คือข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 100-120 วันนับตั้งแต่เพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

3.3. ข้าวหนัก (late variety) คือข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 120 วันขึ้นไป นับตั้งแต่เริ่มเพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

4. จำแนกตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง

4.1. ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive variety) ข้าวประเภทนี้จะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่แน่นอน เพราะจะออกดอกในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันที่สั้นกว่ากลางคืน ซึ่งในประเทศไทยช่วงดังกล่าวจะเริ่มที่เดือน ตุลาคม หรือฤดูฝนเท่านั้น

4.2. ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (non-photoperiod sensitive variety) ข้าวประเภทนี้จะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่แน่นอน จะออกดอกและสามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุครบการเจริญเติบโต โดยที่ช่วงแสงจะไม่มีอิทธิพลในการบังคับให้เกิดการออกดอก จึงสามารถปลูกได้ในทุกฤดูกาล

5. จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

5.1. ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) ความยาวของเมล็ดไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร

5.2. ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium-long grain) ความยาวเมล็ดตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร

5.3. ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ความยาวเมล็ดตั้งแต่ 6.61-7.50 มิลลิเมตร

5.4. ข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) ความยาวเมล็ดตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตรขึ้นไป

6. จำแนกตามฤดูปลูก

6.1. ข้าวนาปี หรือข้าวหน้าน้ำฝน (rainfed rice) คือข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาสำหรับประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่ เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม และจะเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้น ไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์

6.2. ข้าวนาปรัง (off-season rice) คือข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ โดยจะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมในบางท้องที่ และเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน ซึ่งจะนิยมปลูกในพื้นที่ที่มีการชลประทานที่ดี

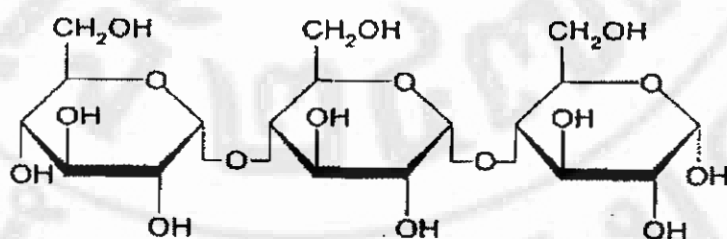
องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และ น้ำหรือความชื้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ดังต่อไปนี้

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตหรือ สตาร์ช เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากที่สุดในเนื้อเมล็ดของ ข้าวและจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ของข้าวมากที่สุด โดยโมเลกุลของสตาร์ช รวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ขนาด 3-5 ไมครอน รูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม รวมตัวกันอยู่ภายใน อะไมโลพลาสต์หรือคลอโรพลาสต์ของเซลล์จำนวน 20-60 เม็ดสตาร์ช ในลักษณะเป็นกลุ่มก้อนกลม หรือยาวรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชในอะไมโลพลาสต์นี้ประมาณ 7-39 ไมครอน (Champagne, 1996 อ้างโดย อรอนงค์, 2550) โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของ กลูโคส 2 ลักษณะคืออะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ซึ่งโมเลกุลทั้งสองจะจัดเรียงตัวกันแน่นจนเป็น เม็ดสตาร์ช โดยมีโครงสร้างลักษณะเป็นรัศมีจากจุดกลางแบบกิ่งผลึก โดยบางส่วนติดอยู่ร่วมกับ ไขมัน

1.1. อะไมโลส เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 8-37 ของปริมาณสตาร์ช ทั้งหมดในเมล็ดข้าว (อรอนงค์, 2539) โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสมีหลายรูปเช่น สายตรง สาย พันเป็นเกลียว (helix) เดี่ยวหรือคู่ มีลักษณะเกลียวม้วน หรือเกลียวที่คลายตัว หรือม้วนอย่างไม่ เจาะจง แสดงดังภาพ 2



ภาพ 2 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี จะมีปริมาณอะไมโลสสูง (ร้อยละ 28) แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ 20) ส่วน

แป้งข้าวเหนียวไม่พบอะไมโลสโดยอะไมโลสจะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 105-106 คาลตัน และจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง รวมไปถึงระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของแป้งแต่ละชนิดอีกด้วย โดยแป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในของการเกิดการ รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ซึ่งคุณสมบัติทางโครงสร้างอะไมโลสของแป้งหลายๆ ชนิด แสดงดังตาราง 1 โดยอะไมโลส สามารถรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน จะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีคุณสมบัติ ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้เมื่ออะไมโลสรวมตัวกับไอโอดีน จะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส

ตาราง 1 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส

คุณสมบัติ	แป้ง สาลี	แป้ง ข้าวโพด	แป้ง ข้าวเจ้า	แป้ง มันสำปะหลัง	ข้าว	
					อินดิกา	จาปอนิกา
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	28	28	17	17	-	-
ขนาดโมเลกุลเฉลี่ย (DP)	1,300	930	-	2,600	1,000	1,100
จำนวนสายเฉลี่ย (NC)	4.8	2.7	-	7.6	4.0	3.4
ความยาวสายเฉลี่ย (CL)	270	340	-	340	250	320
โมเลกุลกิ่ง (ร้อยละ)	27	44	-	42	49	31

ที่มา: ดัดแปลงจาก อรอนงค์ (2550)

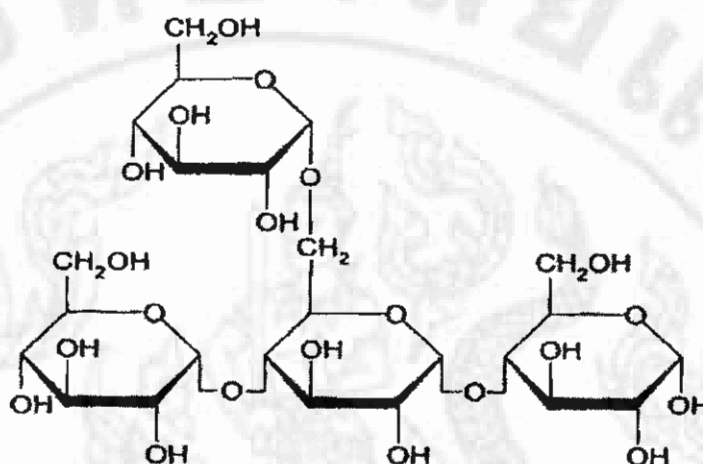
หมายเหตุ: DP = Degree of polymerization

NC = Number of chain

CL = Chain length

1.2. อะไมโลเพกติน เป็นองค์ประกอบที่พบว่ามีมากที่สุดในเมล็ดข้าว และพบว่ามีได้ถึงร้อยละ 100 ในข้าวเหนียว (อรอนงค์, 2539) โดยโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกตินจะมีลักษณะเป็นกิ่งก้านในลักษณะโซ่กิ่งเกลียวคู่ จากสายที่ต่อด้านน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น ซึ่งมีคาร์บอนตัวที่หนึ่งเป็นหมู่รีดิวซิง โมเลกุลของอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสายแกนหนึ่งสายเท่านั้น (C-chain) ส่วนสายที่มาต่อกับสายแกนนี้จะเป็นสายกิ่งเชื่อม (B-chain) ต่อกับสายอื่นๆ

และสายที่มีจุดเชื่อมตำแหน่งเดือว (A-chain) โดยทั้งสายโซ่กิ่ง และสายเชิงเส้นประมาณ 22-25 สาย จะรวมกันเป็นกลุ่ม (cluster) ซึ่งแต่ละกลุ่มซึ่งอยู่ในบริเวณผลึก (crystalline regions) ของเม็ดสตาร์ช ดังภาพ 3



ภาพ 3 โครงสร้างอะไมโลเพกติน
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)

สำหรับ อะไมโลเพกติน ของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง จะประกอบไปด้วยสายอะไมโลเพกตินที่เกาะกันเป็นกลุ่มเดือวๆ ประมาณร้อยละ 80-90 และมีสายที่เป็นส่วนเชื่อมแต่ละกลุ่มอีกร้อยละ 10-20 โดยในแต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนของผลึกเม็ดแป้ง และในการจับกันเป็นกลุ่มของอะไมโลเพกตินนั้นจะทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยา ด้วยกรด หรือ เอนไซม์ โดยสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกตินของแป้งชนิดต่างๆแสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกติน

คุณสมบัติ	แป้ง สาลี	แป้ง ข้าวโพด	แป้ง ข้าวเจ้า	แป้ง มันฝรั่ง	ข้าว เหนียว	ข้าว	
						อินดิกา	จาปอนิกา
ปริมาณอะไมโลเพกติน (ร้อยละ)	72	72	83	79	-	-	-
ขนาดโมเลกุลเฉลี่ย (DP)	4,800	8,200	-	9,800	18,500	4,700	12,800
จำนวนสายเฉลี่ย (NC)	250	370	-	410	1,000	220	670
ความยาวสายเฉลี่ย (CL)	19	22	-	24	18	21	19
ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย (ECL)	13	15	-	15	12	14	13
ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย (ECL)	5	6	-	8	5	6	5

ที่มา: คัดแปลงจาก อรอนงค์ (2550)

หมายเหตุ: DP = Degree of polymerization

NC = Number of chain

CL = Chain length

ECL = External chain length

ICL = Internal chain length

การสกัดเม็ดสตาร์ช สามารถทำได้โดยการใช้วิธีบดเมล็ดข้าวแบบเปียกด้วยน้ำ หรือใช้คางอ่อนๆ เพื่อสกัดแยกโปรตีนออก และยังช่วยไม่ให้เม็ดสตาร์ชเสียหายในขณะบด จากนั้นทำการแยกส่วนสตาร์ชออกจากสารละลาย นำไปทำให้แห้งแล้วบดให้ละเอียดก็จะทำให้ได้ส่วนของเม็ดสตาร์ช

2. โปรตีน

ในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน และมีปริมาณน้อยกว่าในธัญชาติชนิดอื่นๆ โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด โดยในชั้นของเปลือกหุ้มเมล็ดและเนื้อเมล็ดด้านนอกจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าในใจกลางเมล็ด ซึ่งวิธีการหาปริมาณโปรตีนในข้าวคือใช้แฟกเตอร์ 5.95 คูณด้วยปริมาณไนโตรเจน

3. ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 3 คล้ายกับธัญชาติชนิดอื่นๆ และมีในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวให้ขาวทำให้ข้าวสารเจามีไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3-0.5 (Hoseney, 1986) ซึ่งเป็นไขมันที่เกาะเกี่ยว (bound lipids) กับสารอื่นอยู่ประมาณร้อยละ 0.3-0.4 ส่วนในข้าวเหนียวจะมีไขมันที่เกาะเกี่ยวนี้น้อยกว่า (ร้อยละ 0.03) โดยไขมันจะมีความสัมพันธ์กับเมล็ดสตาร์ชอยู่ 3 ลักษณะ คือ ไขมันที่อยู่ติดกันกับโปรตีน ไขมันที่อยู่ภายใต้เมล็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช และไขมันที่อยู่ภายในเมล็ดสตาร์ชแต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ชซึ่งประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากสายพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการกะเทาะเปลือก ขัดขาว และขัดมัน พบว่าแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ เส้นใยอาหาร และพลังงานแตกต่างกัน ดังตาราง 3

ตาราง 3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้นร้อยละ 14

ส่วนของข้าว	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เส้นใย (กรัม)	เถ้า (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	เส้นใยอาหาร (กรัม)	พลังงาน	
							(กิโลจูล)	(กิโลแคลอรี)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	64-73	16.4-19.2	1,580	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	1,520-1,610	363-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	1,460-1,560	349-373
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29	670-1,990	399-476
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	22-34	66-74	1,110-1,390	265-332

ที่มา: Juliano (1993 อ้างโดย อรอนงค์, 2550)

จากการศึกษาพบว่ามียาวิตามินและแร่ธาตุอื่นๆ ได้แก่ ไทอะมิน (วิตามินบี 1) ไรโบเฟลวิน (วิตามินบี 2) ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) และแอลฟาโทโคเฟอรอล (วิตามินอี) แร่ธาตุ

ได้แก่แคลเซียม ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสในไฟทิน เหล็ก และสังกะสีของข้าวเปลือก ในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละส่วนของข้าว ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้นร้อยละ 14

ส่วนของข้าว	โทอะมิน (มิลลิกรัม)	ไรโบเฟลวิน (มิลลิกรัม)	ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	α -ทอโคเฟอรอล (มิลลิกรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	ไฟทิน ฟอสเฟต (มิลลิกรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัม)
ข้าวเปลือก	0.26-0.33	0.06-0.11	2.9-5.6	0.90-2.00	10-80	0.17-0.39	0.18-0.21	1.4-6.0	1.7-3.1
ข้าวกล้อง	0.29-0.61	0.04-0.14	3.5-5.3	0.90-2.50	10-50	0.17-0.43	0.13-0.27	0.2-5.2	0.6-2.8
ข้าวสาร	0.02-0.11	0.02-0.06	1.3-2.4	75-0.30	10-30	0.08-0.15	0.02-0.07	0.2-2.8	0.6-2.3
รำข้าว	1.20-2.40	0.18-0.43	26.7-49.9	2.60-13.3	30-120	1.1-2.5	0.9-2.2	8.6-43.0	4.3-25.8
แกลบ	0.09-0.21	0.05-0.07	1.6-4.2	0	60-130	0.03-0.07	0	3.9-9.5	0.9-4.0

ที่มา: Juliano (1993 อ้างโดย อรอนงค์, 2550)

ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง เป็นข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการสีข้าว โดยการนำข้าวเปลือกมากะเทาะแล้วแยกเอาแกลบออก จึงยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) ติดอยู่ สีของเมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลปนแดง จมูกข้าวและเยื่อหุ้มในข้าวกล้องมีส่วนประกอบที่เป็นโปรตีน ไขมัน ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย วิตามินแร่ธาตุและข้าวกล้องยังมีใยอาหารมากกว่าข้าวขัดสี ดังนั้นข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวขัดสี ผู้ที่รับประทานข้าวกล้องจะอึดทนกว่าผู้ที่รับประทานข้าวขาว ข้าวกล้องจะมีความหยาบ ไม่นุ่มนวลเท่าข้าวขัดสีและใช้เวลาหุงคัมนาน คนไทยจึงยังไม่นิยมบริโภค

การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีน ช่วยเสริม สร้าง ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ได้ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงาน และความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มาก เป็นส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวคือ วิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ช่วยในกระบวนการเปลี่ยนแปลง ในร่างกายให้เป็น พลังงาน และช่วยในการทำงานของระบบประสาท ในการบังคับ กล้ามเนื้อ วิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระชอก และช่วยในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน (Frias et al., 2005) ในอาชินช่วย

ในการทำงานของระบบผิวหนังและระบบประสาท (Banchuen et al., 2010) นอกจากได้วิตามินแล้ว ข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุ ที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนในจมูกข้าว ยังมี วิตามินอี เซเลเนียม และแมกนีเซียม ประกอบอยู่ด้วยแร่ธาตุเหล่านี้ช่วยเสริมสร้างการทำงานในระบบต่างๆ ของร่างกาย ส่วนเส้นใยอาหารซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน (polysaccharides) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีอยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวของข้าวกล้อง (Champagne et al., 2004) เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจาก น้ำย่อยไม่สามารถย่อย เส้นใยอาหารได้ทั้งหมด จึงถูกขับออกมาและช่วยพาสังเคราะห์ที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการ ท้องผูกและช่วยป้องกันการเป็นมะเร็ง ลำไส้ใหญ่ได้อีกด้วย (Hudson et al., 2000)

ในปัจจุบัน ผู้จำหน่ายข้าวกล้องได้นำข้าวกล้องมาผสมกับข้าวอื่น เช่น ข้าวมันญี่ปุ่น ผสมกับข้าวกล้อง ข้าวกล้องผสมกับข้าวขาว เพื่อให้ผู้ที่ยังไม่สามารถบริโภคข้าวกล้องล้วนๆ เพราะ กู้้นเคยแต่ข้าวมันๆ ได้ซื้อไปทดลองหุงกิน นอกจากนี้ประเทศไทยได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวมากขึ้น ทำให้คนไทยมีข้าวที่ไม่เพียงแต่เหนียวนุ่มอร่อยแล้วยังมีกลิ่นหอมน่ากินอีกด้วยคือข้าวพันธุ์ข้าว ดอกมะลิ 105 ซึ่งมีจำหน่ายอย่างแพร่หลายทั้งชนิดที่เป็นข้าวขาวธรรมดาและชนิดที่เป็นข้าวกล้อง

ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก (หรือ GABA-rice) ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่มีความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ข้าวกล้องงอกเป็นการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก ซึ่งโดยปกติแล้วในตัวข้าวกล้องเองประกอบด้วยสารอาหารจำนวนมาก เช่น ใยอาหาร กรดไฟติก (phytic acid) วิตามิน ซี วิตามินอี และ GABA (gamma aminobutyric acid) ที่ช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคสมองเสื่อม โรคหัวใจ โรคความดันต่ำ โรคน้ำตาลในเส้นเลือดสูง (Kayahara et al., 2000) โรคมะเร็งและโรคเบาหวานโดยกระบวนการงอกนั้นสามารถเพิ่มปริมาณสารสำคัญดังกล่าวให้เพิ่มมากขึ้นได้จากกระบวนการย่อยสลายสตาร์ช และโปรตีนให้กลายเป็น โมเลกุลขนาดเล็ก (Manna et al., 1995) เพื่อให้ดินอ่อนสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต ซึ่งพบว่าสอดคล้องไปในทางเดียวกับงานวิจัยของ Rimsten et al. (2003) ที่พบว่าเมื่อเมล็ดข้าวบาร์เลย์เกิดกระบวนการงอกจะกระตุ้นให้ เอนไซม์ hydrolytic เกิดการทำงานและย่อยสลายสตาร์ชและโปรตีนให้เป็นอนุภาคที่เล็กลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Yang et al. (2001) ที่พบการทำงานของเอนไซม์ hydrolytic ในเมล็ดข้าวสาลี และในเมล็ดข้าวที่กำลังเกิดกระบวนการงอก (Manna et al., 1995) ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์จากการที่มีปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้ข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม

รับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดาอีกด้วย (Kayahara, 2004) จึงง่ายแก่การหุงรับประทานได้ โดยไม่ต้องผสมกับข้าวขาวตามความนิยมของผู้บริโภค

Kayahara (2004) รายงานว่า ข้าวเมื่ออยู่ในสถานะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้น เมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว และกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าว จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กกลึง และน้ำตาลรีดิคซ์ นอกจากนี้ โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการการสะสมสารสำคัญต่างๆ เช่น แกมมาออริซานอล โทโคฟีรอล โทโคไตรอินอลและสาร GABA เป็นต้น (Kayahara et al., 2000)

GABA

GABA เป็นกรดอะมิโนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในเมล็ดข้าว จากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิกซึ่งกรดนี้จะมียบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง (Manyam et al., 1981) นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้งโดยจะทำหน้าที่รักษาสสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย (Hayakawa et al., 2004) อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นคอสมไรท์ที่ช่วยทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ช่วยให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร lipotropie ซึ่งเป็นสารป้องกันการสะสมไขมัน (Sasaki et al., 1990)

การบริโภคข้าวกล้องงอกที่มีสาร GABA มากกว่าข้าวกล้องปกติ 15 เท่าจะสามารถป้องกันการทำลายสมอง เนื่องจากสารเบต้าอไมลอยด์เปปไทด์ (beta-amyloid peptide) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคสมองเสื่อมความทรงจำ (อัลไซเมอร์) อีกทั้งยังช่วยลดการเกิดโรคความดันและยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง (Oh and Oh, 2004) ได้อีกด้วย ดังนั้น จึงได้มีการนำสาร GABA มาใช้ในวงการแพทย์เพื่อการรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทต่างๆ หลายโรค เช่น โรควิตกกังวล โรคนอนไม่หลับ โรคซึมเศร้า เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลการวิจัยด้านสุขภาพกล่าวว่า ข้าวกล้องงอกที่ประกอบด้วย GABA มีผลช่วยลดความดันโลหิต ลด LDL (low density lipoprotein) ลดอาการอัลไซเมอร์ลดน้ำหนัก ทำให้ผิวพรรณดี และยังช่วยการดูดกลืนของเกล็ดเลือดได้ (Seetharamaiah et al., 1990)

กรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกโดยส่วนใหญ่่นั้น สามารถทำได้โดยการควบคุมการใช้น้ำและการควบคุมอุณหภูมิในการแช่เมล็ดข้าวที่เหมาะสม เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของคัพภะได้โดย Komatsuzaki et al. (2007) ได้รายงานว่าหากมีการแช่เมล็ดข้าวกล้องในน้ำที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-96 ชั่วโมงโดยมีการเปลี่ยนน้ำที่ใช้แช่ทุกๆ 24 ชั่วโมงเพื่อป้องกันการเกิดการหมัก และการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ แล้วหยุดปฏิบัติการงอกโดยใช้น้ำร้อนจะส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดการงอกได้ อีกทั้งยังทำให้ปริมาณของสาร GABA เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

Chung et al. (2009) ค้นพบว่าเมื่อนำเมล็ดข้าวมาแช่ในน้ำให้งอกให้มีปริมาณความชื้นในเมล็ดประมาณร้อยละ 35 จะส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดกระบวนการงอกและมีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Kenichi et al. (2005) ได้ทำการรายงานเพิ่มเติมว่าหากมีการนำข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก มาทำแห้งให้ข้าวมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 15 จะทำให้มีปริมาณของสารอาหารเช่น โยอาหาร และสาร GABA เพิ่มขึ้นมากยิ่งขึ้น วิธีการผลิตข้าวกล้องงอกนั้นยังนิยมใช้วิธีการแช่เมล็ดข้าวกล้องในน้ำสะอาดเป็นส่วนมาก ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจทำให้เมล็ดข้าวกล้องงอกที่ได้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามิน สาร GABA และสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ ออกไปมาก ซึ่งผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาดังกล่าวนี้และได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณค่าทางอาหารได้อย่างครบถ้วน หรือสูญเสียสารอาหารให้น้อยที่สุด

พันธุ์ข้าวที่มีรงควัตถุ

ข้าวพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2

ข้าวหอมคำสุโขทัย 2 เป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2549 โดยได้จากการผสมเดี่ยว (single cross) ในปี 2543 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ชื่อกลุ่มผสม PSL00284 ชื่อพันธุ์แม่ Khao Hom Nil ชื่อพันธุ์พ่อ PSL94052-P47-6R-2-2 (พันธุ์แม่รับเมล็ดพันธุ์มาจากแปลงทดสอบโรคไหม้ ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก พันธุ์พ่อมาจากเมล็ดพันธุ์ผสมชั่วที่ 8 ของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกที่เกิดจากการผสมพันธุ์ ระหว่าง Khao Glam GS. No. 7677/Gulabb Daeng) ใช้วิธีคัดเลือกแบบเร่งรัดข้าวอายุ (RGA-SSD) โดยใช้ห้องมืดบังคับให้ออกดอกโดยไม่มีการคัดเลือกในช่วงอายุแรกจากนั้นนำรวงข้าวในช่วงที่ 5 มากะเทาะเปลือก เพื่อคัดเลือกลักษณะข้าวกล้องสีขาวไม่มีท้องไข่ และนำไปปลูกเพิ่มปริมาณเมล็ด เพื่อคัดเลือกและศึกษาพันธุ์ต่อไป ส่วนสายพันธุ์จาก RGA-SSD ที่มีลักษณะข้าวกล้องมีสีจะถูกคัดทิ้งทั้งหมด เพื่อเป็นการป้องกันการปนในแปลง

ผลิตเมล็ดพันธุ์ของทางราชการ ซึ่งในปีโครงการเกษตรอินทรีย์สนามบินสุโขทัย มีความสนใจในพันธุ์กรรมข้าวกล้องมีสีที่ถูกคัดทั้งดั่งกล่าว จึงติดต่อขอเมล็ดสายพันธุ์มีสีที่ถูกคัดทั้งทั้งหมด เพื่อนำมาศึกษาและทดสอบพันธุ์ต่อ ที่โครงการเกษตรอินทรีย์สนามบินสุโขทัย ดำบลคลองกระจง อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัยในช่วงปี พ.ศ. 2547 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมดำนสุโขทัย 2 แสดงดังตาราง 5 และต่อมาได้มีการนำเมล็ดข้าวหอมดำนสุโขทัย 2 มาทดลองคัดเลือกพันธุ์ต่อในช่วงหลังจนได้ลักษณะที่ต่างจากเมล็ดข้าวในช่วงแรกคือ มีสีแดงอมส้ม ส่วนในด้านอื่นๆ เช่นคุณภาพของข้าวกล้องพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 นั้นยังอยู่ในระหว่างการจดทะเบียนรับรองสิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ของโครงการ จึงยังไม่เป็นที่เปิดเผย

ตาราง 5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมแดงสุโขทัย 1 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

	พันธุ์หอมดำนสุโขทัย 2	พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
เส้นใยอาหาร (dietary fiber)	6.41 mg/100g	3.31 mg/100g
เหล็ก (Fe)	9.66 mg/kg	9.91 mg/kg
แคลเซียม (Ca)	114.8 mg/kg	85.91 mg/kg
สังกะสี (Zn)	20.94 mg/kg	26.64 mg/kg
วิตามินบี 1	0.39 mg/100g	0.32 mg/100g
วิตามินบี 2	0.1 mg/100g	0.001 mg/100g
วิตามินบี 6	0.07 mg/100g	0.26 mg/100g
วิตามินอี	1.22 mg α -TE/100g	0.58 mg α -TE/100g
โปรตีน	7.81 g/100g	7.06 g/100g
ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ	Polyphenols 1.487 mg/g	Polyphenols 0.421 mg/g
(antioxidant)	TEAC 1.583 mg/g	TEAC 0.617 mg/g

ที่มา: สมเดช (2549)

ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกไว

ข้าวหุงสุกไว หรือข้าวกึ่งสำเร็จรูป (quick-cooking rice) เป็นข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ 3 หลักการคือการให้ความชื้นแก่เมล็ดข้าวอย่างเพียงพอ จากนั้นจึงนำมาทำให้สุกในระดับหนึ่งก่อนการนำมาทำแห้งในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นและใช้เวลาในการคืนตัวสั้นกว่าข้าวหุงสุกธรรมดา ซึ่งนักวิจัยได้ทำการพัฒนาและผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปเป็นข้าวหุงสุกไว ที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและบริษัทที่ทำการผลิตตัวอย่างเช่นการผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูปของบริษัท Nissin Food Company ของประเทศญี่ปุ่นที่มีความโดดเด่นในการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปพร้อมด้วย โดยใช้หลักการทำให้ตัวข้าวสุกก่อนในระดับหนึ่งภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง และทำให้แห้งในภายหลัง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถคืนรูปได้โดยใช้น้ำร้อนภายในเวลาเพียง 5 นาที (Luh and Mikus, 1980)

ในปัจจุบันพบว่ามียุทธวิธีแบบของการผลิต ผลิตภัณฑ์หุงสุกไว ที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาและถูกนำมาใช้ในการพาณิชย์และอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องผ่านกรรมวิธีการหลายขั้นตอน และเครื่องมือหลายชนิดที่ใช้ในการแปรรูป โดยได้รับการออกแบบให้เหมาะสมต่อตัวผลิตภัณฑ์เช่น

1. วิธีการแช่น้ำ-ต้ม-ไอน้ำ-ทำแห้ง โดย Ozai-Durrani (1948 อ้างโดย อรอนงค์, 2550) โดยการนำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง ให้มีความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 นำไปต้มด้วยน้ำเป็นเวลา 8-10 นาที ให้มีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 65-70 จากนั้นทำให้เย็นโดยเทน้ำร้อนทิ้งและล้างด้วยน้ำเย็น 1-2 นาที นำข้าวหุงสุกไปเกลี่ยบนตะแกรง ทำให้ข้าวหุงสุกแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสปริมาณความร้อน 200 ฟุตค่อนาที โดยทำให้ความชื้นระเหยจากผิวเพื่อให้เนื้อเมล็ดข้าวหุงสุกมีโครงสร้างเป็นรูพรุนและสามารถคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว จนมีความชื้นลดลงเป็นร้อยละ 8-14 หรือให้ความร้อนเป็นระยะๆ โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นระยะ ให้เมล็ดข้าวขยายปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และคืนรูปได้ภายใน 10-13 นาทีโดยต่อมา Luh (1991) ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงการแปรรูปจนทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถคืนรูปได้ภายในเวลา 5 นาที

2. การทำให้เมล็ดข้าวพองตัวและเกิดเจลาทิไนซ์โดย Robert (1995) ทำการนำข้าวสารมาแช่น้ำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 นำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่สภาวะความดัน 10-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5-20 นาที จากนั้นใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เมล็ดข้าวแห้ง และมีความชื้นประมาณร้อยละ 8-14 ในขั้นตอนนี้เมล็ดข้าวจะเกิดการหดตัวและมีลักษณะใส แต่หากใช้วิธีความร้อนสูงก็จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกเกิดรูพรุน และนำข้าวหุงสุกไปทำให้พองด้วยไอน้ำ และลมร้อนที่

อุณหภูมิ 200-260 องศาเซลเซียสเพื่อที่จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกพองขึ้นและคืนรูปได้ภายในเวลาเพียง 2-3 นาที เช่นเดียวกับ Brooks et al. (1981) ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการหุงให้เมล็ดข้าวสุกในหม้อหนึ่ง ควบคุมความดันอย่างค่อนเนื่อง จนมีความชื้นจาก 30 เป็น 70 องศาเซลเซียสและข้าวสุกทั้งเมล็ด นำมาทำแห้งในเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนทั่วไป ซึ่งใช้เวลาเตรียมสั้นกว่าวิธีอื่น

3. วิธีการบดข้าวหุงสุกโดย Ozai-Durrani (1948) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ข้าวที่ผ่านการนึ่ง หรือทำให้สุกแล้วระดับหนึ่ง มาแช่น้ำ จากนั้นจึงนำมานึ่งในไอน้ำ หรือทั้งแช่น้ำและนึ่งไอน้ำพร้อมกัน เพื่อให้ความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และนำมากดหรือบดให้เมล็ดแบนลงร้อยละ 30-80 ของความหนาเดิม และใช้การอบที่อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้เมล็ดข้าวเหลือความชื้นร้อยละ 10 และทำให้เชื้อหุ้มเมล็ดเกิดรูพรุน

4. วิธีการใช้ความร้อนแห้งเป็นวิธีการลดความชื้นแก่ข้าวสารโดยใช้ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 57-82 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 30-60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที เป็นเวลา 10-30 นาที เพื่อให้เมล็ดข้าวมีปริมาณความชื้นลดลงจากเดิมร้อยละ 3-4 และหุงสุกได้ภายใน 10 นาที (Alexander, 1954) เช่นเดียวกับ Bardet and Giesse (1961) ที่ศึกษาโดยใช้วิธีการให้ความร้อนแห้งแก่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิสูงถึง 230-315 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลมประมาณ 2,500 ฟุตต่อนาที เป็นเวลา 17.5 วินาที เพื่อทำให้เปลือกของข้าวกล้องร้าว จากนั้นจึงทำให้เย็นลงทันที ส่งผลให้เนื้อเมล็ดข้าวมีลักษณะขุ่นขึ้น มีการพองตัวของเมล็ด และผิวเมล็ดข้าวร้าวจึงทำให้สามารถหุงสุกได้ภายใน 15 นาที

5. วิธีการคืนรูปจากเยือกแข็งโดย Keneaster and Newtin (1957) ได้ทำการพัฒนาโดยนำเมล็ดข้าวแช่น้ำที่มีอุณหภูมิปกติหรืออุณหภูมิต่ำที่ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นทำให้สุกโดยการต้มหรือ นึ่งไอน้ำ และนำไปแช่น้ำเย็นให้เมล็ดข้าวเย็นตัวลงจึงเทน้ำทิ้งแล้วนำไปแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งภายในเมล็ดทำลายโครงสร้างของสตาarch เป็นรูพรุน ทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้น จากนั้นลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจนถึงขั้นแช่เยือกแข็งสมบูรณ์ แล้วนำมาคืนรูปที่อุณหภูมิห้อง หรือใช้ลมอุ่นเป่าเป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือนานกว่านี้ และนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียสไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมงครึ่ง โดยพบว่าวิธีการนี้สามารถคืนรูปข้าวหุงสุกไว้ได้ภายใน 5 นาที

6. วิธีการพองตัวจากเครื่องอัดแบบปืน (gun-puffing) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Carman and Allison (1953) โดยทำการเพิ่มปริมาณข้าวขึ้นให้แก่ข้าวสารให้เป็นร้อยละ 18-26 หรือ ร้อยละ 20-22 ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 33 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงใส่ข้าวลงในหม้อไอน้ำหรือเครื่องอัดแบบปืน ปิดฝาให้สนิทแน่น ลดความดันให้เท่ากับ 1.5 นิ้วของปรอท เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นทำการเพิ่มปริมาณไอน้ำให้แก่สภาวะ โดยยังคงความดันเท่าเดิม จนข้าวสุกทั่วทั้งเมล็ด และทำการลดความ

ดันอย่างรวดเร็วให้เหลือเพียง 0.1 นิ้วปรอท เพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัวและลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 15 โดยใช้ความร้อนแห้งโดยวิธีการนี้ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สามารถคืนรูปได้ภายในเวลาเพียง 5 นาทีโดยการใช้การเติมน้ำร้อน

7. วิธีการทำแห้งเยือกแข็ง (Wayne, 1963) โดยการนำเมล็ดข้าวมาหุงให้สุก จากนั้นจึงนำไปผ่านเครื่องทำความเย็นแบบแผ่นสัมผัสในสภาพสุญญากาศให้อยู่ในสภาพเยือกแข็งหรือสัมผัสโดยตรงกับสารให้ความเย็นเยือกแข็ง เช่น ไนโตรเจนเหลว จากนั้นใส่เมล็ดข้าวเยือกแข็งในตู้ทำแห้งเยือกแข็ง ให้เมล็ดข้าวมีความชื้นร้อยละ 10-20 และนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 150-315 องศาเซลเซียสด้วยลม ซึ่งส่งผลให้ข้าวสามารถคืนรูปได้เร็วขึ้น แต่วิธีการนี้มีเสถียรภาพน้อยกว่าวิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนหรือการทำให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัว

8. วิธีการใช้สารเคมี เป็นการใช้สารเคมีเพื่อให้เมล็ดข้าวสามารถหุงสุกได้เร็วขึ้น และยังส่งผลให้เมล็ดข้าวมีเนื้อสัมผัส และรสชาติที่ดีขึ้น เช่น การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ การใช้เอนไซม์ เสมิเซลลูโลส การใช้สารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นต้น ดังการศึกษาของ Tanaka and Yukami (1969) โดยการนำข้าวมาแช่สารละลายฟอสเฟตที่มีความเป็นกรด-เบส (pH) 7.6-8.2 ที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียสจากนั้นนำมาต้มกับสารละลายฟอสเฟต (ร้อยละ 0.05-0.5) แฉีกคาไรด์ (ร้อยละ 0.3-10) และสารช่วยลดแรงตึงผิว (ร้อยละ 0.1-0.5) จนเมล็ดข้าวสุกและมีความชื้นร้อยละ 50-70 และนำไปนึ่งไอน้ำจนข้าวสุกที่ร้อยละ 100 แล้วนำไปผ่านการทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว

9. วิธีการใช้พลังงานไมโครเวฟโดย Huxsoll and Morgan (1968) นำข้าวสารมาแช่น้ำจนมีความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 25-30 แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ จนกระทั่งเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงขึ้น จากนั้นนำไปแช่น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 66 องศาเซลเซียสและนำไปหุงต้มด้วยพลังงานไมโครเวฟจากนั้นจึงนำไปผ่านความร้อนต่อเพื่อให้เมล็ดข้าวร้าว และพองขึ้นอีก ซึ่งพบว่าทำให้เมล็ดข้าวสามารถคืนรูปได้ภายในเวลา 5 นาที

10. วิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบดและหมุนเหวี่ยง (Roberts et al., 1979) โดยนำข้าวสารมาแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือนานกว่าที่อุณหภูมิห้องจนมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30-33 แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 4-8 นาที โดยเวลาที่ใช้ในการต้มจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวจากนั้นทำให้เย็นในน้ำเย็น และนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบด และหมุนเหวี่ยงด้วยแรงเหวี่ยงระดับ 10 ที่อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียสจนเมล็ดข้าวมีความชื้นร้อยละ 6-10 โดยเมล็ดข้าวที่ได้สามารถคืนรูปได้โดยการต้มกับน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่ 2.5:1 ประมาณ 5-7 นาที จะได้ข้าวที่มีเนื้อสัมผัส เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

สารต้านอนุมูลอิสระ

สารอนุมูลอิสระ

สารอนุมูลอิสระ (free radical) คือสารที่มีอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ ที่ไม่เสถียรอยู่บนวงรอบของอะตอมหรือโมเลกุลโดยสารเหล่านี้จะมีพลังงานสูงความว่องไวในการทำปฏิกิริยา โดยเฉพาะกับธาตุเหล็ก ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์ โครเมียม นิเกิล ซึ่งหากมีอิเล็กตรอนซึ่งไม่มีคู่บนโมเลกุลจะทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่โดยจะเกิดขึ้นในร่างกายจากการหายใจและกระบวนการเผาผลาญของร่างกาย (Vicedo and Correias, 2003) และร่างกายก็จะมีระบบแอนติออกซิแดนซ์จัดสารอนุมูลอิสระเหล่านี้ออกไป แต่ถ้าร่างกายได้รับสารอนุมูลอิสระจากภายนอกมากเกินไป เช่น ได้รับจากอาหารบางชนิด จากกระบวนการประกอบอาหาร เช่น การย่างเนื้อสัตว์ที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง การนำน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงๆ มาใช้อีก หรือจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงอาทิตย์ซึ่งมีรังสี ultraviolet การแผ่รังสี x-rays หรือจากมลพิษ เช่น ควันบุหรี่ ก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์ ถ้าสารเหล่านี้มีมากกว่าความสามารถของแอนติออกซิแดนซ์ในร่างกายจะขจัดหมด หรือในภาวะที่จำนวนแอนติออกซิแดนซ์ในร่างกายลดลง จะส่งผลให้เนื้อเยื่อภายในร่างกายถูกทำลาย และอาจนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เป็นต้น (ลักขณา, 2545)

กลไกปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของไขมัน ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีกลไกการเกิดเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ initiation หมายถึงขั้นตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยา propagation หมายถึงอนุมูลอิสระจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลตัวอื่นโดยปฏิกิริยา free-radical chain reaction และ termination หมายถึงขั้นตอนสุดท้ายในการรวมตัวกันของ 2 อนุมูลอิสระ จนเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่มีความเสถียรและไม่เป็นอนุมูลอิสระ (non-radical production) (นิธิยา, 2541)

สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือสารที่มีสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาถูกโอโซนของอนุมูลอิสระ มีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidant) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) และมีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ได้แก่ ควันทูห์ แอลกอฮอล์ รังสี ultraviolet รังสี x-rays ให้กลายเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อเซลล์ร่างกาย สามารถป้องกันหรือซ่อมแซมความเสียหายของเซลล์ร่างกายจากออกซิเจนได้และมีความสามารถในการเป็นสารต้านโรคต่างๆ เช่น โรคหอบ โรคหัวใจ เป็นต้น (Macrea et al., 1993)

ประเภทของสารต้านออกซิเดชัน

1. True antioxidants เป็นสารต้านออกซิเดชันแท้เป็นสารที่ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาถูกโอโซนของกระบวนการ autooxidation โดยการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ สารต้านออกซิเดชันแท้ไม่มีผลในการต้านออกซิเดชันที่เกิดจาก redox reaction สารชนิดนี้อาจจะใช้เดี่ยวๆ หรือใช้กับสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันกลุ่มนี้เช่น butylated hydroxyanisole (BHA นิยมใช้ประมาณร้อยละ 0.005-0.02 ละลายได้ดีใน alcohol และน้ำมัน) butylated hydroxytoluene (นิยมใช้ประมาณร้อยละ 0.0075-0.1 ละลายได้ดีในน้ำมัน) และ tocopherol เป็นต้น
2. Reducing agent สารต้านออกซิเดชันกลุ่มนี้ใช้ได้ผลกับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนที่ผันกลับได้ หรือ redox reaction เนื่องจากมี -OH group หรือ -SH group ซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอนแก่สารอนุมูลอิสระได้ ซึ่งสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ เช่นวิตามินซี เป็นต้น
3. Antioxidant synergist โดยสารต้านออกซิเดชันกลุ่มนี้จะมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงใช้ร่วมกับสารต้านออกซิเดชัน 2 กลุ่มข้างต้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น EDTA เป็นต้น

สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ

1. วิตามิน เอ (beta carotene)

เป็นสาร antioxidant ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการมองเห็น ช่วยให้ผิวหนังแข็งแรง ช่วยระบบภูมิคุ้มกันในการต่อสู้กับเชื้อโรค ซึ่งเบต้าแคโรทีนนั้นจะพบมากในผักและผลไม้ที่มีสีเหลืองส้ม เช่น แครอท ฟักทอง มะเขือเทศ และผักใบเขียวต่างๆ เป็นต้น

2. วิตามิน ซี (ascorbic acid)

เป็นสาร antioxidant ที่ช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อและการรักษาแผล ช่วยให้ร่างกายต่อสู้กับเชื้อโรค ช่วยการสร้างสารสื่อประสาท (neurotransmitter) เช่น นอร์อะดรีนาลีนและซีโรโทนินโดยจะพบมากในอาหารจำพวกผลไม้สดส้ม ฝรั่ง สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น

3. วิตามิน อี (tocopherols)

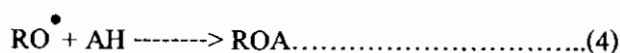
ที่เป็นสาร antioxidant ที่บำรุงให้เซลล์ในร่างกายมีสภาพที่สมบูรณ์และแข็งแรงอยู่เสมอ และยังช่วยป้องกันการทำลายเซลล์ในร่างกายจากมลภาวะต่างๆ ซึ่งจะพบ วิตามินอี ได้มากในอาหารจำพวกน้ำมันพืช ถั่ว ผักใบเขียว ไข่ จมูกข้าวสาลี ขนมน้ำผึ้ง เป็นต้น

4. ซีลีเนียม (Selenium)

เป็นสาร antioxidant ที่ช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย และสามารถพบได้มากในอาหารจำพวกธัญพืชเต็มเมล็ด (whole grain) กระเทียม ไข่ อาหารทะเล หน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น (Vicedo and Correias, 2003)

กลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาที่ (1) และ (2) แสดงการทำงานของสารต้านออกซิเดชันหรือ AH ที่เข้าไปรบกวนปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือ ROOH โดยให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลของไขมันอย่างรวดเร็ว ทำให้อนุมูลของไขมันมีความเสถียรมากขึ้นหรืออาจกลายเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอื่น (Eskin and Przybylski, 2001)



โดยสารต้านออกซิเดชันชนิดสารประกอบฟีนอลจะสามารถรวมตัวกับอนุมูลของไขมันอื่นๆ ได้อีก ถึงแม้จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลของไขมันหนึ่งๆ ไปแล้ว ดังปฏิกิริยาที่ (3) และ (4) และกลายเป็นสารประกอบสุดท้ายที่มีความคงตัว (Shahidi and Naczk, 2004)

วิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน

วิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันมีหลายวิธี ได้แก่

1. วิธี Ferric thiocyanate (FTC) method คือการวัดประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชัน โดยวัดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (substrate) ในสารละลายเอทานอลและฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นทำการคำนวณจำนวนเปอร์ออกไซด์ในระยะแรกของการออกซิเดชันของไขมัน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของ Ferrous chloride (Kikuzaki and Nakatani, 1993)

2. วิธี Thiobarbituric acid (TBA) method คือการวัดประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน โดยการวัดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid ที่เป็นสารตั้งต้นในสารละลายเอทานอลและฟอสเฟตบัฟเฟอร์เช่นเดียวกับวิธี FTC แต่จะวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์หลังจากการออกซิเดชันของไขมัน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของสาร thiobarbituric acid โดยในระหว่างกระบวนการออกซิเดชันนั้น สารเปอร์ออกไซด์จะค่อยๆ สลายตัวเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลต่ำกว่าเดิม ซึ่งเรียกว่า malonaldehyde มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพ โดยที่ 1 โมล ความเข้มข้นของ malonaldehyde จะรวมตัวกับ 2 โมเลกุลของสาร thiobarbituric acid ได้สารที่ไม่มีสี แต่ถ้าพบว่ามีความเข้มข้นของสาร malonaldehyde สูงจะทำให้สารละลายมีสีเข้มขึ้น ซึ่งความเข้มข้นกับปริมาณ malonaldehyde แปรผันตามระดับการออกซิเดชันของไขมันนั่นเอง (Kikuzaki and Nakatani, 1993)

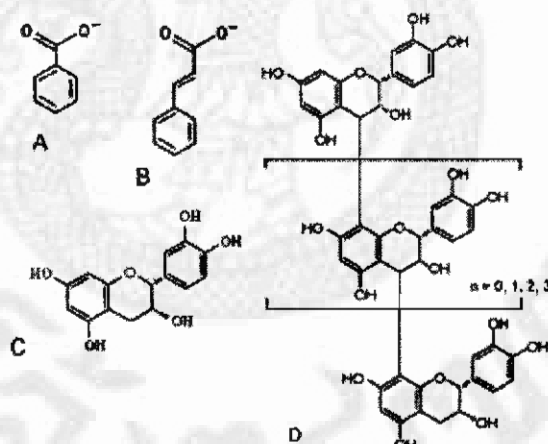
3. วิธี Ferric reducing ability of plasma (FRAP) คือการวัดประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน ในการรีดิวซ์เฟอร์ริกไอออน (Ferric ion: Fe^{3+}) ให้กลายเป็นเฟอร์รัสไอออน (ferrous ion: Fe^{2+}) โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบ Ferrous-tripyridyltriazine ที่เกิดขึ้นแล้วนำมาเปรียบเทียบกับสาร Ferrous ion (Fe^{2+}) ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (Benzie and Strain, 1996)

4. วิธี ABTS radical cation decolorization assay ($ABTS^{\cdot+}$) เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งวัดการลดลงของสีของอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ABTS [2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] กับสาร

โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulfate) โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะเป็นตัวจับอนุมูล $ABTS^+$ ที่เกิดขึ้น แล้วเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชันในการยับยั้ง $ABTS^+$ radical cation กับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน เช่น โทรลอคซ์ กรด แอสคอร์บิกและเคอซีทิน เป็นต้น (Re et al., 1999)

สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol)

สารประกอบโพลีฟีนอลเกิดจากสารในกลุ่ม secondary metabolite ของพืชซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม phenylalanine และในพืชบางชนิดจะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม tyrosine ได้แก่ สารฟีนอล (phenols) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) เทนิน (tannins) ลิแกน (lignans) และลิกนิน (lignins) เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืช (ภาพ 4)



ภาพ 4 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิกฟลาโวนอยด์ และเทนิน (A ภาพโครงสร้างของ cinnamic acid, B ภาพโครงสร้างของ benzoic acid, C ภาพโครงสร้างของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และ D ภาพโครงสร้างของ proanthocyanidin หรือ tannin)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rooney and Saldivar (2000)

สารประกอบโพลีฟีนอลมีลักษณะโครงสร้างเป็นวงเบนซีน (aromatic ring) ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) (Shahidi and Naczk, 2004) โดยทั่วไปแล้ว จะสามารถเกิดขึ้นได้จากการรวมตัวของโมเลกุลของน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปเช่น น้ำตาลกลูโคส

(glucose) กับหมู่ไฮดรอกซิลโดยสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสามารถพบได้ทั่วไป (Fine and Candidate, 2000) ได้แก่

1. ฟีนอล (phenols, C_6) พบได้ทั่วไปในพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องเทศเช่น phenol, cresol, thymol, resorcinol, orcinol เป็นต้น รวมทั้ง hydroquinone และ phloroglucinol
2. กรดฟีนอลิก (phenolic acid, C_6-C_1) พบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงและเฟิร์น เช่น gallic acid, syringic acid, vanillic acid, protocatechuic acid, p-hydroxybenzoic acid และอัลดีไฮด์ของกรดฟีนอลิก เป็นต้น
3. ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids, C_6-C_3) หรือสารจำพวกส่วนประกอบพื้นฐานของลิกนิน เช่น hydroxycinnamic acid (เช่น p-cumaric acid, caffeic acid, ferulic acid, และ sinapic acid เป็นต้น), coumarins (เช่น umbelliferone, aesculetin และ scopoletin เป็นต้น) สารไกลโคไซด์ (glycosides), cinamyl alcohols (เช่น coniferyl alcohol หรือ guaiacyl alcohol, sinapyl alcohol หรือ syringyl alcohol และ p-coumaryl alcohol หรือ p-hydroxyphenyl alcohol เป็นต้น)
4. ฟลาโวนอยด์ (flavonoids, $C_6-C_3-C_6$) เช่น ฟลาโวน (flavones เช่น chrysin, rutin, apigenin, luteolin และ diosmetin เป็นต้น) และฟลาโวนอล (flavonols เช่น quercetin, myricetin และ kaempferol เป็นต้น) รวมทั้งไกลโคไซด์ของฟลาโวนและฟลาโวนอลซึ่งพบได้ในพืชเกือบทุกชนิด ยกเว้นในสาหร่ายและ fungi สำหรับฟลาโวนอยด์ในกลุ่มอื่นๆ ได้แก่ ฟลาโวนอน (flavonones เช่น naringin, naringenin, isosakuranetin, taxifolin, eriodictyol และ hesperidin เป็นต้น) จะพบมากในพืชตระกูลส้มและพ룬 ไอโซฟลาโวน (isoflavones เช่น genistein, daidzin และ daidzein เป็นต้น) จะพบมากในพืชตระกูลถั่วที่มีลักษณะเป็นฝัก ฟลาโวนอล (flavanols เช่น catechin, epicatechin, gallocatechin, epigallocatechin และ epicatechingallate เป็นต้น) จะพบมากในชา และแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วงแดง พบได้ในดอกไม้ ฝักและผลไม้ (Bravo, 1998 อ้างโดย วิวัฒน์, 2545)

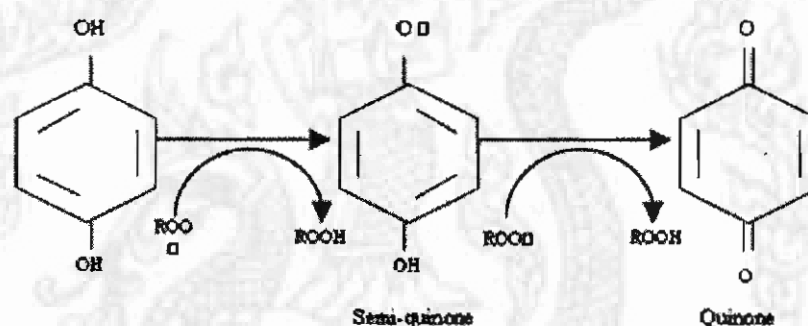
แหล่งของสารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบโพลีฟีนอลนั้นพบมากในผักและผลไม้หลายชนิด รวมทั้งธัญพืชและผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปผักและผลไม้ ได้แก่ ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่เช่น สตรอเบอร์รี่ แบล็กเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ และองุ่น เป็นต้น ผลไม้ที่มีเมล็ดเคี้ยว เช่น เชอร์รี่ พืช และพ룬 เป็นต้น ประเภทหัวและราก เช่น แครอท หัวไชเท้า มันฝรั่งและหัวหอม เป็นต้น ประเภทใบ ก้านและลำต้น เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ผักกาดหอมและขึ้นฉ่าย เป็นต้น (Shahidi and Naczki, 2004) สมุนไพรและเครื่องเทศ เช่น กานพลู

และพริกไทย เป็นต้น (ไมตรีและคณะ, 2543) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ได้แก่ เครื่องดื่ม ไวน์และน้ำผลไม้ เป็นต้น (Shahidi and Naczk, 2004)

สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล

คุณสมบัติที่สำคัญของสารประกอบโพลีฟีนอล คือ คุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยจะไปรบกวนปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิด การให้ไฮโดรเจนอะตอม แก่อนุมูลของไขมัน กลายเป็นอนุมูล phenoxy โดยโมเลกุลนี้จะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่รอบวง เบนซีน ซึ่งสามารถรวมตัวกับอนุมูลของไขมันอื่นๆ ได้อีก (Shahidi and Naczk, 2004) ดังภาพ 5



ภาพ 5 ปฏิกิริยาการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล

ที่มา: Shahidi and Naczk (2004)

โดยปัจจัยต่อประสิทธิภาพการทำงานของสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบอยู่ในพืชผักและผลไม้มีปริมาณและสมบัติการต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิด สิ่งแวดล้อม แหล่งที่ปลูก วิธีการเพาะปลูก ความสุก กระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา ส่วนของพืช รสชาติและส่วนประกอบทางเคมีของพืชนั้นๆ เป็นต้น (Bravo, 1998 อ้างโดย วิวัฒน์, 2545)

แอนโรโซยานิน

แอนโรโซยานินเป็นรงควัตถุในกลุ่มที่มีสีแดงสีม่วง หรือสีน้ำเงิน จึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์พบมากในส่วนของใบ ดอก และผลของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่มีสีส้มเช่น องุ่น และแคนเบอร์รี่ (Wang et al., 1997) โดยแอนโรโซยานินสามารถละลายน้ำได้และได้สีในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ (Ghosh and Konishi, 2007) ประกอบไปด้วยน้ำตาลที่อาจมีได้ทั้ง 1, 2 หรือ 3 โดยสามารถเป็นได้ทั้งน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ เช่น น้ำตาลกลูโคส กาแลคโตส เป็นต้น น้ำตาลไดแซคคาไรด์เช่น รุติโนสเจนทิโอไบโอสหรือน้ำตาลไตรแซคคาไรด์ที่รวมตัวกับส่วนอะไกลโคน กลายเป็นโมเลกุลไกลโคไซด์ (นิธิยา, 2545)

โมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่กับส่วนของแอนโรโซยานิน ฟลาโวน ฟลาโวนอล หรือฟลาวาโนน ด้วยพันธะไกลโคไซด์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าในโมเลกุลของแอนโรโซยานินบางชนิดมีองค์ประกอบอื่นรวมอยู่ด้วย เช่น กรดอินทรีย์และโลหะหนัก (เหล็ก อลูมิเนียม และแมกนีเซียม) (นิธิยา, 2545)

สีของแอนโรโซยานินนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นกรดหรือค่าที่ต่างกัน เมื่อสภาวะเป็นกรดอยู่ระหว่าง 1-3 แอนโรโซยานินจะมีสีแดง มีสีซีดลงจนเกือบไม่มีสี ในสภาวะที่เป็นเบส อยู่ระหว่าง 3-7 แอนโรโซยานิน (ไม่มีสี) และมีสีม่วงเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบสอยู่ระหว่าง 7-10 (Hutchings, 1994) และจากการศึกษาของ Henry and Kettlewell (1996) แอนโรโซยานินสามารถเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สีเขียวและเหลือง หากค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 10

จากการศึกษาของ Konczak and Zhang (2004) พบว่าแอนโรโซยานินนั้นมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้อย่างดีเยี่ยม โดยสามารถป้องกันการเกิดโรคทางประสาทและสมอง โรคกระเพาะและโรคเบาหวานได้ และเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวน้อยจึงทำให้สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณของแอนโรโซยานินในระหว่างกระบวนการต่างๆ เช่น การสกัด การทำให้บริสุทธิ์ (Antolovich et al., 2000) กระบวนการแปรรูป รวมไปถึงการเก็บรักษา (Giusti and Wrolstad, 2003) ซึ่งสีของแอนโรโซยานินเปลี่ยนแปลงไปด้วยและปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโรโซยานินได้แก่อุณหภูมิ ออกซิเจนค่าความเป็นกรด-เบส และแสง (Ovando et al., 2009)

ไฟเตท (Phytate)

ไฟเตท คือเกลือของกรดไฟติก (phytic acid) หรือกรดเฮกซาอินซาทอลฟอสฟอริก (Hexainositol phosphoric acid) มีชื่อทางเคมีว่า inositol-1, 2, 3, 4, 5, 6-hexadihydrogen-phosphate หรือ myo-inositol hexadihydrogen phosphate (Konietzny and Greiner, 2002) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_{24}O_{27}P_6$ และมีสูตรโครงสร้างดังภาพ 6 ซึ่งกรดไฟติกนี้สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่มีความสามารถสูงในการจับกับสังกะสี และธาตุเหล็ก กรดไฟติกจึงถือได้ว่าเป็นตัวขัดขวางภาวะทางโภชนาการ โดยทำให้การดูดซึมและการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารของร่างกายลดลง เนื่องจากกรดไฟติก เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสที่พบมากในเมล็ดพืชที่เจริญเต็มที่แล้ว โดยโครงสร้างของกรดไฟติกนั้นจะประกอบไปด้วย inositol- ที่มีหมู่ฟอสเฟตเกาะอยู่ 6 หมู่ โมเลกุลจึงสามารถจับกับธาตุที่มีประจุบวกและโปรตีนได้ และอยู่ในรูปของเกลือเรียกว่าไฟเตท หรือไฟติน (phytin) ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนโมเลกุลใหญ่ จึงเป็น chelator ที่แรงมาก ยิ่งหากมีการจับกับธาตุโลหะหนักที่มีวาเลนซ์ 2 หรือ 3 จะได้เกลือของไฟเตทที่ไม่ละลายน้ำ และถ้ารับประทานเข้าไปในร่างกาย ซึ่งไม่มีน้ำย่อยไฟเตส (phytase) ก็จะไม่สามารถดูดซึมได้ ดังนั้นธาตุโลหะที่อยู่ในรูปของเกลือไฟเตทจึงนำมาใช้ไม่ได้ เช่น Zinc-phytate, Zinc-calcium phytate, Iron-phytate เป็นต้น จึงมีผลกระทบต่อ การดูดซึม และการนำไปใช้ของสารเหล่านี้ได้ (พนารัตน์, 2542)

แหล่งที่พบไฟเตท

แหล่งของอาหารที่สามารถพบไฟเตทได้มากคือ ในพืชผักซึ่งสามารถแบ่งของแหล่งที่จะพบได้เป็น 3 ระดับ คือ (นัยนา และคณะ, 2533)

- พืชที่มีไฟเตทสูง ได้แก่ พืชที่ให้น้ำมัน เช่น งา พืชตระกูลถั่วต่างๆ กลุ่มพืชที่กินใบอ่อน เช่น ยอดผักตบชว ยอดผักหวาน ยอดใบแค เป็นต้น
- พืชที่มีไฟเตทปานกลาง ได้แก่ ธัญพืช พืชที่กินดอกหรือผล เช่น มันฝรั่ง มะระ มะละกอดิบ บร็อกโคลี เป็นต้น
- พืชที่ไฟเตทต่ำ ได้แก่ แครอท หัวผักกาด หัวหอม เห็ด ผักขม ผักบุ้งแดง ตำลึง ผักกาดหอม ใบตั้งโอ้ หน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น

ปริมาณของไฟเตทนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆอีกด้วยเช่น สภาพของดิน ว่ามีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปมากน้อยเพียงใด ซึ่งปุ๋ยฟอสเฟตที่เกษตรกรใส่นั้นมีจุดประสงค์เพื่อต้องการเพิ่ม

ผลผลิตของพืช หากแค่กลับส่งผลทำให้มีปริมาณไฟเตทสะสมในพืชสูง (Konietzny and Greiner, 2002)

ไฟเตทกับภาวะโภชนาการ

เนื่องจากไฟเตท มีคุณสมบัติในการจับกับสารประจุบวกเช่น เหล็ก แคลเซียม สังกะสี ได้ดี ดังนั้น การได้รับไฟเตทในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อ การดูดซึมและการนำไปใช้ของสารอาหารจำพวกแร่ธาตุในร่างกายของคน (Konczak and Zhang, 2004) อย่างไรก็ตาม ในการทำลายไฟเตทนั้นค่อนข้างเป็นไปได้ยาก แม้แต่ความร้อนที่ใช้ในการหุงต้มในครัวเรือน ทำให้ไฟเตทสูญเสียไปเพียงเล็กน้อย โดยไฟเตทส่งผลกระทบต่อ การดูดซึมของแร่ธาตุต่างๆ ดังนี้ (นัยนา และคณะ, 2533)

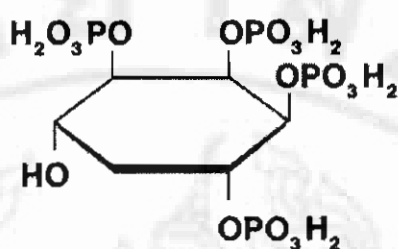
แร่ธาตุเหล็ก โดยไฟเตทมีผลต่อการลดการดูดซึมของแร่ธาตุเหล็กให้ลดลงถึง 10 เท่า ทำให้ร่างกายเกิดภาวะพร่องเหล็กซึ่งจะทำให้ร่างกายปรากฏอาการซีด การเรียนรู้ช้ากว่าปกติ อ่อนเพลียง่าย เฉื่อยชา ความทนทานต่อการทำงานน้อยลง

แร่ธาตุแคลเซียม ในปัจจุบันพบว่าการขาดแคลเซียมนั้นเป็นปัญหาหนึ่งของคนไทย เนื่องจากการบริโภคแคลเซียมของคนไทยมีค่าเฉลี่ยเพียง 456 มิลลิกรัมต่อวัน กล่าวได้ว่าได้รับเพียงครึ่งหนึ่งของความต้องการของร่างกาย โดยเมื่อปริมาณที่ได้รับต่ำอยู่แล้วและยังได้รับสารที่สามารถลดการดูดซึมแคลเซียม จึงส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลเซียมได้มากขึ้น นอกจากไฟเตทจะลดการดูดซึมแคลเซียมได้แล้ว ถ้าได้รับไฟเตทมากๆ อาจทำให้แคลเซียมละลายออกมาจากกระดูกได้ โดยการประมาณพบว่า ไฟเตท 80 มิลลิกรัม สามารถจับกับแคลเซียมได้มากหากมีแคลเซียมน้อยกว่า 229 มิลลิกรัม และทำให้แคลเซียมละลายออกจากกระดูก จนเกิดโรคกระดูกพรุนได้ในที่สุด นอกจากตัวอย่างของแร่ธาตุที่ยกมากล่าวนี้แล้ว ไฟเตทยังมีผลต่อแร่ธาตุตัวอื่นด้วย เช่น แมกนีเซียม ทองแดง และสังกะสีเป็นต้น

นอกจากนี้ไฟเตทยังมีผลต่อคุณภาพของโปรตีนในอาหารอีกด้วย โดยจะไปรวมตัวเป็นเกลือเชิงซ้อนของกรดไฟติกและโปรตีน (protein phytate complex) ซึ่งพบในอาหารประเภทถั่ว และเกลือเชิงซ้อนนี้มีโปรตีนอยู่ร้อยละ 18.6 ของน้ำหนัก ซึ่งร่างกายไม่สามารถนำโปรตีนในส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ (นัยนา และคณะ, 2533)

จากรายงานการทดลองของ Jianfen et al. (2008) พบว่าสามารถลดการเกิดกรดไฟติก หรือไฟเตทนี้ได้ ในระหว่างกระบวนการทำข้าวกล้องงอก โดยการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวกล้องประมาณร้อยละ 42-59 ก่อนประมาณ 1 นาทีและหลังจากนั้นจึงนำข้าวกล้องไปแช่น้ำที่

อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงให้เกิดการงอก จะช่วยลดการเกิดไฟเตทในข้าวกล้องงอกได้ถึงร้อยละ 56-96 แต่ก็พบว่าวิธีการดังกล่าวทำให้ข้าวกล้องเกิดการสูญเสียแร่ธาตุได้แก่ สังกะสี ไปในปริมาณมากเช่นกัน



ภาพ 6 สูตรโครงสร้างไฟเตท
ที่มา: Angyal and Russell (1969)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

วัตถุดิบ

1. ข้าวกล้องหอมดําสุโขทัย 2 (บริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)
2. ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 (บริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)

เครื่องมือ

1. เครื่องสเปรย์น้ำอัตโนมัติ (automatic water spraying)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius BP 610, Germany)
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius CP 224S, Germany)
4. ตู้อบลมร้อน (hot air oven: Memmert, Germany; Termaks, Norway)
5. หม้อนึ่งความดันไฟฟ้าระบบอัตโนมัติ (autoclave: Harayama, Japan)
6. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer: Perkin Elmer, Germany; Milton Roy, U.S.A.)
7. เครื่องวัดค่าสี (colorimeter: Tri-stimulus colorimeter, Japan)
8. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge: Hettich, England)
9. เครื่องย่อย (digestion block)
10. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl nitrogen equipment: Tecator, Sweden)
11. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet apparatus: Tecator, Sweden)
12. เครื่องผสม (vortex: Genie 2™ G-560E, U.S.A.)
13. เครื่องปั่น (blender: Otto, Thailand)
14. เตาให้ความร้อน (hotplate: Kika, Malaysia; Gerhardt, Germany)
15. เตาเผาถ่าน (muffle furnace: Carbolite, England)
16. ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump: GE motors, U.S.A.)

17. หม้อนึ่งไฟฟ้า (food steamer: Tefal VC1001, China)
18. กล้องจุลทรรศน์ (microscope: Olympus optical CO11, Japan)

อุปกรณ์

1. น้ำดื่ม
2. กล่องพลาสติกใสพร้อมตะแกรงพลาสติกในตัวมีฝาปิดขนาด 10x10 เซนติเมตร
3. กระชอนพลาสติก
4. ขวดสีชา
5. บีกเกอร์ (beaker)
6. กระบอกตวง (eylinder)
7. ขวดรูปชมพู่ (flask)
8. ขวดปริมาตร (volumetric flask)
9. ขวดปริมาตรก้นกลม (round bottom flask)
10. ชุดกลั่น (distillation apparatus)
11. หลอดทดลอง (tube)
12. บิวเรต (burette)
13. glass test tube ขนาด 17 x 100 มิลลิเมตร
14. digestion tube ขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร
15. Polypropylene centrifuge tube ขนาด 15 มิลลิลิตร
16. แท่งแก้วคนสาร (stirring rod)
17. ปิเปต (pipette)
18. หลอดวัดการดูดกลืนแสง (cuvettes)
18. ไมโครปิเปต (micropipette)
19. ปิเปตทิป (pipette tip)
20. กระดาษกรอง (filter paper: Whatman No. 93)
21. กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
22. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสารละลาย (magnetic stirrer bar)
23. อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)
24. โถดูดความชื้น (desiccator)

25. ครุฑิเบิลกระเบื้อง (crucible)
26. แผ่นสไลด์ (slide)
27. หลอดหยด (dropper)
28. ใบมีด (blade)
29. กระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด สำหรับวัดความชื้น (moisture can)
30. ขวดน้ำกลั่น (wash bottle)
31. ลูกยาง (rubber)
32. นาฬิกาจับเวลา (stopwatch)
33. ตะแกรงร่อน (sieve)
34. ถุงผ้าขาวบาง (filter cloth bag)
35. คลิปหนีบสแตนเลส (stainless clamp)
36. ถาดอะลูมิเนียม (aluminum tray)

สารเคมี

1. Ethanol (Merck, Cat No. 1.00983)
2. Hydrochloric acid (Merck, Cat No. 100317)
3. Sulfuric acid (Merck, Cat No. 100731)
4. Potassium dihydrogen phosphate (Merck, Cat No. 104873)
5. Cerium (IV) sulfate tetrahydrate (Merck, Cat No. 102274)
6. Ammonium heptamolybdate tetrahydrate (Merck, Cat No. 101182)
7. Polyvinyl alcohol (Ajax, Cat No. A4877)
8. Malachite green oxalate (Ajax, Cat No. A3233)
9. 30% Hydrogen peroxide (Merck, Cat No. 822287)
10. Trolox (Fluka, Cat No. 56510)
11. Ascorbic acid (Fisher, Cat No. A/8382/48)
12. ABTS [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] (Fluka, Cat No. 11557)
13. Potassium persulfate (Carlo, Cat No. 473701)
14. Ferrous sulfate heptahydrate (Merck, Cat No. 103965)

15. Sodium acetate trihydrate (Fisher, Cat No. S/2040/60)
16. Glacial acetic acid (Merck, Cat No. 100063)
17. Ferric chloride (Merck, Cat No. 103943)
18. TPTZ [2,4,6-tris (2-pyridyl) s-triazine] (Fluka, Cat No. 93285)
19. Sodium hydroxide (Merck, Cat No. 106498)
20. Gallic acid (Fluka, Cat No. 48630)
21. Folin-Ciocalteu (Merck, Cat No. 109001)
22. Sodium carbonate (Ajax, Cat No. A463)
23. Boric acid (Merck, Cat No. 100165)
24. Bromocresol green (Fisher, Cat No. B/4320/44)
25. Methyl red (Riedel, Cat No. 32654)
26. Petroleum ether (Ajax, Cat No. A361)
27. Potassium iodide (J.T. Baker, Cat No. 7681)
28. Iodine (Merck, Cat No. B990461)
29. Congo red (Fluka, Cat No. 6910)

วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทข้าวธรรมชาติจำกัด จำนวน 2 สายพันธุ์ โดยข้าวเปลือกจะถูกกะเทาะเพื่อแยกเปลือกนอกหรือแกลบออก และเมล็ดข้าวกล้องจะถูกบรรจุในถุงไนล่อนสภาพสุญญากาศ จัดส่งมายังมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพ

1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าว ได้แก่

- การวัดค่าสี (Colorimeter: tri-stimuluscolorimeter)
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าว ได้แก่

- ปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995)
- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1995)
- ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 1995)
- ปริมาณไฟเตท (Paul et al., 1987)
- สมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS^{•+}) (Re et al., 1999)
- สมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing ability power (FRAP) (Benzie and Strain, 1996)
- ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ประพันธ์ และ วันทนีย์, 2545)

การศึกษาอิทธิพลของเวลาการแช่และวิธีการให้น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว

ในส่วนนี้แบ่งวิธีการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนย่อยเพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาการแช่และวิธีการให้น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว โดยใช้วัตถุดิบข้าวกล้องได้แก่ ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 ดังนี้

วิธีการที่ 1 นำเมล็ดข้าวกล้องวัตถุดิบ ล้างด้วยน้ำสะอาด และสะเด็ดน้ำที่ใช้ล้างออกเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนเมล็ดข้าวต่อน้ำที่ 1:2 ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท จากนั้นตัวอย่างเมล็ดข้าวจะถูกสุ่มเก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวและสังเกตการงอกของเมล็ดข้าวร่วมด้วย

วิธีการที่ 2 เมล็ดข้าวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วจะถูกสะเด็ดน้ำที่ใช้ล้างออกเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำข้าวเมล็ดข้าวใส่ลงในภาชนะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงไม่อุ้มน้ำ ซึ่งวางซ้อนในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท ทำการฉีดพรมน้ำปริมาณ 15-20 มิลลิลิตรลงบนเมล็ดข้าวทุกๆ 15 นาที ด้วยกระบอกฉีด เป็นเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง โดยจะมีการรินน้ำส่วนเกินที่อยู่ด้านล่างภาชนะออกทุกชั่วโมง เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวแช่อยู่ในน้ำ จากนั้นตัวอย่างเมล็ดข้าวจะถูกสุ่มเก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว และสังเกตการงอกของเมล็ดข้าวกล้องร่วมด้วย

การทดลองทั้งสองวิธีการจะถูกควบคุมให้อยู่ภายใต้อุณหภูมิห้อง หรือประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส

การศึกษารูปแบบการผลิตที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

จากวิธีการเตรียมข้าวกล้องและอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 2 จะถูกนำมาปรับใช้กับอุปกรณ์ฉีดพรมน้ำที่มีการควบคุม ซึ่งสามารถกำหนดและควบคุมปริมาณน้ำตลอดจนอุณหภูมิของอากาศให้เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดข้าวได้ โดยมีการศึกษารูปแบบการผลิต 3 วิธี ได้แก่

วิธีการที่ 1 นำเมล็ดข้าวกล้องวัดดูดิบ ล้างด้วยน้ำสะอาด และสะเด็ดน้ำที่ใช้ล้างออกเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนเมล็ดข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท

วิธีการที่ 2 นำเมล็ดข้าวกล้องวัดดูดิบ ล้างด้วยน้ำสะอาด และสะเด็ดน้ำที่ใช้ล้างออกเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนเมล็ดข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิทเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นทำการรินน้ำภายในภาชนะออกจนหมด และถ่ายเมล็ดข้าวลงในภาชนะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงไม่อุ้มน้ำ เพื่อนำไปสเปรย์น้ำต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำภาชนะตะแกรงที่บรรจุเมล็ดข้าวที่ผ่านการสเปรย์ด้วยน้ำมาใส่ลงในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท

วิธีการที่ 3 นำเมล็ดข้าวกล้องวัดดูดิบ ล้างด้วยน้ำสะอาด และสะเด็ดน้ำที่ใช้ล้างออกเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นใส่เมล็ดข้าวลงในภาชนะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงไม่อุ้มน้ำ เพื่อนำไปสเปรย์น้ำเป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นนำภาชนะตะแกรงที่บรรจุเมล็ดข้าวที่ผ่านการสเปรย์ด้วยน้ำมาใส่ลงในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท

ในการศึกษานี้มีปัจจัยการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในเครื่องสเปรย์น้ำอัดโนมิตี (30 ± 0.5 และ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่การแช่หรือสเปรย์เมล็ดข้าวด้วยน้ำจนถึงขั้นตอนการบ่มเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดกระบวนการงอก (0-30 ชั่วโมง) ตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องจะถูกสุ่มที่เวลา 10, 15, 20, 25 และ 30 ชั่วโมงเพื่อวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณความชื้น สมบัติการต้านออกซิเดชันโดยอาศัยวิธี ABTS⁺ และวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

การศึกษากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไว้ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

การศึกษาผลของการให้ความร้อนที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการกระบวนการงอกที่อุณหภูมิและเวลาที่ดียที่สุดจากขั้นตอนที่ 3 จะถูกเลือกมาศึกษาในขั้นตอนนี้ โดยตัวอย่างข้าวกล้องงอกจะถูกผ่านการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 103 กิโลปาสกาล 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที เพื่อศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ รวมไปถึงค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยวิธี ABTS⁺ และวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

การศึกษาผลของการทำแห้งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดันไอ มาผ่านการทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาที และที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที ซึ่งลัสพรหม (2552) พบว่าเป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม และส่งผลกระทบต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน รวมไปถึงสารประกอบโพลีฟีนอล น้อยที่สุดและทำให้สารประกอบไฟเตทในเมล็ดข้าวกล้องลดลงได้มากที่สุดอีกด้วย ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการหุงสุกไว้จะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์ความชื้น ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยวิธี ABTS⁺ และวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทก่อนเก็บรักษาในถุงไนลอนสุญญากาศ เพื่อรอการทดสอบด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อไป

การทดลองนี้อาศัยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉ้หลังการคินรูป

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉ้ที่ได้จากข้าวกล้องหอมด้าสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 จะถูกนำมาหุงสุกด้วยหม้อนึ่งไฟฟ้า (Tefal, VC1001) ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉ้ที่ได้จะนำมาทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน โดยทดสอบในด้านความนุ่มและความชอบรวม ตามแบบฟอร์มการทดสอบทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก กรวมถึงสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณวิเคราะห์ความชื้น สมบัติการด้านออกซิเดชัน โดยอาศัยวิธี ABTS⁺ และวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท ทั้งนี้จะเปรียบเทียบกับการหุงสุกข้าววัดฤดูบเริ่มต้น (ชุดควบคุม) จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาสมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉ้หลังการคินรูป

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉ้จากข้าวกล้องหอมด้าสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 หลังการหุงสุกไฉ้ จะถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความชื้น สมบัติการด้านออกซิเดชัน โดยอาศัยวิธี ABTS⁺ และวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท และเปรียบเทียบกับการหุงสุกข้าววัดฤดูบเริ่มต้น (ชุดควบคุม) จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องงอก หุงสุกไว คือ ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 พบว่าข้าวกล้องวัตถุดิบมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 79.13-83.01 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.58-10.74 มีไขมันร้อยละ 2.11-2.73 มีความชื้นร้อยละ 10.27-13.44 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.06-1.29 และมีปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 13.45-14.31 ดังตาราง 6 ซึ่งพบว่ามีสูงกว่าในข้าวกล้องทั่วไปที่พบปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.1-8.3 และไขมันร้อยละ 1.6-2.8 (Juliano, 1993 อ้างโดย อรอนงค์, 2550) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายชนิด เช่น ฤดูกาลปลูก สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ การปักดำ และการบำรุงดูแลรักษาต้นข้าว อีกทั้งยังรวมไปถึงปัจจัยทางกายภาพของเมล็ดข้าวเองเช่น ข้าวกล้องที่มีสีนั้นมีเชื้อหุ้มเมล็ดที่มีไขมันสะสมอยู่ และไขมันในส่วนของจมูกข้าวหรือคัพพะ ที่เป็นสาเหตุให้มีการตรวจพบว่ามีไขมันอยู่ในเมล็ดข้าวกล้องที่มีสีเป็นจำนวนมาก (งามชื่น, 2546)

ตาราง 6 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3

องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี	พันธุ์ข้าว	
	ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2	ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3
ความชื้น (ร้อยละ)	12.67 ± 1.05	12.12 ± 0.35
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	79.13 ± 0.00	83.01 ± 0.01
ไขมัน (ร้อยละ)	2.73 ± 0.07	2.11 ± 0.05
โปรตีน (ร้อยละ)	6.58 ± 0.18	10.74 ± 0.00
เถ้า (ร้อยละ)	1.29 ± 0.01	1.06 ± 0.01
อะไมโลส (ร้อยละ)	13.45 ± 0.16	14.31 ± 0.03

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องวัตถุดิบนั้นได้ทำการวัดค่าสีของเมล็ดข้าว ที่ประกอบด้วยค่า L^* a^* และ b^* โดย L^* หมายถึง ค่าความสว่างซึ่งจะอยู่ในช่วง 0-100 โดยที่ 0 คือ สีดำ (สว่างน้อย) และ 100 คือ สีขาว (สว่างมาก) ค่า (+) a^* หมายถึงค่าความเป็นสีแดง ค่า (-) a^* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว และส่วนค่า (+) b^* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่า (-) b^* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน

และจากการวัดค่าสีของเมล็ดข้าววัตถุดิบพบว่า เมล็ดข้าวกล้องสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 นั้นมีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 19.04, 6.28, 2.17 และข้าวพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 นั้นมีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 28.74, 11.49, 10.52 ตามลำดับแสดงดังตาราง 7 จากค่าสีที่วัดได้พบว่าเมล็ดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าความสว่างน้อย หรือมีค่าความเป็นสีดำนาก เนื่องมาจากเชื้อหุ้มเมล็ดที่มีสีม่วงดำ และสีแดง ตามลำดับ โดยค่าสีของเมล็ดข้าวนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลชนิด แอนโทไซยานินบนเชื้อหุ้มเมล็ดโดย Singha et al. (1991) กล่าวว่าเมล็ดข้าวที่มีสีเข้มและมีค่าสีเข้าใกล้ศูนย์ (0) นั้นมีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ และมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันอีกด้วย (Pasko et al. 2009) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lancaster and Lister (1997) ที่ทำการศึกษารางควัตถุบนเปลือกหรือเชื้อหุ้มชั้นนอกของผลไม้ที่มีสีหลายชนิดพบว่าองุ่นดำมีค่าความสว่าง L^* น้อยและมีปริมาณของแอนโทไซยานินสูงกว่าในกว่าองุ่นเขียว อีกทั้งแอนโทไซยานินยังมียุทธศาสตร์เป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Shahidi and Naczki, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang and Lin (2000) ซึ่งค้นพบว่าราสเบอร์รี่ดำ และแบล็คเบอร์รี่มีแอนโทไซยานินในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน

ตาราง 7 ค่าสีของข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3

พันธุ์ข้าว	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2	19.04±0.37	6.28± 0.02	2.17± 0.02
ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	28.74± 0.17	11.49± 0.13	10.52± 0.09

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีซึ่งได้แก่ สมบัติการต้านออกซิเดชัน (ด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของตัวอย่างเมล็ดข้าว

กลี้องสาขพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกลี้องพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 (ตาราง 8) พบว่าในตัวอย่างแห้งปริมาณ 100 กรัมนั้นมีสมบัติการต้านออกซิเดชันเทียบเท่ากับโทรลอคซ์ 65.74 และ 75.57 มิลลิกรัมตามลำดับ และมีค่าเทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟต 34.46 และ 112.16 มิลลิกรัมตามลำดับซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่าข้าวกลี้องทั้ง 2 สายพันธุ์นั้นมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูง เมื่อเทียบกับข้าวกลี้อง หรือข้าวสารขาวโดยทั่วไป (Ryu et al., 1998) โดยไมตรี และ ศิริวรรณ (2547) กล่าวว่าสารประกอบในกลุ่มแอนโทไซยานินที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันอีกทั้งสารประกอบอื่นๆ เช่น วิตามิน ซี ที่อยู่ในเมล็ดนั้นก็มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกัน (Frias et al., 2005) ซึ่งจากปริมาณของสารต้านออกซิเดชันที่ตรวจพบนั้นยังสามารถกล่าวได้ว่าข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์นั้นจัดอยู่ในกลุ่มของข้าวกลี้องที่มีประสิทธิภาพของการเป็นสารต้านออกซิเดชันในระดับสูงอีกด้วย (Suttajit et al., 2006)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในข้าวกลี้องวัตถุดิบทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่าในตัวอย่างแห้งปริมาณ 100 กรัมมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเท่ากรดแกลลิก 182.34 และ 240.12 มิลลิกรัม ตามลำดับ เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนั้นมีรงควัตถุหรือแอนโทไซยานินที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารฟลาโวนอยด์ที่พบได้ในดอกไม้ ผักและผลไม้ (Bravo, 1998 อ้างโดย วิวัฒน์, 2545) เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์นั้นประกอบไปด้วยรงควัตถุที่ทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดมีสีเข้มซึ่งประกอบไปด้วยสารกลุ่มแอนโทไซยานินเป็นหลัก (Zhang et al., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Goffman and Bergman (2002) ที่กล่าวว่าเมล็ดข้าวสายพันธุ์ที่มีสีบริเวณเยื่อหุ้มโดยเฉพาะสีแดงและสีม่วงนั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเมล็ดข้าวที่มีเยื่อหุ้มเป็นสีขาวถึง 20 เท่า

จากการวิเคราะห์ปริมาณไฟเตทในข้าวกลี้องวัตถุดิบพบว่า ในตัวอย่างแห้ง 100 กรัม มีปริมาณไฟเตทคิดเทียบกรดไฟดิก 1,780.64 และ 1,021.97 มิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นไฟเตทที่พบในปริมาณสูง (พนารัตน์, 2542) ซึ่งจากงานวิจัยของ Greiner and Konietzny (2006) พบว่าสารประกอบไฟเตทหรือฟอสฟอรัสนั้นจะถูกสะสมอยู่ในเมล็ดของพืชผักโดยทั่วไป และพบการสะสมมากในเมล็ดธัญพืช เช่นเมล็ดข้าว โดย Erdman and Forbes (1977) กล่าวว่า ไฟเตทจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดซึมเกลือแร่จากอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากไฟเตทที่ตรวจพบนั้นมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักอาหารที่เราบริโภคเข้าไป อีกทั้งยังพบว่าส่งผลต่อการดูดซึมสารสำคัญอื่นๆ เช่น เกลือแร่ (Erdman and Forbes, 1977 อ้างโดยนัยนา และคณะ, 2533) และโปรตีน โดยไฟเตทจะรวมตัวกับโปรตีนกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโมเลกุลใหญ่ และทำให้ร่างกายไม่สามารถดึงเอาโปรตีนไปใช้ได้ (Rham and Jost, 1979)

ตาราง 8 สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัตถุดิบสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3

วิธีวิเคราะห์	ข้าวกล้องหอมคำ สุโขทัย 2	ข้าวกล้องหอมแดง สุโขทัย 3
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS ⁺) (มิลลิกรัมสมมูลโทรลอคซ์ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	65.74 ± 3.02	75.57 ± 2.81
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัมตัวอย่าง แห้ง)	34.46 ± 2.77	112.16 ± 7.36
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	182.34 ± 7.50	240.17 ± 1.78
ปริมาณไฟเตท (มิลลิกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	1,780 ± 106	1,021 ± 88

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

การศึกษาเวลาการแช่และวิธีการให้น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวกล้องวัดฤดูบ

การศึกษาอิทธิพลของเวลาการแช่และวิธีการให้น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวกล้องวัดฤดูบ ได้แก่ ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 โดยเมล็ดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์จะถูกนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดสะอาดเย็นน้ำบนกระชอนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อศึกษาการงอกของข้าวใน 2 วิธีการได้แก่วิธีการที่ 1 นำเมล็ดข้าวกล้องวัดฤดูบที่สะอาดแล้วมาแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนเมล็ดข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 โดยแช่ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท จากนั้นตัวอย่างเมล็ดข้าวจะถูกสุ่มเก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว และสังเกตการงอกของเมล็ดข้าว วิธีการที่ 2 นำเมล็ดข้าวที่ล้างน้ำสะอาดและสะอาดแล้วมาใส่ในภาชนะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงไม่อุ้มน้ำ วางซ้อนในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท ทำการฉีดพรมน้ำปริมาณ 15-20 มิลลิลิตรลงบนเมล็ดข้าวทุกๆ 15 นาทีด้วยกระบอกฉีด เป็นเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง โดยจะมีการรินน้ำส่วนเกินที่อยู่ด้านล่างของภาชนะออกทุกชั่วโมง เพื่อให้ไม่ทำให้เมล็ดข้าวแช่อยู่ในน้ำ จากนั้นตัวอย่างเมล็ดข้าวจะถูกสุ่มเก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว และสังเกตการงอกของเมล็ดข้าวกล้องโดยการทดลองทั้งหมดจะถูกควบคุมให้อยู่ภายใต้อุณหภูมิห้อง หรือประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาวิธีการงอกทั้ง 2 วิธี พบว่าเมล็ดข้าวกล้องที่ถูกสุ่มเก็บจากวิธีการที่ 1 และ 2 นั้นมีปริมาณความชื้นในเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5-7 ชั่วโมงแรกซึ่งทั้งสองวิธีส่งผลให้เมล็ดข้าวมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 35-40 จากนั้นปริมาณความชื้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนก่อนข้างคงที่เมล็ดข้าวกล้องวัดฤดูบมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 14-15 และเมื่อได้รับความชื้นทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณมากในช่วงแรกโมเลกุลของน้ำถูกดูดซับเข้าไปในเมล็ดเพื่อใช้ในการเริ่มต้นกลไกต่างๆ ภายในเมล็ด รวมถึงกระบวนการงอกของเมล็ดข้าว (Bradford, 1986) ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าเมล็ดข้าวกล้องในวิธีการที่ 2 นั้นสามารถเกิดกระบวนการงอกได้ในช่วง 8-10 ชั่วโมงแรกของการทดลอง เนื่องจากเมล็ดข้าวโดยทั่วไปสามารถเกิดกระบวนการงอกของรากได้หากได้รับความชื้นอย่างพอเพียงที่ประมาณร้อยละ 35 ขึ้นไป (Komatsuzaki et al., 2007) สำหรับวิธีการที่ 1 พบว่าเมล็ดข้าวไม่สามารถเกิดกระบวนการงอกของรากได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งเมล็ดข้าวและน้ำที่ใช้ในการแช่นั้นมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว และน้ำที่แช่มีลักษณะขุ่น โดย Komatsuzaki et al. (2007) กล่าวว่า การแช่เมล็ดข้าวในน้ำเป็นเวลานานๆ ร่วมกับสถานะไร้อากาศ จะส่งผลให้แบคทีเรียจำพวก Lactic acid bacteria เจริญได้ดีเนื่องจากได้อาหารจากโมเลกุลของแป้งข้าวที่ละลายปนออกมากับน้ำ ทำให้เกิดการสร้างกรดแลคติก ที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเปรี้ยว ซึ่งส่งผลต่อ สี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Marcelo et al., 2004) อีกทั้งกรด

เมล็ดที่งอกขึ้นจะไปยับยั้งกลไกต่างๆ ในเมล็ดข้าว จึงทำให้เมล็ดข้าวไม่สามารถเกิดกระบวนการงอกของรากได้ (Komatsuzaki et al., 2007)



การศึกษารูปแบบการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของผลิตภัณฑ์

จากวิธีการเตรียมข้าวกล้องและอัตราการให้น้ำที่เหมาะสม ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ฉีดพรมน้ำที่มีการควบคุมปริมาณน้ำ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง โดยศึกษารูปแบบการผลิตข้าวกล้องงอก 3 วิธี ได้แก่ วิธีการที่ 1 ล้างเมล็ดข้าวกล้องวัตถุดิบด้วยน้ำสะอาดและสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนเมล็ดข้าวค่อน้ำเท่ากับ 1:2 ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท วิธีการที่ 2 ล้างเมล็ดข้าวกล้องวัตถุดิบด้วยน้ำสะอาดและสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วนเมล็ดข้าวค่อน้ำเท่ากับ 1:2 ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิทเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วรินน้ำภายในภาชนะออกจนหมด จากนั้นถ่ายเมล็ดข้าวลงในภาชนะที่มีลักษณะเป็นตะแกรง เพื่อนำไปสเปรย์น้ำต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมงและเมื่อครบเวลา ได้นำตะแกรงที่บรรจุเมล็ดข้าวมาใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทวิธีการที่ 3 ล้างเมล็ดข้าวกล้องวัตถุดิบด้วยน้ำสะอาดและสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นใส่เมล็ดข้าวลงในภาชนะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงสเปรย์น้ำให้เมล็ดข้าวเป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นนำตะแกรงที่บรรจุเมล็ดข้าวมาใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทการทดลองทั้งหมดจะถูกควบคุมที่ 30 ± 0.5 – 35 ± 0.5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 ชั่วโมงและทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวที่เวลา 10, 15, 20, 25 และ 30 ชั่วโมง

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ ระยะเวลาการบ่ม และวิธีการงอกทั้ง 3 วิธีนั้นส่งผลต่อปริมาณสมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และไฟเตท โดยพบว่าตัวอย่างเมล็ดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการงอกโดยใช้วิธีการที่ 3 มีปริมาณสารด้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นสูงสุด ในช่วงเวลาการบ่ม 20 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียสและมีการลดลงของไฟเตทมากที่สุดดังตาราง 9 และตาราง 10 ตามลำดับ

ตาราง 9 ปริมาณไฟเตท ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าว
 วัตถุประสงค์สืบพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 ที่ผ่านกระบวนการทำงานออกทั้ง 3 วิธีการภายใต้อุณหภูมิ
 30 ± 0.5 และ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	วิธีการ	เวลา (ชั่วโมง)	สมบัติการต้านออกซิเดชัน		สารประกอบ โพลีฟีนอล (mg GAE/100 g DM)	สารประกอบไฟเตท (mg KDP/100 g DM)
			ABTS	FRAP		
			(mg TEAC/100 g DM)	(mg FeSO ₄ /100 g DM)		
30	1	10	29.16 $\pm$ 10.03 ^{abc}	31.09 $\pm$ 7.91 ^a	118.89 $\pm$ 18.80 ^{bc}	1.393 $\pm$ 448 ⁿ
		15	61.95 $\pm$ 5.92 ^{fg}	49.00 $\pm$ 10.03 ^d	139.77 $\pm$ 10.30 ⁱ	1.313 $\pm$ 600 ⁿ
		20	65.14 $\pm$ 8.70 ^{gh}	48.46 $\pm$ 14.30 ^d	161.61 $\pm$ 11.84 ^m	1.258 $\pm$ 1,033 ⁿ
		25	25.71 $\pm$ 11.29 ^a	39.11 $\pm$ 13.52 ^c	139.89 $\pm$ 5.20 ⁱ	1,299 $\pm$ 1,060 ⁿ
		30	30.76 $\pm$ 16.25 ^{abcd}	34.52 $\pm$ 10.18 ^{ab}	111.98 $\pm$ 16.66 ^{feh}	1,327 $\pm$ 1,091 ⁿ
	2	10	35.34 $\pm$ 11.17 ^{abcd}	30.91 $\pm$ 8.08 ^a	105.63 $\pm$ 13.92 ^{dei}	1,321 $\pm$ 496 ⁿ
		15	62.35 $\pm$ 8.52 ^{fg}	41.83 $\pm$ 7.02 ^c	141.21 $\pm$ 11.18 ⁱ	1,273 $\pm$ 647 ⁿ
		20	72.82 $\pm$ 8.34 ^h	50.90 $\pm$ 14.51 ^{dc}	166.28 $\pm$ 8.74 ^m	1,163 $\pm$ 1,081 ^{kn}
		25	36.34 $\pm$ 13.42 ^{cde}	40.98 $\pm$ 11.85 ^c	141.15 $\pm$ 5.86 ⁱ	1,236 $\pm$ 1,064 ⁿ
		30	33.74 $\pm$ 17.00 ^{bcde}	34.05 $\pm$ 10.18 ^{ab}	115.36 $\pm$ 9.30 ^{gh}	1,262 $\pm$ 1,099 ⁿ
	3	10	39.78 $\pm$ 14.64 ^c	40.58 $\pm$ 4.43 ^c	127.13 $\pm$ 9.32 ^{hi}	920 $\pm$ 103 ^{feh}
		15	64.62 $\pm$ 10.02 ^{gh}	50.31 $\pm$ 4.95 ^{de}	128.50 $\pm$ 17.20 ⁱ	840 $\pm$ 228 ^{efg}
		20	86.41 $\pm$ 5.62 ⁱ	64.22 $\pm$ 15.04 ⁱ	161.05 $\pm$ 33.84 ^m	405 $\pm$ 448 ^{bcd}
		25	39.63 $\pm$ 13.98 ^c	55.82 $\pm$ 6.85	129.78 $\pm$ 25.60 ^k	419 $\pm$ 336 ^{bcd}
		30	37.34 $\pm$ 14.60 ^{de}	38.12 $\pm$ 9.13 ^{bc}	100.85 $\pm$ 18.03 ^{de}	566 $\pm$ 250 ^{cde}
35	1	10	57.69 $\pm$ 9.32 ^f	54.46 $\pm$ 5.08 ^{efgh}	84.33 $\pm$ 11.67 ^a	620 $\pm$ 132 ^{cdef}
		15	62.39 $\pm$ 6.10 ^{fg}	56.68 $\pm$ 5.42 ^{gh}	107.63 $\pm$ 12.53 ^{efg}	1,050 $\pm$ 612 ^{gh}
		20	66.61 $\pm$ 4.56 ^{gh}	66.40 $\pm$ 3.25 ^h	137.49 $\pm$ 5.83 ^{hi}	395 $\pm$ 700 ^{bc}
		25	33.96 $\pm$ 22.32 ^{bcde}	58.77 $\pm$ 5.02 ^{hi}	100.66 $\pm$ 17.47 ^{de}	719 $\pm$ 265 ^{cdef}
		30	24.95 $\pm$ 22.58 ^a	49.29 $\pm$ 7.82 ^d	80.87 $\pm$ 17.00 ^a	791 $\pm$ 265 ^{cif}
	2	10	63.50 $\pm$ 6.67 ^{fg}	52.83 $\pm$ 6.26 ^{deig}	88.59 $\pm$ 10.20 ^{gh}	590 $\pm$ 13 ^{cde}
		15	64.84 $\pm$ 5.98 ^{gh}	56.75 $\pm$ 6.51 ^{gh}	101.54 $\pm$ 12.92 ^{de}	908 $\pm$ 679 ^{feh}
		20	74.28 $\pm$ 5.05 ^k	72.43 $\pm$ 4.05 ⁱ	137.02 $\pm$ 6.13 ^{hi}	231 $\pm$ 100 ^{ab}
		25	36.32 $\pm$ 26.49 ^{cde}	59.73 $\pm$ 2.97 ⁱ	97.31 $\pm$ 25.00 ^{bcd}	527 $\pm$ 305 ^{bcde}
		30	28.38 $\pm$ 25.35 ^{ab}	48.71 $\pm$ 6.10 ^d	83.84 $\pm$ 19.14 ^a	786 $\pm$ 390 ^{cif}
	3	10	71.17 $\pm$ 6.08 ^{hi}	55.45 $\pm$ 4.97 ^{efgh}	89.42 $\pm$ 23.39 ^{abc}	345 $\pm$ 187 ^{abc}
		15	64.83 $\pm$ 9.71 ^{gh}	69.24 $\pm$ 7.22 ^{hi}	97.67 $\pm$ 25.00 ^{cd}	426 $\pm$ 334 ^{bcd}
		20	93.00 $\pm$ 4.09 ⁱ	84.82 $\pm$ 5.33 ^m	124.66 $\pm$ 8.74 ^{ij}	85 $\pm$ 62 ^a
		25	91.13 $\pm$ 4.10 ^{hi}	65.42 $\pm$ 8.40 ^k	96.46 $\pm$ 30.00 ^{bcd}	365 $\pm$ 291 ^{abc}
		30	36.07 $\pm$ 29.59 ^{cde}	51.96 $\pm$ 4.07 ^{cdef}	84.62 $\pm$ 34.23 ^a	555 $\pm$ 354 ^{cde}

หมายเหตุ

- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ^{a-m} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละคุณภาพในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)

ตาราง 10 ปริมาณไฟเคท ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าว
 วัตถุประสงค์สายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการทำออกทั้ง 3 วิธีการภายใต้
 อุณหภูมิ 30 ± 0.5 และ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	วิธีการ	เวลา (ชั่วโมง)	สมบัติการต้านออกซิเดชัน		สารประกอบ โพลีฟีนอล (mg GAE/100 g DM)	สารประกอบ ไฟเคท (mg KDP /100 g DM)
			ABTS	FRA		
			(mg TEAC/100 g DM)	(mg FeSO ₄ /100 g DM)		
30	1	10	36.42 $\pm$ 10.62 ^{de}	45.35 $\pm$ 7.59 ^{bcd}	133.42 $\pm$ 27.27 ^a	819 $\pm$ 148 ^p
		15	43.64 $\pm$ 10.20 ^{ph}	48.97 $\pm$ 7.70 ^{def}	162.81 $\pm$ 16.62 ^{efg}	738 $\pm$ 132.3 ^o
		20	50.05 $\pm$ 7.26 ^{jk}	57.51 $\pm$ 7.07 ^{hij}	189.33 $\pm$ 8.29 ⁱ	423 $\pm$ 152.9 ^{fb}
		25	41.89 $\pm$ 5.32 ^{gh}	48.90 $\pm$ 3.61 ^{def}	175.35 $\pm$ 4.76 ^{jk}	518 $\pm$ 101 ^y
		30	23.93 $\pm$ 3.40 ^f	44.16 $\pm$ 5.34 ^{abc}	155.66 $\pm$ 8.76 ^{cde}	491 $\pm$ 127 ⁱ
	2	10	37.30 $\pm$ 9.88 ^{def}	46.40 $\pm$ 5.78 ^{bcd}	137.46 $\pm$ 21.15 ^{ab}	760 $\pm$ 144 ^o
		15	45.44 $\pm$ 9.88 ^{gh}	49.16 $\pm$ 8.24 ^{def}	167.68 $\pm$ 13.37 ^{gh}	619 $\pm$ 94 ^{lm}
		20	50.60 $\pm$ 8.26 ^k	56.94 $\pm$ 7.95 ^{hi}	190.42 $\pm$ 7.54 ^j	374 $\pm$ 136 ^{ef}
		25	45.29 $\pm$ 7.31 ^{gh}	51.06 $\pm$ 6.56 ^{fg}	180.12 $\pm$ 4.98 ^k	483 $\pm$ 116 ^h
		30	27.55 $\pm$ 5.19 ^{ab}	45.88 $\pm$ 3.69 ^{bcd}	167.80 $\pm$ 5.39 ^{gh}	485 $\pm$ 109 ^h
	3	10	41.12 $\pm$ 7.81 ^{efg}	48.22 $\pm$ 4.77 ^{cdef}	133.88 $\pm$ 24.30 ^a	524 $\pm$ 108 ^{jk}
		15	49.07 $\pm$ 13.10 ⁿ	54.41 $\pm$ 9.65 ^{gh}	159.82 $\pm$ 24.38 ^{def}	411 $\pm$ 110 ^{fg}
		20	54.70 $\pm$ 10.14 ^l	68.16 $\pm$ 6.86 ^k	189.61 $\pm$ 18.56 ^j	82 $\pm$ 70 ^a
		25	48.74 $\pm$ 7.49 ^j	57.84 $\pm$ 4.14 ^{hij}	173.81 $\pm$ 15.71 ^{kl}	310 $\pm$ 123 ^d
		30	31.68 $\pm$ 5.98 ^{bc}	50.63 $\pm$ 2.90 ^g	159.98 $\pm$ 7.54 ^{def}	366 $\pm$ 109 ^{def}
35	1	10	61.14 $\pm$ 6.42 ^j	40.84 $\pm$ 7.40 ^a	141.83 $\pm$ 10.48 ^b	750 $\pm$ 210 ^o
		15	73.72 $\pm$ 5.76 ^a	48.91 $\pm$ 9.26 ^{def}	158.28 $\pm$ 13.36 ^{cdef}	680 $\pm$ 101 ⁿ
		20	82.18 $\pm$ 7.53 ^m	65.45 $\pm$ 9.48 ^l	172.95 $\pm$ 9.60 ^{kl}	231 $\pm$ 151 ^c
		25	45.40 $\pm$ 12.93 ^{gh}	59.15 $\pm$ 11.20 ^{ij}	168.52 $\pm$ 9.91 ^{gh}	487 $\pm$ 108 ^h
		30	25.27 $\pm$ 17.01 ^a	47.55 $\pm$ 9.55 ^{cdef}	137.30 $\pm$ 19.25 ^{ab}	610 $\pm$ 113 ^{lm}
	2	10	62.56 $\pm$ 8.39 ^j	43.15 $\pm$ 6.91 ^{ab}	142.39 $\pm$ 10.10 ^b	647 $\pm$ 124 ^{mn}
		15	75.03 $\pm$ 9.15 ^m	51.20 $\pm$ 9.78 ^{fg}	157.28 $\pm$ 14.25 ^{cdef}	581 $\pm$ 75 ^{kl}
		20	85.78 $\pm$ 5.65 ^a	65.88 $\pm$ 6.46 ^l	169.64 $\pm$ 11.16 ^{gh}	180 $\pm$ 156 ^{bc}
		25	46.57 $\pm$ 12.77 ^{hij}	56.71 $\pm$ 11.07 ^{hi}	163.54 $\pm$ 6.40 ^g	476 $\pm$ 82 ^h
		30	24.32 $\pm$ 17.35 ^a	49.67 $\pm$ 8.96 ^{ef}	141.73 $\pm$ 18.58 ^b	569 $\pm$ 84 ^{kl}
	3	10	68.82 $\pm$ 8.39 ^m	46.40 $\pm$ 6.24 ^{bcd}	152.11 $\pm$ 3.73 ^c	341 $\pm$ 195 ^{de}
		15	81.25 $\pm$ 7.83 ^m	57.73 $\pm$ 8.16 ^{hij}	176.37 $\pm$ 7.23 ^k	158 $\pm$ 138 ^b
		20	91.72 $\pm$ 4.69 ^f	73.76 $\pm$ 5.21 ⁱ	188.46 $\pm$ 21.47 ^j	41 $\pm$ 44 ^a
		25	78.90 $\pm$ 6.42 ^m	61.00 $\pm$ 10.51 ^j	178.03 $\pm$ 11.24 ^k	204 $\pm$ 89 ^{bc}
		30	32.93 $\pm$ 16.6 ^{cd}	49.91 $\pm$ 7.53 ^{ef}	153.82 $\pm$ 19.37 ^{cd}	468 $\pm$ 86 ^{gh}

หมายเหตุ

- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ^{a-t} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละคุณภาพในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)

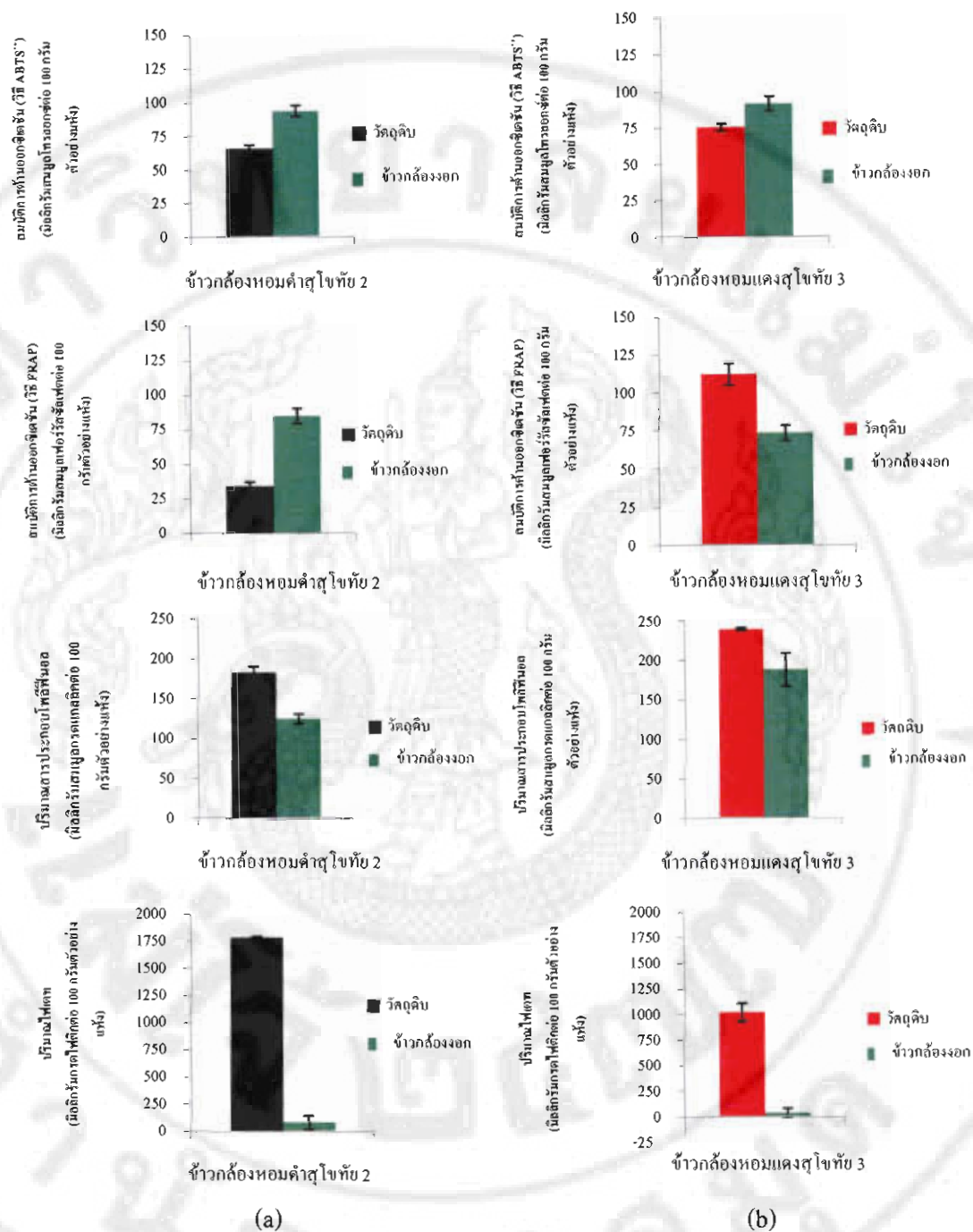
จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิสูงที่ 35 องศาเซลเซียสนั้นส่งผลให้ตัวอย่างเมล็ดข้าวมีความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดย สุรยา (2549) กล่าวว่าเมื่อขึ้นเส้นใย เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะเกิดการขยายตัวของเส้นใยและเกิดช่องว่าง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านเข้าสู่เนื้อเมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marcelo et al. (2004) ที่กล่าวว่าอัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสภาวะเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบโพลีฟีนอลบางส่วนของเมล็ดข้าวลดลง เนื่องจากแอนโทไซยานินที่เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล และมีประสิทธิภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั้นละลายได้ในน้ำที่สัมผัสเมล็ดข้าวซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laleh et al. (2006) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชัน (hydrolyzation) ของ 3-glycoside ทำให้ flavyliumcation เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินไปเป็น chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัวน้อย และสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kirca et al. (2007) ที่พบการสลายตัวของแอนโทไซยานินในแครอทม่วงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของวิธีการที่ใช้ในกระบวนการงอกพบว่าวิธีการที่ 2 และ 3 หรือการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการสเปรย์น้ำ และการสเปรย์น้ำเพียงอย่างเดียว ยังคงมีสารประกอบต่างๆทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบโพลีฟีนอลอยู่ และมีปริมาณไฟเตทลดลงมากกว่าวิธีการที่ 1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการที่ 1 นั้นเป็นการนำเมล็ดข้าวไปแช่ในน้ำซึ่งทำให้สารประกอบต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการละลายในน้ำ รวมถึงโมเลกุลของแป้งภายในเนื้อเมล็ดถูกชะล้างออกจากเยื่อหุ้มเมล็ด (Luh and Mikus, 1980) ซึ่งโมเลกุลแป้งที่ถูกละลายออกมาจากภายในเนื้อเมล็ดข้าวนั้นจะถูกเชื้อแบคทีเรียจำพวก lactic acid bacteria นำไปใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญและเกิดการผลิตกรดแลคติกจากกระบวนการหมักขึ้นกรดแลคติกมีคุณสมบัติในการยับยั้งและทำลายสารตั้งต้นของสารสำคัญต่างๆ เช่นสารโทโคเฟอรอล และวิตามินซีที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันภายในเมล็ด (Frias et al., 2005) ดังนั้นตัวอย่างเมล็ดข้าวที่ได้จากวิธีการที่ 1 จึงพบสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบโพลีฟีนอลในปริมาณน้อย อีกทั้งยังพบว่าวิธีการที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นการสเปรย์น้ำลงสู่เมล็ดข้าวนั้น ส่งผลให้เกิดการชะล้างสารประกอบไฟเตทที่มีคุณสมบัติที่สามารถละลายในน้ำได้ดีออกจากเมล็ดข้าว (Liang et al., 2008) อีกทั้งโมเลกุลของน้ำยังเข้าไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไฟเตส (phytase) และเกิดการกระบวนการย่อยสารประกอบไฟเตทภายในเมล็ด (Liang et al., 2009) ดังนั้นจึงทำให้ตัวอย่างเมล็ดข้าวกึ่งที่ผ่านกระบวนการงอกโดยวิธีการที่ 2 และ 3 มีสารประกอบไฟเตทในเมล็ดข้าวกึ่งที่ลดลง เมื่อเทียบกับข้าวกึ่งที่งอกวัดดูดิบ ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vijayakumari et al. (1998) ที่พบว่าเอนไซม์ไฟเตสสามารถลดปริมาณสารประกอบ

ไฟเตทในพืชตระกูลถั่ว และในเมล็ดลูกเดือยที่ผ่านการแช่น้ำได้และส่งผลให้ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในลูกเดือยเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 14-20 (Lestienne et al., 2005a)

จากการศึกษาปัจจัยด้านเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการงอกพบว่า ตัวอย่างเมล็ดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบต่างๆเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และเพิ่มมากขึ้นสูงสุดที่ ชั่วโมงที่ 20 และลดลงเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 25 และ 30 ของกระบวนการและพบว่าในตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3 ปริมาณ 100 กรัม (dry basis, db.) ที่ผ่านกระบวนการงอกโดยใช้วิธีการที่ 3 เป็นเวลา 20 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียสมีสมบัติการต้านออกซิเดชันเทียบเท่าโทรลอคซ์ 93.99 และ 91.72 มิลลิกรัมสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยเทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟต 84.83 และ 73.76 มิลลิกรัมสมมูลมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเท่ากับ 124.63 และ 188.46 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกและมีปริมาณไฟเตทในรูปกรดไฟติก 85.6 และ 41.4 มิลลิกรัมตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อโมเลกุลของน้ำซึมผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าว จะเกิดการกระตุ้นสารประกอบภายในเมล็ด ให้เกิดกิจกรรมทางชีวเคมีหรือกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเมล็ดขึ้นเพื่อสร้างสารสำคัญที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลให้เกิดกระบวนการงอก (Augustin and Klein, 1989, Ruiz and Bressani, 1990) โดย Champagne et al. (2004) กล่าวว่าเมล็ดข้าวที่เกิดกระบวนการงอกนั้นจะมีปริมาณสารประกอบสำคัญต่างๆเช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบโพลีฟีนอล วิตามิน และ แร่ธาตุ ต่างๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทั้งในเมล็ดข้าวสาลีงอก (Yang et al., 2001) และเมล็ดข้าวบาร์เลย์ (Rimsten et al., 2003) ซึ่งจากการศึกษาของ Kayahara (2004) พบว่าโมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวกล้อง จะกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายโมเลกุลของโปรตีนโดยเอนไซม์ โปรติเอส (protease) ได้กรดอะมิโนอิสระ (free Amino acid) เช่นซิสเทอีน (cysteine) และเฟอร์ูลิก (ferulic) อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์สารสำคัญ เช่น วิตามินอีและ วิตามินซีที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันขึ้นภายในเมล็ด (Frias et al. 2005) และเมื่อกระบวนการงอกถึงจุดหนึ่ง คันอ่อนภายในคัพจะทำการดึงเอาสารอาหารเหล่านั้นไปใช้เพื่อช่วยในการเจริญเติบโต จึงทำให้สารประกอบเหล่านั้นลดปริมาณลง (Kayahara, 2004) ในส่วนของปริมาณไฟเตทในตัวอย่างเมล็ดที่เกิดกระบวนการงอกที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมงนั้น Lestienne et al. (2005b) กล่าวว่าเมื่อเมล็ดข้าวถูกกระตุ้นให้เกิดการงอกจะส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเช่น เอนไซม์ ไฟเตส ที่มีประสิทธิภาพในการช่วยสลายสารประกอบไฟเตทในเมล็ดข้าวให้ลดปริมาณลงได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sandberg et al. (1989) ที่กล่าวว่าเอนไซม์ ไฟเตสที่เกิดขึ้นนั้นจะทำการย่อยสลายสารประกอบไฟเตท หรือ myo-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6-hexakisphosphate (InsP6) ให้อยู่ในรูปอื่นเช่น inositol pentaphosphate (IP5), inositol tetraphosphate (IP4), inositoltriphosphate

(IP3) และ inositol di- หรือ monophosphates ซึ่งไม่สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุ หรือสารอาหารได้ เนื่องจากมีเพียงสารประกอบไฟเตทที่อยู่ในรูป IP6 และ IP5 เท่านั้นที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบการดูดซึมแร่ธาตุและสารอาหารของร่างกาย โดยพบว่าในตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องงอก 100 กรัม (d.b) มีปริมาณไฟเตทเท่ากับ 85.57 และ 41.87 มิลลิกรัมในรูปกรดไฟติก ตามลำดับซึ่งถือว่ามียปริมาณลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับข้าวกล้องวัตถุดิบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liang et al. (2008) ที่กล่าวว่าสารประกอบไฟเตทที่พบในเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกแล้วนั้น น้อยกว่าในเมล็ดข้าวกล้องวัตถุดิบ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดเช่น การทำงานของเอนไซม์ การแช่ และการแพร่ของน้ำ เป็นต้น (Henderson and Ankrah, 1985) จากการวิเคราะห์ข้าวกล้องหอมด้าสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการงอกในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ วิธีการที่ 3 การสเปรย์เมล็ดข้าวด้วยน้ำร่วมกับการบ่มเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียสส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบฟอสฟีนอลสูงสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องในวิธีการและสภาวะอื่น และมีปริมาณไฟเตทลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องวัตถุดิบ ดังภาพ 7



ภาพ 7 สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัตตุดิบเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกของข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2 (a) และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 (b)

**การศึกษากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไว้ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านออกซิเดชัน
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท**

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการงอกโดยใช้วิธีการที่ 3 หรือการสเปรย์เมล็ดข้าวด้วยน้ำเป็นเวลา 7 ชั่วโมงและบ่มให้เกิดการงอกเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะการงอกที่ดีที่สุดนั้น ได้ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาศึกษาผลของการให้ความร้อนที่มีต่อคุณภาพข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ รวมถึงสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และไฟเตทตามวิธีการผลิตข้าวหุงสุกไว้ของ ลัสพรณ (2552) โดยการนำเมล็ดข้าวมาผ่านการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5-1.5 นาที ซึ่งผู้วิจัยได้นำสภาวะการให้ความร้อนดังกล่าวมาใช้กับข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และนำมาประยุกต์ใช้กับข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 ด้วยเนื่องจากข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ดังกล่าวเป็นข้าวกล้องที่ถูกพัฒนามาจากสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 จนมีเพียงลักษณะทางกายภาพบางประการที่เปลี่ยนแปลงไปจากสายพันธุ์เดิมเช่น สีของเยื่อหุ้มเมล็ด (สมเดช, 2549) ซึ่งผลการทดลองพบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 หลังจากการให้ความร้อนที่เวลา 0.5-1.5 นาที มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 35.57-39.86 (ตาราง 11) ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 20.29-25.69 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 9.18-11.29 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง -0.17-1.59 (ตาราง 12 และ 13)

ตาราง 11 ปริมาณความชื้นหลังการให้ความร้อนของข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5-1.5 นาที

เวลา (นาที)	ความชื้น (ร้อยละ)	
	ข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2	ข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3
0.5	35.57 ± 0.26^a	36.67 ± 0.99^a
1	38.25 ± 0.67^b	39.15 ± 0.75^b
1.5	39.86 ± 0.92^c	39.49 ± 0.58^b

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ^{a,b}อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันของความชื้นของข้าวแต่ละสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)
 - ^{ns}ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 12 ค่าสีหลังการให้ความร้อนของข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5-1.5 นาที

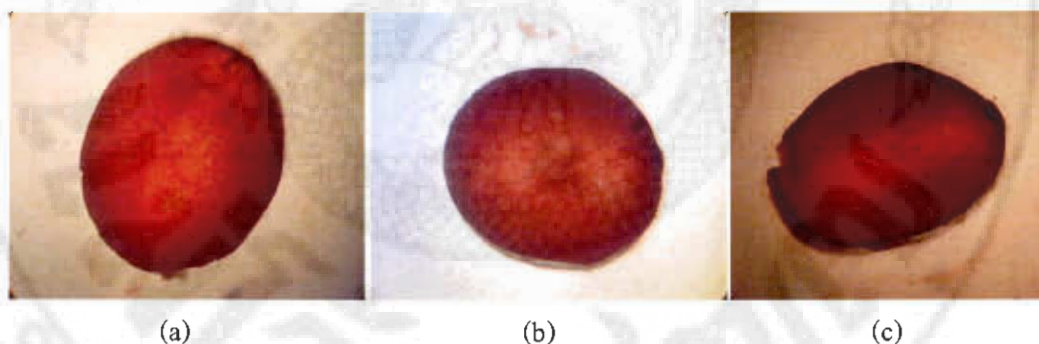
เวลา (นาที)	ค่าสี		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
0.5	20.29 ± 0.15	10.86 ± 0.04	1.59 ± 0.01
1	21.02 ± 0.17	9.73 ± 0.19	0.81 ± 0.04
1.5	21.83 ± 0.04	9.18 ± 0.01	1.20 ± 0.18

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ^{ns}ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 13 ค่าสีหลังการให้ความร้อนของข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5-1.5 นาที

เวลา (นาที)	ค่าสี		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
0.5	25.69 ± 0.11	11.29 ± 0.07	0.48 ± 0.28
1	24.91 ± 0.03	10.38 ± 0.12	0.21 ± 0.17
1.5	25.15 ± 0.01	9.33 ± 0.08	-0.17 ± 0.11

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 8 ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวแสดงการเกิดเจลาทิโนเซชันหลังการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล

หมายเหตุ (a) การเกิดเจลาทิโนเซชันของเมล็ดข้าวหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 0.5 นาที
 (b) การเกิดเจลาทิโนเซชันของเมล็ดข้าวหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 1.0 นาที
 (c) การเกิดเจลาทิโนเซชันของเมล็ดข้าวหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 1.5 นาที

การศึกษาในขั้นตอนนี้พบว่า เมล็ดข้าวกล้องงอกทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถเกิดการเจลาติไนเซชันได้สมบูรณ์ร้อยละ 100 โดยใช้เวลาเพียง 0.5 นาที่ ที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลปาสกาล (ภาพ 7) และเมื่อวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท พบว่าในตัวอย่างข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 จำนวน 100 กรัม (d.b.) เมื่อผ่านกรให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที่ พบว่ามีสมบัติการต้านออกซิเดชันเทียบเท่าโทรลอคซ์ 32.64, 28.31 และ 25.25 มิลลิกรัมหรือเทียบเท่าเพอร์ร็อกไซด์ 33.91, 59.55 และ 55.67 มิลลิกรัม ตามลำดับ มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเท่ากรดแกลลิก 54.75, 67.65 และ 68.46 มิลลิกรัมและมีปริมาณไฟเตทในรูปกรดไฟติก 35.60, 61.32 และ 61.37 มิลลิกรัมตามลำดับ (ตาราง 14) และสำหรับข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 จำนวน 100 กรัม (d.b.) มีสมบัติการต้านออกซิเดชันเทียบเท่าโทรลอคซ์ 37.10, 22.67 และ 21.58 มิลลิกรัมหรือเทียบเท่าเพอร์ร็อกไซด์ 31.17, 60.44 และ 58.72 มิลลิกรัมตามลำดับมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเท่ากรดแกลลิก 102.30, 84.58 และ 84.29 มิลลิกรัมและมีปริมาณไฟเตท 36.80, 43.10 และ 34.56 มิลลิกรัมตามลำดับ (ตาราง 15)

กระบวนการให้ความร้อนในขั้นตอนนี้ส่งผลให้ตัวอย่างข้าวกล้องงอกมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน และปริมาณโพลีฟีนอล ลดน้อยลง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่ทนต่อความร้อนสูง (Honke et al., 1999) อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการให้ความร้อนนี้สามารถช่วยให้ปริมาณสารประกอบไฟเตทในเมล็ดข้าวลดลงได้ เนื่องจากปัจจัยหลายชนิด โดย Sathe and Venkatachalam (2002) กล่าวว่าความร้อนและความดันสูงมีส่วนที่ช่วยในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไฟเตสที่อยู่ภายในเมล็ดให้สามารถย่อยสลายสารประกอบไฟเตทได้มากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Shimelis and Rakshit (2006) ที่กล่าวว่ารัฐพีชที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะมีปริมาณสารประกอบไฟเตทลดลงมากกว่าร้อยละ 50-60 เมื่อเทียบกับรัฐพีชวัตถุดิบ รวมถึงเมล็ดพีชที่แช่น้ำ (Reddy et al., 1978) เมล็ดพีชที่มีการงอก (Khalil and Mansour, 1995) เมล็ดพีชที่ผ่านกระบวนการหมัก (Kozłowska et al., 1996) และการหุงต้ม (Marfo et al., 1990) ล้วนส่งผลให้สารประกอบไฟเตทในเมล็ดพีชลดปริมาณลงได้ จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่ากระบวนการให้ความร้อนทั้ง 3 ช่วงเวลาส่งผลให้สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อีกทั้งยังพบว่าข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูง เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนในช่วงเวลาที่น้อยที่สุด (0.5 นาที่) ดังนั้นจึงเลือก

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงเวลาที่น้อยที่สุดหรือ 0.5 นาที มาใช้ในการศึกษาในขั้นตอนการทำแห้งต่อไป

ตาราง 14 สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 หลังการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที

วิธีวิเคราะห์	เวลา (นาที) ในการให้ความร้อน โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล		
	0.5	1	1.5
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	32.64 ± 8.38	28.31 ± 2.72	25.25 ± 2.66
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	33.91 ± 10.56	59.55 ± 1.56	55.67 ± 2.27
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	54.75 ± 9.01	67.65 ± 3.63	68.46 ± 3.56
ปริมาณไฟเตท ^{ns} (มิลลิกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	35.60 ± 0.27	61.32 ± 48.59	61.37 ± 35.11

หมายเหตุ

- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตาราง 15 สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 หลังการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที

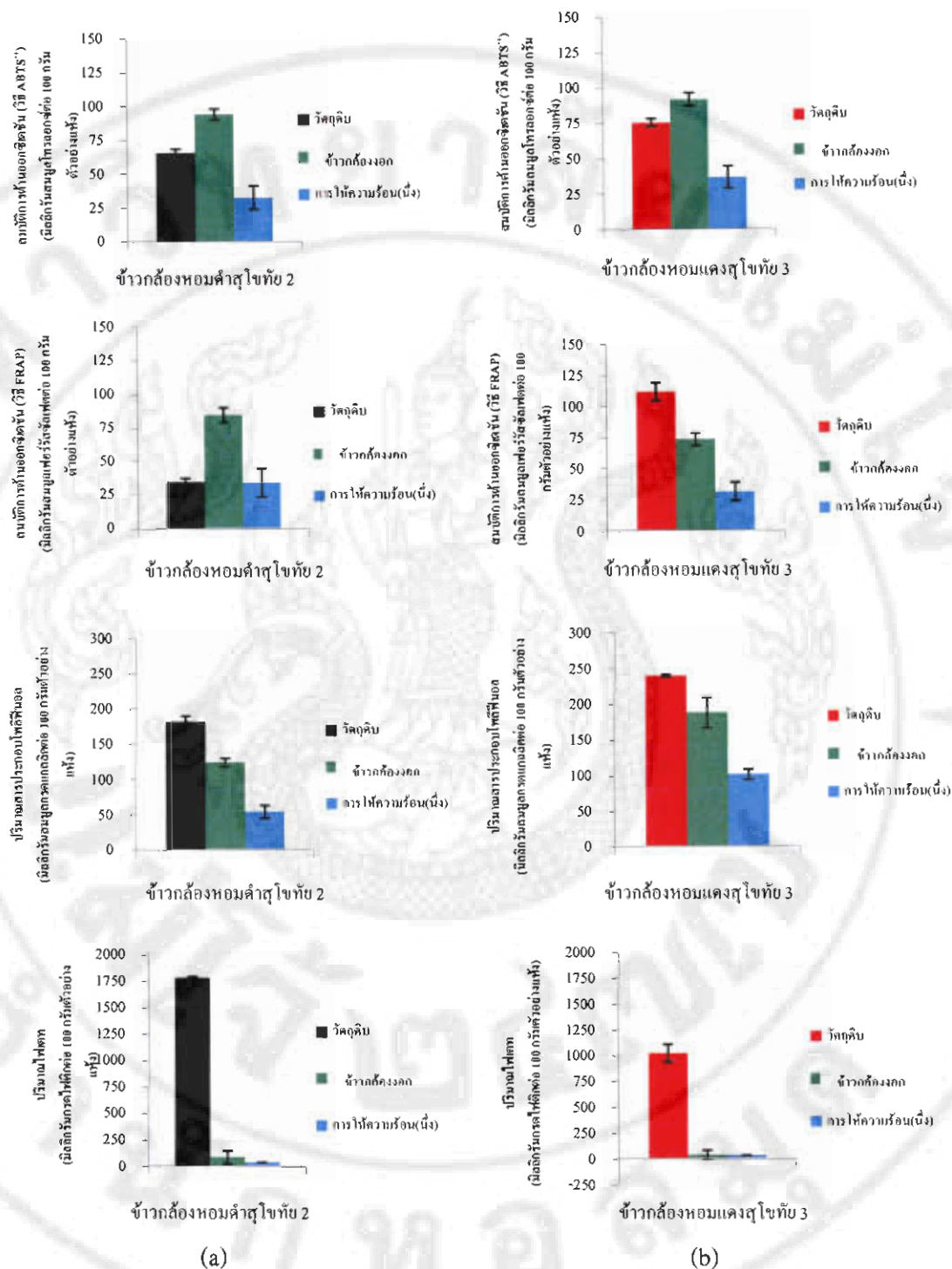
วิธีวิเคราะห์	เวลา (นาที) ในการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล		
	0.5	1	1.5
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS ⁺) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลโทรลอคซ์ต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	37.10 ± 7.89	22.67 ± 3.04	21.58 ± 3.02
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	31.17 ± 7.46	60.44 ± 2.46	58.72 ± 1.87
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	102.30 ± 7.3 ^b	84.58 ± 3.06 ^a	84.29 ± 2.30 ^a
ปริมาณไฟเตท ^{ns} (มิลลิกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	36.80 ± 0.94	43.10 ± 37.41	34.56 ± 11.95

- หมายเหตุ
- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในส่วนสมบัติการต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่ลดลงในขั้นตอนนี้อาจเนื่องมาจากการสูญเสีย แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ และการสลายตัวของสารอื่นๆ ในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ด (Luh and Mikus, 1980) และเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kalt (2005) ซึ่งพบว่าวิธีและหลักการแปรรูปอาหารนั้นส่งผลให้ปริมาณของสารต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ อาทิ เช่น พืช ผักต่างๆ ลดลงเช่นเดียวกับงานวิจัยของ (Marcelo et al., 2004) ที่พบว่ากระบวนการให้

ความร้อนแก้มืดขาวนั้นส่งผลให้สารสำคัญเช่น สารประกอบฟีนอลิกและกรดอะมิโนลดปริมาณลง ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้าวกล้องงอกหอมด้าสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนพบว่ามีการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องวัตถุดิบ ดังภาพ 9





ภาพ 9 สมบัติการด้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัสดุคั่วเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5 นาทีของข้าวกึ่งหอมคำสุโขทัย 2 (a) และข้าวกึ่งหอมแดงสุโขทัย 3 (b)

การศึกษาผลของการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสมบัติการด้านออกซิเดชัน
สารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตท

ตัวอย่างข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการงอกโดยใช้วิธีการที่ 3 หรือการสเปรย์เมล็ดข้าวด้วยน้ำเป็นเวลา 7 ชั่วโมงและบ่มจนเกิดการงอกเป็นเวลา 20 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียสและผ่านการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5 นาฬิกาจะถูกนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้ตู้อบลมร้อน ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินวิธีการทดลองตามวิธีของ ลัสพรณ (2552) ที่พบว่าการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาทีและอุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาทีเป็นช่วงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแปรรูปข้าวกล้องที่มีสีสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 1 ตามลำดับซึ่งผู้วิจัยได้นำสภาวะการให้ความร้อน ทั้งสองสภาวะของ ลัสพรณ (2552) มาทดลองใช้กับข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 เนื่องจากเป็นข้าวกล้องงอกสายพันธุ์เดียวกันและนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ความร้อนแก่ข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 เนื่องจากข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ดังกล่าวเป็นพันธุ์ข้าวที่ถูกพัฒนามาจากสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 จนมีเพียงลักษณะทางกายภาพบางประการที่เปลี่ยนแปลงไปจากสายพันธุ์เดิมเช่น สีของเยื่อหุ้มเมล็ด (สมเดช, 2549)

ผลการทดลองพบว่ากระบวนการให้ความร้อนดังกล่าวทำให้ตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.29-6.85 และ 6.33-6.44 ตามลำดับ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 28.49-34.75 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง -1.57-1.45 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง -0.18-2.58 และมีสมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และไฟเตท ดังตาราง 16 และ ตาราง 17

ตาราง 16 ปริมาณความชื้น ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 หลังการทำแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที และอุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาที

วิธีวิเคราะห์	สภาวะการให้ความร้อน	
	อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส, 170 นาที	อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส, 130 นาที
ความชื้น (ร้อยละ)	6.85 ± 0.50 ^a	6.29 ± 0.14 ^b
ค่าความสว่าง (L*) ^{ns}	33.26 ± 0.19	34.75 ± 0.25
ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ^{ns}	0.28 ± 0.16	1.45 ± 1.03
ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ^{ns}	1.92 ± 0.01	2.58 ± 0.58
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS ⁺) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	12.76 ± 1.13	16.33 ± 0.37
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	22.20 ± 1.33 ^b	14.55 ± 3.68 ^a
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	40.31 ± 1.99	36.55 ± 2.28
ปริมาณไฟเตท (มิลลิกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	20.85 ± 27.76 ^b	6.33 ± 0.18 ^a

หมายเหตุ

- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
- ^{a,b} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย (p ≤ 0.05)
- ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05)

ตาราง 17 ปริมาณความชื้น ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 หลังการทำแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที และอุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 130 นาที

วิธีวิเคราะห์	สภาวะการให้ความร้อน	
	อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส, 170 นาที	อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส, 130 นาที
ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	6.44 ± 0.22	6.33 ± 0.14
ค่าความสว่าง (L) ^{ns}	28.49 ± 0.17	29.02 ± 0.39
ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a) ^{ns}	0.16 ± 0.47	-1.57 ± 0.02
ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b) ^{ns}	-0.18 ± 0.11	0.37 ± 0.19
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS ⁺) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	16.06 ± 4.46	18.35 ± 1.56
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	15.28 ± 3.57 ^a	28.07 ± 1.58 ^b
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	68.67 ± 4.29	71.55 ± 3.70
ปริมาณไฟเตท (มิลลิกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	6.42 ± 0.21 ^a	20.42 ± 12.43 ^b

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ^{a,b}อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย (p≤0.05)
 - ^{ns}ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

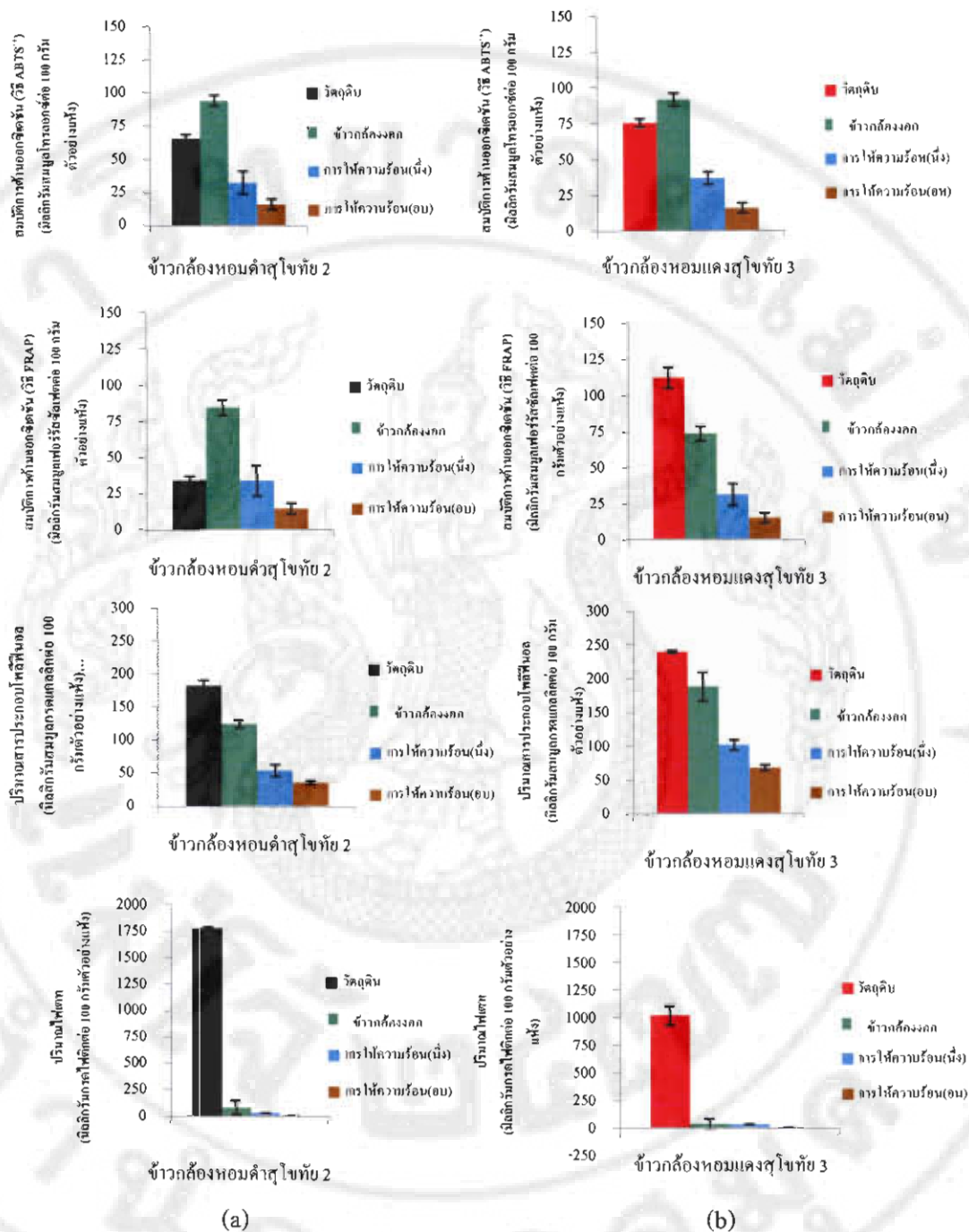
การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3 มีความชื้นลดลงซึ่งนิธิยา (2545) กล่าวว่า ปริมาณความชื้นดังกล่าวอยู่ในช่วงความชื้นที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำอิสระ (a_w) จากตัวผลิตภัณฑ์ไปใช้ได้ จึงไม่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานแม้ไม่ได้เก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำ อีกทั้งลดโอกาสที่ตัวผลิตภัณฑ์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน หรือการเกิดการเหม็นหืนภายในเมล็ด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของตัวผลิตภัณฑ์เป็นหลัก (Harman and Mattick, 1976)

ด้านสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอล และไฟเตทของข้าวกล้องงอกหลังการให้ความร้อนโดยใช้ตู้อบลมร้อนตามวิธีการทดลองของ ถัสพรรณ (2552) สำหรับข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และนำมาประยุกต์ใช้ในข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 โดยผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ทั้ง 2 สายพันธุ์มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอล และไฟเตทที่ลดน้อยลงเนื่องจากสารประกอบต่างๆ มีคุณสมบัติที่ไม่ทนต่อความร้อน (Laleh et al., 2006; Marcelo et al., 2004 and Kirca et al., 2007) อีกทั้งยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น น้ำที่ใช้ในกระบวนการงอก (Luh and Mikus, 1980) เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Choi et al. (2007) ที่กล่าวว่าสารประกอบจำพวกสารต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปนั้นจะมีน้อยกว่าในวัตถุดิบ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Shimelis and Rakshit (2007) ที่ทำการศึกษการแปรรูปถั่วเหลืองและพบว่าการใช้ความร้อนเพื่อทำให้เมล็ดถั่วสุกนั้นส่งผลให้สารสำคัญเช่น กรดอะมิโนอิสระชนิดต่างๆ และเอนไซม์ที่มีบทบาทในการยับยั้งการทำงานของสารพิษจำพวก แลคติน (lectin) ภายในร่างกายเช่นเอนไซม์โปรติเอส ลดปริมาณลงอย่างมาก

ทั้งนี้พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกทั้ง 2 สายพันธุ์วัดโดยวิธีการ FARP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในส่วน of สารประกอบโพลีฟีนอล อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาทีและที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที ตามลำดับนั้นพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งจากข้อมูลทำให้สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการให้ความร้อนโดยที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 คือการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาทีและที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้าวกล้องงอกหอมคำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้ตู้อบลมร้อน พบว่ามีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเคท ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องวัตถุดิบ ดังภาพ 10





ภาพ 10 สมบัติการต้านออกซิเดชันปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องวัดตดเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้หม้อหนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสคาลเป็นเวลา 0.5 นาที และหลังการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาที สำหรับข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 (a) และ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที สำหรับข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 (b)

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉหลังการคั้นรูป

จากการศึกษาผลของกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉจากข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3 สามารถสรุปได้ดังนี้ นำเมล็ดข้าวกล้องงอกวัดอุณหภูมิตั้ง 2 สายพันธุ์มาล้างด้วยน้ำสะอาดและสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก โดยใช้วิธีการที่ 3 หรือการสเปรย์เมล็ดข้าวด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 7 ชั่วโมงและบ่มให้เกิดการงอกเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส และนำข้าวกล้องงอกที่ได้มาให้ความร้อนในหม้อหนึ่งความดันไอน้ำที่ 121 องศาเซลเซียส 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5 นาที จากนั้นตัวอย่างจะถูกนำมอลดความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาที สำหรับข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาที สำหรับข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3 จากนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉที่ได้จะถูกนำมาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉหลังการคั้นรูปโดยการหุงด้วยหม้อหนึ่งไฟฟ้า ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ 1:2

ในการเปรียบเทียบการยอมรับของผู้บริโภคระหว่างข้าววัดอุณหภูมิตั้งที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป (ชุดควบคุม) และข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉในด้านความนุ่ม และความชอบรวม ผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคแบบ line scale ในรูปแบบเส้นคะแนนแบบปลายเปิดยาว 15 เซนติเมตร โดยมีการระบุด้านปลายเส้นคะแนนด้านความนุ่มของตัวอย่างเป็นคะแนน 0 คือนุ่มน้อย คะแนน 15 คือนุ่มมาก และด้านความชอบรวมของตัวอย่าง คะแนน 0 คือชอบน้อย และคะแนน 15 คือชอบมาก ทั้งนี้จากการคั้นรูปผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉของข้าวกล้องงอกทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่าใช้เวลาในการคั้นรูปประมาณ 15 นาทีซึ่งใช้เวลาสั้นกว่าชุดควบคุมที่ใช้เวลาคั้นรูปหรือหุงให้สุกทั้งหมดถึง 45 นาที และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่ม และความชอบรวมของผู้บริโภคจำนวน 100 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์หลังการคั้นรูป พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านความชอบรวมของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนด้านความชอบรวมของตัวผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไฉสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 มากกว่าในชุดควบคุม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ในด้านความนุ่มของทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังแสดงในตาราง 18

ตาราง 18 การประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อความนุ่ม และความชอบรวมของตัวผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกहुงสุกไวสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 และหอมแดงสุโขทัย 3 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ข้าวกล้องหอมคำสุโขทัย 2		ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3	
	ความนุ่ม* ^{ns}	ความชอบรวม**	ความนุ่ม* ^{ns}	ความชอบรวม** ^{ns}
ชุดควบคุม	6.48 ± 1.81	6.26 ± 1.36 ^a	6.18 ± 1.50	6.45 ± 1.51
ข้าวกล้องงอกहुงสุกไว	6.26 ± 1.26	6.72 ± 1.22 ^b	6.35 ± 1.19	6.14 ± 1.31

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ^{a,b} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 * คะแนน 0 = นุ่มน้อย และ 15 = นุ่มมาก
 ** คะแนน 0 = ชอบน้อย และ 15 = ชอบมาก

จากการนำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกहुงสุกไวหลังการคั้นรูปมาทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทพบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกहुงสุกไวทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณน้อยกว่าข้าวกล้องวัตถุดิบ ($p \leq 0.05$) ดังตาราง 19 และตาราง 20 ตามลำดับ

ตาราง 19 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 (วัตถุดิบ) และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวจากข้าวกล้องงอกหอมด่ำสุโขทัย 2 หลังการคั้นรูป

คุณภาพผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ หลังการคั้นรูป	ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว หลังการคั้นรูป
ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	69.51 ± 1.16	69.14 ± 0.95
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS ⁺) ^{ns} (มีลิกกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง แห้ง)	17.74 ± 2.03	14.20 ± 0.98
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) (มีลิกกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	32.87 ± 4.09 ^b	25.15 ± 1.15 ^a
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (มีลิกกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมตัวอย่าง แห้ง)	87.19 ± 7.25 ^b	71.45 ± 3.55 ^a
ปริมาณไฟเตท (มีลิกกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	209.89 ± 195 ^b	101.40 ± 35.15 ^a

หมายเหตุ

- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
- ^{a,b}อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละคุณภาพในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)
- ^{ns}ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 20 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 (วัตถุดิบ) และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวจากข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 หลังการคั้นรูป

คุณภาพผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ หลังการคั้นรูป	ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว หลังการคั้นรูป
ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	70.43 ± 0.35	70.50 ± 0.78
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS ⁺) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลโทรอกซ์ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	24.10 ± 2.50	18.35 ± 1.31
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	39.45 ± 6.05	32.98 ± 2.55
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	103.11 ± 9.70	89.56 ± 5.27
ปริมาณไฟเตท (มิลลิกรัมกรดไฟติกต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	301 ± 15 ^b	161 ± 49 ^a

- หมายเหตุ
- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ^{a,b} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละคุณภาพในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตท ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวทั้ง 2 สายพันธุ์หลังจากการคั้นรูปและเปรียบเทียบกับข้าวกล้องวัตถุดิบ พบว่าข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสายพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2 หลังการคั้นรูปมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณโพลีฟีนอล ต่างจากชุดควบคุมหรือข้าววัตถุดิบหลังการคั้นรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รวมไปถึงปริมาณไฟเตทของข้าวกล้องงอกหุงสุกไวทั้ง 2 สาย

พันธุ์ที่พบว่ามีปริมาณต่างจากชุดควบคุมหรือข้าววัดฤดูบิหลังการกินรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน เนื่องจากเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการหุงสุกไว้ได้มีการสลาย และสูญเสียสารสำคัญต่างๆ ไปในระหว่างกระบวนการผลิต ทั้งการใช้น้ำในขั้นตอนการทำให้เมล็ดข้าวเกิดกระบวนการงอก (Laleh et al., 2006) การใช้ความร้อนและความดันสูง (Sathe and Venkatachalam, 2002) การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และตู้อบลมร้อน (ลัษพรรณ, 2552) ที่พบว่ามีผลโดยตรงต่อการลดปริมาณของสารประกอบไฟเตทที่ไม่คงตัวต่อสภาวะที่ความร้อนสูง และพบว่าการลดลงของสารประกอบไฟเตท นั้นมีผลให้สมบัติการต้านออกซิเดชันลดลงด้วยเช่นการเนื่องจากการพบว่าไฟเตทนั้นมีสมบัติการเป็นสารต้านมะเร็งหรือสารต้านออกซิเดชัน (Torsahakul, 2007) ซึ่งจากรายงานของ Shimelis and Rakshit (2007) ที่ทำการศึกษาเมล็ดถั่วเหลืองหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป ทั้งการทำให้เมล็ดถั่วเหลืองเกิดกระบวนการงอกและการใช้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอนั้นนอกจากจะสามารถกำจัดสารประกอบที่ไม่พึงประสงค์ได้แล้วแต่ก็พบว่าการสูญเสียสารสำคัญที่จำเป็นต่อร่างกายไปด้วยเช่นเดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการทดลอง

ข้าววัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ ได้แก่ ข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 79.13 และ 83.01 ปริมาณความชื้นร้อยละ 12.67 และ 12.12 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.58 และ 10.74 ปริมาณไขมันร้อยละ 2.73 และ 2.11 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.29 และ 1.06 และปริมาณอะไมโลสร้อยละ 13.45 และ 14.31 ตามลำดับข้าวกล้องหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 3 ปริมาณ 100 กรัม (d.b.) มีสมบัติการต้านออกซิเดชันเทียบเท่ากับโทรลอกซ์ปริมาณ 65.74 และ 75.57 มิลลิกรัม เทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟต 34.46 และ 112.16 มิลลิกรัมตามลำดับ มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเท่ากรดแกลลิก 182.34 และ 240.17 มิลลิกรัมตามลำดับ และมีปริมาณไฟเตทในรูปกรดไฟติก 1,780 และ 1,021 มิลลิกรัม ตามลำดับ

ในการผลิตข้าวกล้องงอกพบว่า การแช่เมล็ดข้าวในน้ำร่วมกับการพ่นละอองน้ำ และการพ่นละอองน้ำเพียงอย่างเดียว นั้น สามารถทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง ร้อยละ 35-40 ภายในเวลา 5-7 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการงอกของเมล็ดข้าว ทั้งนี้การพ่นละอองน้ำเป็นเวลา 7 ชั่วโมง ร่วมกับการบ่มเพื่อให้เกิดกระบวนการงอกเป็นเวลา 20 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นั้นส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 ที่ได้มีปริมาณไฟเตทลดลง

ในขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ โดยอาศัยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 0.5 นาที่นั้น สามารถทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์ การระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 นาทีสำหรับข้าวกล้องงอกหอมด่ำสุโขทัย 2 และอุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 170 นาทีในส่วน of ข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 นั้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหอมด่ำสุโขทัย 2 และข้าวกล้องงอกหอมแดงสุโขทัย 3 มีความชื้นร้อยละ 6.29 และ 6.44 ตามลำดับ โดยในตัวอย่างข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ปริมาณ 100 กรัม (d.b.) มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันเทียบเท่าโทรลอกซ์ 16.33 และ 16.06 มิลลิกรัม หรือเทียบเท่าเฟอร์รัสซัลเฟต 14.55 และ 15.28 มิลลิกรัม ตามลำดับ พบสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเท่ากรดแกลลิก 36.55 และ 68.67 มิลลิกรัม ตามลำดับ และมีไฟเตทในรูปกรดไฟติกในปริมาณ 6.33 และ 6.42 มิลลิกรัมตามลำดับ

ในการคืนรูปข้าวกล้องงอกหุงสุกไวด้วยหม้อนึ่งไฟฟ้าจะใช้อัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวต่อน้ำที่ 1:2 ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการคืนรูปให้เหลือเพียง 15 นาทีหรือลดลงร้อยละ 67 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกรรมวิธีซึ่งใช้เวลาในการหุงถึง 45 นาที โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติด้านความนุ่ม ($p>0.05$) จากผู้บริโภคนจำนวน 100 คนทั้งนี้เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีต่างๆ ในข้าวกล้องที่ผ่านการคืนรูปแล้วพบว่าข้าวกล้องงอกหุงสุกไวดั้ง 2 สายพันธุ์มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณไฟเตทต่ำกว่ากล้องหุงที่ไม่ผ่านกรรมวิธี ($p\leq 0.05$)

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 292 น.
- เกร์อวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. น. 1-53. ใน เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- งามชื่น คงเสรี. 2546. คุณภาพข้าว และผลิตภัณฑ์. น. 241-259. ใน การสัมมนาวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 437 น.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์ นันทจิต บุญมงคล และ ปาริชาติ บุญพิคำ. 2533. ปริมาณไฟเตทในพืชชนิดต่างๆ. โฆษณาการสาร (24): 1-8.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2541. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 193 น.
- _____. 2545. เหมื่ออาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 487 น.
- บุญหงษ์ จงกิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 184 น.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม และ วันทนีย์ ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. อาหาร 32(4): 300-307.
- พนารัตน์ บุญฤทธิ์การ. 2542. ปริมาณวิตามินซี ที่มีผลต่อการเพิ่มธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้ในอาหารที่มีเส้นใย และไฟเตทโดยการศึกษาในหลอดทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยมหิดล. 92 น.
- ไมตรี สุทธจิตต์, อุดมภักดิ์ ชาลสุวรรณ และ ภักรสิริ สินไชยกิจ. 2543. ความสามารถสำคัญของสารสำคัญในการต่อต้านออกซิเดชันของสมุนไพรไทย. น. 1-91. ใน รายงานการวิจัยแพทย์แผนไทยฉบับสมบูรณ์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- ไมตรี สุทธจิตต์ และ ศิริวรรณ สุทธจิตต์. 2547. การวัดค่าระดับแอนติออกซิเดนต์ในเมล็ดข้าวสารและรำข้าวชนิดต่างๆ. *วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม* 23(2): 63-67.
- ลักขณา สิริรัตนพลกุล. 2545. มารูจักแอนติออกซิเดชันกันเถอะ. *For Quality* 8(54): 127-129.
- ลัสพรณ ระวีวัฒน์. 2552. อิทธิพลของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไวที่มีต่อปริมาณไฟเตท และสมบัติการต้านออกซิเดชันในข้าวกล้องที่มีสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 122 น.
- สมเดช อิ่มมาก. 2549. พันธุ์ข้าวหอมด่ำสุโขทัย 2. สุโขทัย: โครงการเกษตรอินทรีย์สนามบินสุโขทัย. (แผ่นพับ).
- สุรยา พิมพ์พิไล. 2549. การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงแบบหุงสุกเร็ว: รายงานการวิจัย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 69 น.
- อรรถวุฒิ ทศน์สองชั้น. 2526. เรื่องของข้าว. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 290 น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2539. ธัญชาติและแป้ง หน่วยที่ 3. น. 111-150. ใน เอกสารการสอนชุดวิชาอาหารและโภชนาการ (ฉบับปรับปรุง) หน่วยที่ 1-7. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- _____. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 366 น.
- Alexander, W.P. 1954. Process of preparing quick-cooking rice. U.S. Pat. 507,242.9 November. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Angyal, S.J. and A.F. Russell. 1969. Cyclitols XXVIII. Methyl esters of inositol phosphates. the structure of phytic acid. *Australian Journal of Chemistry* 22(2): 383 – 390.
- Antolovich, M., P. Prenzler, K. Robards and D. Ryan. (2000). Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits *Analyst. The royal society of chemistry* 125(5): 989–1009.
- AOAC International. 1995. **Official Method of Analysis**. 16th ed. Arlington: The Association of Analytical Chemists: Gaithersburg, MD. 1 v.
- _____. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed. Arlington: The Association of Analytical Chemists: Gaithersburg, MD. 1 v.

- Augustin, J. and B.P. Klein. 1989. Nutrient composition of raw, cooked, canned and sprouted legumes. pp. 187–217. In R.H. Matthews, (ed.). **Legumes: Chemistry technology and human nutrition**. New York, USA: Marcel Dekker.
- Bardet, G.V. and R.C.Giesse. 1961. Processing of brown rice. U.S. Pat. 2,992,921. 18 July. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Banchuen, J., P. Thammawatwasik, B. Ooraikul, P. Wuttijumnong and P. Sirivongpaisal. 2009. Effect of germinating processes on bioactive component of Sangyod Muang Phatthalung Rice. **Thai Journal of Agricultural Science** 42(4): 191-199.
- Banchuen, J., P. Thammawatwasik, B. Ooraikul, P. Wuttijumnong and P. Sirivongpaisal. 2010. Increasing the bio-active compounds contents by optimizing the germination conditions of southern Thai brown rice. **J. Sci. Technology** 32(3): 219-230.
- Benzie, I.F.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry** 239: 70-76.
- Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **Hort Science** 21(5): 1105-1112.
- Bravo, L. 1998. Polyphenol: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. อ้างโดย วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ (Health benefits of phenolic compounds). **อาหาร** 32(4): 245-253.
- Brooks, C.T., M.F. Fohey, R.M. Rapp, and R.L. Sauer. 1981. Space shuttle food processing and packaging. **Journal Food Protect** 44: 313-319.
- Carman, C.R. and J.E. Allison. 1953. Pre-cooking rice. U.S. Pat. 2,653,100. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Champagne, E.T. 1996. Rice starch: composition and characteristics. **Cereal Food World** 41(1): 833-838.
- Champagne, E.T., D.F. Wood, B.O. Juliano and D.B. Bechtel. 2004. The rice grain and its gross composition. pp. 77-107. In E.T. Champagne (ed.). **Rice. American Association of Cereal Chemistry**. St. Paul, USA: n.p.

- Chung, H.J., S.H. Jang, H.Y. Cho and S.T. Lim. 2009. Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (g-aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. **Food Science and Technology** 42: 1712–1716.
- Choi, Y., H.S. Jeong and J. Lee. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry** 103: 130-138.
- Erdman, J.W. and R.M. Forbes. 1977. Mineral bioavailability from phytate containing foods. **Food Product Development** 11: 46-53. อ้างโดย นัยนา บุญทวีวัฒน์, นันทจิต บุญมงคล และ ปาริชาติ บุญพิศา. 2533. ปริมาณไฟเตทในพืชชนิดต่าง ๆ. **โภชนาการสาร.** (24): 1-8.
- Eskin, N. A. M. and R. Przybylski. 2001. Antioxidants and shelf life of food. pp. 175-209. In Eskin, N. A. M. and D. S. Robinson. **Food Shelf Life Stability Chemical, Biochemical and Microbiological Changes.** Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Frias, J., M.L. Miranda, R. Doblado and C.V. Valverde. 2005. Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. var. Multolupa. **Food Chemistry** 92(2): 211-220.
- Fine, A.M. and C.N. Candidate. 2000. **Oligomeric proanthocyanidin complexes: History structure and phytopharmaceutical applications.** [Online]. Available <http://www.thorne.com/altmedrev/fulltex/opc5-2-tab1.jpg>. (15 November 2009).
- Ghosh, D. and T. Konishi. 2007. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. **Asia Pac J Clin Nutr.** 16 (2): 200-208.
- Giusti, M. M. and R.E. Wrolstad. 2003. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. **Biochemical Engineering Journal** 14(3): 217–225.
- Greiner, R. and U. Konietzny. 2006. Phytase for food application. **Food Technol, Biotechnol.** 44(2): 125–140.
- Goffman, F.D. and C. Bergman. 2002. Total phenolics and antiradical efficiency of rice bran extracts. **Journal of the science of food and agriculture** 84: 1235–1240.
- Harman, G.E. and L.R. Mattick. 1976. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. **New York State Agricultural Experiment Station** 260: 323-324.

- Hayakawa, K., M. Kimura, K. Kasaha, K. Matsumoto, H. Sansawa and Y. Yamori. 2004. Effect of a gamma-aminobutyric acid enriched dairy product on blood pressure of spontaneously hypertensive and normotensive Wistar-Kyoto rats. **British Journal of Nutrition** 92: 411–417.
- Henry, R.J. and P.S. Keltlewell. 1996. **Cereal Grain Quality**. London: Chapman and Hall. 504 p.
- Henderson, H.M., S.A. Ankrah. 1985. The relationship of endogenous phytase, phytic acid and moisture uptake with cooking time in *Vicia faba* minor cv. Aladin. **Food Chemistry** 17(1): 1-11.
- Honke, J., A.S. Sandberg and H. Kozłowska. 1999. The influence of pH and temperature on the endogenous phytase activity and on hydrolysis of inositol hexaphosphate in lentil, faba bean and pea seeds. **Polish Journal of Food Nutrition Science** 49: 109–122.
- Hoseney, R.C. 1986. **Principles of cereal science and technology**. St. Paul, Minnesota: The American Association of Chemists, Inc. 327 p.
- Hudson, E.A., P.A. Dinh, T. Kokubun, S.J.M. Simmonds and A. Gescher. (2000). Characterization of potentially chemopreventive phenols in extracts of brown rice that inhibit the growth of human breast and colon cancer cells. **Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention** 9: 1163–1170.
- Hutchings, J.B. 1994. **Food Colouring and Appearance**. Glasgow, UK: Blackie Academic and Professional,. 513 p.
- Huxsoll, C.C. and A.J. Morgan. 1968. Microwave for quick-cooking rice. **Cereal Sci. Today** 13(53): 203.
- Jianfen, L., Z.H. Bei, M.J.R. Nout and J.H. Robert. 2008. Effects of soaking, germination and fermentation on phytic acid, total and in vitro soluble zinc in brown rice. **Food Chemistry** 110: 821–828.
- Juliano, B.O. 1993. Rice in human nutrition FAO food and nutrition series, No 26. Los Banos, Laguna (Philippines): The International Rice Research Institute (IRRI). อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Kainuma, K. 2004. Rice: its potential to prevent global hunger. pp. 41-46. In **Proceedings of the third session of the workshop on suitable use of agricultural resources and environment management with focus on the role of rice farming**. Japan: FAO Association.
- Kalt, W. 2005. Effect of production and processing factor on major fruit and vegetable antioxidant. **Journal of Food science** 70(1): 11-19.
- Kayahara, H., K. Tsukahara and T Tatai. 2000. Flavor, health and nutritional quality of pre-germinated brown rice. pp. 546-551. In **10th international flavor conference**. Paros, Greece: n.p.
- Kayahara, H. 2004. **Germinated brown rice**. Japan: Department of Sciences of functional foods. Shinshu University. 32 p.
- Keneaster, K.K. and H.E. Newtin. 1957. Process for producing a quick-cooking product of rice or other starchy vegetable. U.S. Pat. 2,813,769. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Kenichi, O., S. Keitaro, Y. Yuji and K. Takafumi. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. **Journal of Food Composition and Analysis** 18: 303-316.
- Khalil, A. H. and E.H. Mansour. 1995 . The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. **Food Chemistry** 54: 177-182.
- Kikuzaki, H. and N. Nakatani. 1993. Antioxidant effects of some ginger constituents. **Journal of Food Science** 58(6): 1407-1410.
- Kirca, A., O. Mehmet and C. Bekir. 2007. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. **Food Chemistry** 101(1): 212-218.
- Komatsuzaki, N., T. Kikuichi, T. Hidechika, S. Tadanao, S. Naoto and K. Toshinori. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Jornal of Food Engineering** 78: 556-560.
- Konczak, I. and W. Zhang. 2004. Anthocyanins-more than naturescolours. **Journal of biomedicine and biotechnology** 5: 239-240.

- Konietzny, U. and R. Greiner. 2002. Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). **J. Food Sci. Technol** 37: 791–812.
- Kozłowska, H., J. Honke, J. Sadowska, J. Frias and V.C. Valverde. 1996. Natural fermentation of lentils: Influence of time, concentration and temperature on the kinetics of hydrolysis of inositol phosphates. **Journal of Science and Food Agriculture** 71: 367–375.
- _____. 2003. Phytic acid: Nutritional impact. pp. 4555–4563. In B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas (eds.). **Encyclopedia of food science and nutrition**. London: Elsevier.
- Lancaster, J.E. and C.E. Lister. 1997. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetable. **J. Amer. Soc. Hort. Sci** 122(4): 594–598.
- Laleh, G.H., H. Frydoonfar and S. Zare. 2006. The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four berberis species. *Pakistan Journal of Nutrition* 5(1): 90–92. อ้างโดย มนต์วีดี หุ่นเจริญ และ ศศิธร จันทนวราร. 2551. ผลของอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินสีของน้ำลูกม่อน. น. 562–569. ใน เรื่องเตรียมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Lestienne, I., B. Caporiccio, P. Besançon, I. Rochette and S. Trèche. (2005a). Relative contribution of phytates, fibres, and tannins to low iron and zinc in vitro solubility in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour and grain fractions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53(21): 8342–8348.
- Lestienne, I., P. Besançon, B. Caporiccio, L.P. Valerie and S. Treche. (2005b). Iron and zinc in vitro availability in pearl millet flours (*Pennisetum glaucum*) with varying phytate, tannin, and fiber contents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53(8): 3240–3247.
- Liang, J., B.Z. Han, M.J.R. Nout and R.J. Hamer. 2009. Effect of soaking and phytase treatment on phytic acid, calcium, iron and zinc in rice fractions. **Food Chemistry** 115: 789–794.

- Liang, J., B.Z. Han, M.J.R. Nout and R.J. Hamer. 2008. Effect of soaking, germination and fermentation on phytic acid, total and in vitro soluble zinc in brown rice. **Food Chemistry** 110(4): 821-828.
- Luh, B.S. 1991. Quick-cooking rice. pp. 121-146. In B.S. Luh, ed. **Rice: Utilization Volume II**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Luh, B.S. and R.R. Mikus. 1980. **Parboiled rice in rice production and utilization**. 2nd ed. Connecticut: AVI. 925 p.
- Marcelo, B. P.T. Marcela, T. C. Suarez. 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol** 37: 811-816.
- Macrae, R., R.K. Robinson and M.J. Sadler. 1993. **Encyclopaedia of Food Science: Food Technology and Nutrition**. London: Academic Press. 4998 p.
- Manna, K.M., K.M. Naing and H. Pe. 1995. Amylase activity of some roots and sprouted cereals and beans. **Food and Nutrition Bulletin** 16: 1-4.
- Manyam, B.V., L. Katz, T.A. Hare, K. Kanifefski and R.D. Tremblay. 1981. Isoniazid-induced elevation of cerebrospinal fluid (CSF) GABA levels and effects on chorea in Huntington's disease. **Annals of Neurology** 10: 35-37.
- Marfo, E.K., B.K. Simpson, J.S. Idowu and O.L. Oke. 1990. Effect of local processing on phytate levels on cassava, cocoyam, yam, maize, sorghum, rice, cowpea and soybean. **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 38: 1580-1585.
- Oh, C.H. and S.H. Oh. 2004. Effect of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. **Journal of Medical Food** 7: 19-23.
- Ovando, A.C., L.P. Hernández, E.P. Hernández, J.A. Rodríguez and C.A. Galán-Vidal. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry** 113: 859-871.
- Ozai-Durrani, A.K. 1948. Quick-cooking rice and process for making same. U.S. Pat. 2,438,939. 6 April. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Pasko, P., H.Barton, P. Zagrodzki, S. Gorinstein, M. Folta and Z. Zachwieja. 2009. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. **Food Chemistry** 115(2009): 994-998.

- Rimsten, L., T. Stenberg, R. Andersson, A. Andersson and P. Aman. 2003. Determination of beta-glucan molecular weight using SEC with calcofluor detection in cereal extracts. **Cereal Chemistry** 80(4): 485-490.
- Re, R., N. Pellegrini and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine** 26: 1231-1237
- Reddy, N. R., C.V. Balakrishnan and D.K. Salunkhe. 1978. Phytate phosphorus and mineral changes during germination and cooking of black gram (*Phaseolus mungo*) seeds. **Journal of Food Science** 43: 540-543.
- Rham, O, and T. Jost. 1979. Phytate-protein interactions in soybean extracts and low phytate soy protein products. *Journal of Food Science* 44: 569-600. อ้างโดย นัยนา บุญทวี ชูวัฒน์, นันทจิต บุญมงคล และ ปาริชาติ บุญพิลา. 2533. ปริมาณไฟเตทในพืชชนิดต่าง ๆ. *โภชนาการสาร* (24): 1-8.
- Rimsten, L., A.K. Haraldsson, R. Andersson, M. Alminger, A.S. Sandberg and P. Aman. 2003. Effects of malting on beta-glucanase and phytase activity in barley grain. **Journal of Science, Food and Agriculture** 82: 904-912.
- Roberts, R.L. 1995. Preparation of pre-cooked rice. U.S. Pat. 2,715,579. 16 August. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Roberts, R. L., R.A. Carlson and D.F. Farkas. 1979. Application of a continuous centrifugal fluidized bed drier to the preparation of quick-cooking rice products. *J. Food Sci.* 44: 248-250. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Rong, N., L.M. Ausman and R.J. Nicolosi. 1997. Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. **Lipids** 32: 303-309.
- Rooney, L.W. and S.S. Saldivar. 2000. Sorghum. pp. 149-175. In K. Kulp and J. Ponte (eds.) **Handbook of cereal science and technology**. 2nd ed. . New York, USA: Marcel-Dekker.
- Ruiz, A.S.C.D. and R. Bressani. 1990. Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. **Cereal Chem** 67: 519-522.

- Ryu, S.N., S.Z. Park and C.T. Ho. 1998. High performance liquid chromatographic determination of anthocyanin pigment in some varieties of black rice. **Journal of food Drug Anal.** 6: 729-736.
- Sandberg, A.S., N.G. Carlsson and U. Svanberg. 1989. Effects of inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates on in vitro estimation of iron availability. **Journal of food science** 54(1): 159-161.
- Sasaki, J., Y. Takada, K. Handa, M. Kusuda, Y. Tanabe, A. Matsunaga and K. Arakawa. 1990. Effects of gamma-oryzanol on serum lipids and apolipoproteins in dyslipidemic schizophrenics receiving major tranquillizers. **Clinical Therapeutics** 12: 263-268.
- Sathe, S.K. and M. Venkatachalam. 2002. **Food Phytates**. Florida: CRC Press. 229 p.
- Seetharamaial, G.S., T.P. Krishnakantha and N. Chandrasekhara. 1990. Influence of oryzanol on platelet aggregation in rats. **J. Nutr Sci. Vitaminol** 36: 291-297.
- Shahidi, F. and M. Naczsk. 2003. **Phenolics in food and nutraceuticals**. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press. 558 p.
- Shahidi, F. and M. Naczsk. 2004. **Phenolics in food and nutraceuticals**. Boca Raton, FL: CRC Press. 558 p.
- Shimelis, E.A. and S.K. Rakshit. 2006. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in east Africa. **Food Chemistry** 103: 161-172.
- Singha, S., T.A. Baugher, E.C. Townsend and M.C. D'Souza. 1991. Anthocyanin distribution in 'delicious' apples and the relationship between anthocyanin concentration and chromaticity values. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 116(3):497-499.
- Smith, D.A., R.M. Rao and E.Champagne. 1985. Chemical treatment and process modification for producing improved quick-cooking rice. **Journal of Food Science** 50: 926-931.
- Suttajit, M., S. Immark and C. Chiyasut. 2006. **Antioxidative activity and polyphenol content in different varieties of Thai rice grain. Proceeding of Asia Pacific Clinical Nutrition society. Joint 8 th ISCN and 5 th APCNS conference 2006.** [Online]. Available <http://www.healthy eating club.com/APJCN/Volume15/Vol15 apcns/ Vol15 apcns.htm>. (9 April 2010).

- Tanaka, M and S. Yukami. 1969. Method of preparing precooking dry rice. U.S. Pat. 3,484,249. 16 December. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Torsahakul, C. 2007. **Minerals, phytate and tannin contents in selected Thai fruits for health and diseases guildlines**. Master's thesis. Mahidol University. 228 p.
- Vicedo, T.B. and F.J.H. Correias. 2003. Antioxidants as cancer therapies. pp. 3-26. In R.R. Watson, (ed.). **Functional food and nutraceuticals in cancer prevention** Iowa: State Press.
- Vijayakumari, K.K., P. Siddhuraju, M. Pugalenth and K.K. Janardhanan. 1998. Effect of soaking and heat processing on the levels of antinutrients and digestible proteins in seeds of *Vigna acutifolia* and *Vigna sinensis*. **Food Chemistry** 63(2): 259–264.
- Wang, H., G. Cao and R. Prior. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 45: 304–309.
- Wang, S.Y. and H.S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. **J. Agric and Food Chem.** 48: 140-146.
- Waniska, R.D. 2000. Structure, phenolic compounds, and antifungal proteins of sorghum caryopses. pp. 72-106. In **Technical and institutional options for sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation ICRISAT**. Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Wayne, T.B. 1963. Process of preparing a rice product. U.S. Pat. 3,085,013. 9 April. อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. น. 3-21.
- Yang, F., T.K. Basu and B. Ooraikul. 2001. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. **International journal of food science and nutrition** 52: 319–330.
- Zhang, M.W., B.J. Guo, R.F. Zhang, J.W. Chi and Z.C. Wei. 2006. Separation, purification and identification of antioxidant composition in black rice. **Agric. Sci. China.** 5: 431-440.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข่าววัดอุทัย



ภาพผนวก 1 ข้าวกล้องหอมดำสุโจทัย 2



ภาพผนวก 2 ข้าวกล้องหอมแดงสุโจทัย 3



ภาคผนวก ข

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้



ภาพผนวก 3 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสาวยพันธุ์หอมคำสุโขทัย 2



ภาพผนวก 4 ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกไวสาวยพันธุ์หอมแดงสุโขทัย 3



ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995)

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ในกรณีที่เป็นตัวอย่างอาหารเปียก ถ้าเป็นตัวอย่างแห้งใช้ประมาณ 0.3 กรัม จากนั้นใส่ลงในหลอดทดลองเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการย่อยตัวอย่าง
2. ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ Kjeldahl catalyst 1 เม็ด และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร
3. ย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส จากนั้นนำมากลั่นด้วยเครื่อง Kjeltac System รุ่น 1026 (Tecator, Sweden) โดยใช้ระบบอัตโนมัติ (น้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร และด่าง 20 มิลลิลิตร)
4. ใส่สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร เพื่อดักจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้น
5. นำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนเป็นสารละลายสีม่วงอมน้ำเงิน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการวัดปริมาณความชื้นแล้วประมาณ 1-3 กรัม ลงบนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด
2. ใส่กระดาษลงในทิมเบล และเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายลงในถ้วยสกัดไขมันประมาณ 50 มิลลิลิตร
3. นำมาสกัดไขมันด้วยเครื่อง Soxhlet System HT (Tecator, Sweden)
4. นำถ้วยสกัดไขมันที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. นำมาใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็นลง แล้วชั่งน้ำหนัก

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ในครุชีเบิลกระเบื้องที่ผ่านการอบแห้ง
2. นำไปเผาบนเตาให้ความร้อนจนหมดควันดำจากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรือข้ามคืนจนได้เถ้าสีขาว
3. นำไปใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก

การวัดค่าความเป็นกรด-เบส (AOAC, 1995)

1. ปรับเทียบเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์จนแน่ใจว่าเครื่องมือมีความเที่ยงตรง
2. นำไปวัดค่าความเป็นกรด-เบสของตัวอย่าง

การวัดค่าสี

- 1.อุ่นเครื่องวัดสี (Tri-stimulus colorimeter รุ่น JC801) ประมาณ 100 นาที ก่อนการใช้งาน
2. เลือกใช้แท่นรองให้มีขนาดสัมพันธ์กับขนาดของตัวอย่าง
3. นำไปวางบนช่องแสงผ่าน โดยมีการปรับมาตรฐานเครื่องวัดสีด้วย standard white plate ก่อนการวัดค่าสีของตัวอย่าง ซึ่งการวัดค่าสีระบบ CIE ประกอบด้วยตัวแปรของค่าสี 3 ตัวคือ
 - 3.1. ค่าสี L* หมายถึง ค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว
 - 3.2. ค่าสี a* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียวและสีแดง เมื่อ a* มีค่าบวก จะแสดงถึงความ เป็นสีแดง และเมื่อ a* มีค่าลบ จะแสดงถึงความ เป็นสีเขียว
 - 3.3. ค่าสี b* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าบวกจะแสดงถึง ความเป็นสีเหลือง และเมื่อ b* มีค่าลบ จะแสดงถึงความ เป็นสีน้ำเงิน

การวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

1. ทำการอุ่นเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab 3TE, U.S.A.) ประมาณ 30 นาที
2. ทำการ calibrate เครื่องก่อนใช้งาน
3. นำตัวอย่างใส่ในกล่องตัวอย่าง และใส่ลงในเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ
4. หมุนไปมาที่ load รอจนกระทั่งเครื่องอ่านค่าที่ได้จากตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

1. ทำการบดตัวอย่างให้ละเอียดแล้ว
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2-5 กรัม ใส่ในจานอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบแห้ง
3. ทำการอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนัก

คงที่

การเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าว (ดัดแปลงจาก Smith et al., 1985)

1. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาทำการตัดขวางด้วยใบมีดโกน ให้มีความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร
2. ย้อมสีเมล็ดข้าวที่ผ่านการตัดขวาง ด้วยสารละลาย congo red ความเข้มข้นร้อยละ 0.5
3. นำมาตรวจดูปริมาณการเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยส่วนที่ทึบแสงจะหมายถึงส่วนที่ไม่เกิดการเจลลิตีในเซชัน และส่วนที่โปร่งแสงจะหมายถึงส่วนที่เกิดการเจลลิตีในเซชันของแป้งในเมล็ดข้าว

การวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน

1. ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างมาบดแล้วชั่งน้ำหนักประมาณ 5 กรัม
2. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
3. ใส่เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่
4. นำไปแช่ที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้ 1 คืน กรองตัวอย่างบนกระดาษกรองเบอร์ 93

วิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS⁺) (ดัดแปลงจาก Re et al., 1999)

1. เตรียม ABTS stock solution โดยใช้สารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1:0.5 โมล:โมล

2. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง

3. ทำการทดสอบ ABTS⁺ working solution โดยนำ ABTS stock solution มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้อยู่ในช่วง 0.7-0.9

4. ทำการทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง โดยผสมตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ตัวทำละลายของตัวอย่าง 80 ไมโครลิตร และ ABTS⁺ working solution 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้น 3 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้สารไทรอลอกซ์ และกรดแอสคาร์บิกเป็นสารละลายมาตรฐาน

วิธี Ferric reducing power (FRAP) (ดัดแปลงจาก Benzie and Strain, 1996)

1. ทำการเตรียม Working FRAP reagent โดยผสมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิ-โมลาร์ ที่มีค่าความเป็นกรด-เบส 3.6 จำนวน 50 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิ-โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร

2. ทำการทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง โดยผสมตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ตัวทำละลายของตัวอย่าง 140 ไมโครลิตร และ Working FRAP reagent 1.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้น 4 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้เฟอร์ริซัลเฟตเป็นสารละลายมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (ดัดแปลงจาก ประพันธ์ และวันทนีย์, 2545)

1. บดและทำการชั่งตัวอย่างจำนวน 5 กรัม
2. นำมาผสมกับเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างมาสกัดด้วยวิธีรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

4. กรองตัวอย่างสารสกัดบนกระดาษกรองเบอร์ 93 โดยใช้กรวยบูชเนอร์ แล้วปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้ให้เป็น 50 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95

5. ผสมตัวอย่างสารสกัด 0.5 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร และ folin-ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

6. เติมน้ำละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

7. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณไฟเตท (ดัดแปลงจาก Reddy et al., 1989)

1. การสกัดตัวอย่าง

1.1 ทำการบดแล้วชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 0.3-0.5 กรัม ลงใน Polypropylene centrifuge tube ขนาด 15 มิลลิลิตร

1.2 เติมน้ำกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำนวน 6 มิลลิลิตร

1.3 นำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้ 1 คืน

1.4 นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

1.5 ดูดสารละลายส่วนใสด้านบนทันทีด้วยปริมาตร 3-5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2. การตกตะกอนตัวอย่าง

2.1 เติมน้ำละลายเซอร์ริกความเข้มข้นร้อยละ 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 6 จำนวน 2 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 0.8 มิลลิลิตรลงในสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัด

2.2 เขย่าผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

2.3 นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทสารละลายส่วนใสทิ้งและเก็บส่วนตะกอนไว้

3. การย่อยตัวอย่าง

3.1 ละลายตะกอนที่ได้ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 3 มิลลิลิตร เทสารละลายที่ได้ลงในหลอดย่อยขนาด 25x150 มิลลิเมตร และล้างหลอดแก้วด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย

3.2 วางหลอดย่อยใน Digestion block ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.30 ชั่วโมง ทำการย่อยจนกระทั่งได้สารละลายใส หากสารละลายไม่ใสให้นำหลอดย่อยออกจาก Digestion block ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จำนวน 10 หยดแล้วทำการย่อยจนสารละลายใส

3.3 นำสารละลายใสที่ได้มาปรับปริมาตรให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. การวิเคราะห์ปริมาณของ Phosphorus

4.1 ดูดสารละลายที่ได้จากการย่อยจำนวน 20 ไมโครลิตร

4.2 เติมกรดซัลฟริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำนวน 80 ไมโครลิตร (หรืออาจมีการเจือจางให้เหมาะสมให้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 มิลลิลิตร) ลงในหลอดทดลอง

4.3 เติมกรดซัลฟริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร สารละลายแอมโมเนียมโมลิบดีนัมความเข้มข้นร้อยละ 1.75 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

4.4 เติมสารละลายมาลาไคท์กรีนจำนวน 200 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร



ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ ข้าวกล้องงอกหุงสุกไว้ได้จากข้าวกล้องที่มีสีพันธุ์ต่างๆ

ลำดับที่.....

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างแต่ละรหัสแล้วกำหนดเครื่องหมาย | พร้อมทั้งรหัสตัวอย่างใน
ตำแหน่งที่ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นอยู่

1. ความนุ่ม

น้อย	ปานกลาง	มาก

2. ความชอบรวม

น้อย	ปานกลาง	มาก

ข้อเสนอแนะ

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ



ภาคผนวก
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นางสาววีรภรณ์ ปิติวิวัฒนากุล

เกิดเมื่อ

17 เมษายน 2529

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเชียงแสนวิทยาคม เชียงราย

พ.ศ. 2551 วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยแม่โจ้