

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ
(Development of Healthy Packaged Rice Product)

ผู้วิจัย

ผศ. ดร. พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์

ดร.อรุษา เขาวนลิขิต

ดร.นันทรัตน์ ฦ นกรพนม

ดร. พรรณทิพา เจริญไทยกิจ

คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

664.725

ก494

ร.2

1๗๗/๒๕๕

สนับสนุนโดยเงินอุดหนุนวิจัยประเภทเงินรายได้วิทยาลัยนวัตกรรมการสื่อสารสังคม
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2554

สิงหาคม 2555

664.725
ก 494
ร.2

CD-ROM ผลิตด้วย
เครื่องคอมพิวเตอร์-คีนดือโตต๑ ชั้น 1

3 13 / 2554

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ (Development of Healthy Packaged Rice Product)

ผู้วิจัย

ผศ. ดร. พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์
ดร.อรุษา เขาวนลิขิต
ดร.นันทรัตน์ ณ นครพนม
ดร. พรรณทิพา เจริญไทยกิจ
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

2 ๓.๓. 2555

สนับสนุนโดยเงินอุดหนุนวิจัยประเภทเงินรายได้วิทยาลัยนวัตกรรมการสื่อสารสังคม
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2554

สิงหาคม 2555

S417860

1.
CD 111004

โครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ (Development of Healthy Packaged Rice Product)

ชื่อโครงการวิจัย (ไทย) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ
(ภาษาอังกฤษ) Development of Healthy Packaged Rice Product

ภายใต้ชุดโครงการ

ข้าวบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ: กระบวนการในการพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน
Healthy Packaged Rice Product: The development process for response to nowadays consumer's needs

ผู้รับผิดชอบ

ผศ.ดร. พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์	หัวหน้าโครงการวิจัย	สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 30%
ดร. อรุษา เขาวนลิขิต	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 20%
ดร. นันทรัตน์ ณ นครพนม	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 30%
ดร. พรรณทิพา เจริญไทยกิจ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 20%

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ

คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

114 ซอยสุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110 โทร 0-2649-5000 ต่อ 8304

ระยะเวลาดำเนินการ

1 ปี ตั้งแต่ สิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2555

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย พื้นที่การปลูกข้าวเป็นกึ่งหนึ่งของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ ซึ่งมีปริมาณการผลิตข้าวเปลือกประมาณ 26 ล้านตันต่อปี โดยผลผลิตข้าวประมาณ 2/5 จะส่งออก ส่วนที่เหลือใช้บริโภคภายในประเทศ

ตลาดภายในประเทศถือเป็นตลาดสำคัญของสินค้าข้าว เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย ซึ่งจากข้อมูลการบริโภคข้าวในปี พ.ศ. 2538 คนไทยบริโภคข้าวเฉลี่ยคนละ 119 กิโลกรัมต่อปี แต่ภายในระยะเวลา 12 ปี ปี พ.ศ. 2545 คนไทยบริโภคข้าวลดลงเหลือ 101 กิโลกรัมต่อปี โดยผู้มีรายได้สูงจะมีการบริโภคข้าวน้อยกว่าผู้มีรายได้น้อย และช่องว่างของปริมาณการบริโภคข้าวระหว่างผู้มีรายได้มากและรายได้น้อยแตกต่างกันมากขึ้นทุกปี ทั้งนี้เนื่องจาก การเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของเมืองเป็นไปอย่างรวดเร็ว การเพิ่มขึ้นของรายได้ทำให้พฤติกรรมบริโภคเปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถเลือกบริโภคอาหารหลากหลาย โดยเลือกบริโภคเนื้อและผักผลไม้มากขึ้น และพฤติกรรมบริโภคคนนอกบ้านและวิถีชีวิตคนเมืองทำให้การบริโภคข้าวลดลง นอกจากนี้ในทัศนคติของผู้บริโภคที่มีรายได้สูง ข้าวถือว่าเป็นสินค้าคุณภาพต่ำ ทำให้ผู้บริโภคกลุ่มนี้บริโภคข้าวลดลง (Isvillanonda, 2002)

การเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมผู้บริโภคทำให้ผู้ค้าข้าวต้องมีการปรับตัว โดยจากเดิมสินค้าข้าวไม่มีความแตกต่างทั้งในรูปแบบและวิธีการจำหน่าย แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาสินค้าข้าวในรูปแบบแตกต่างกันตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น ข้าวบรรจุถุง พัฒนาให้สอดคล้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคในเขตเมืองที่คำนึงถึงความสะดวก สะอาด คุณภาพดีและหาซื้อได้ง่าย โดยข้าวบรรจุถุง แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ และข้าวธรรมดา (ข้าวเสาไห้ ข้าวรวงแก้ว ข้าว 5% ข้าวขาวตาแห้ง เป็นต้น) ซึ่งข้าวที่ได้รับความนิยมมากในตลาดประเทศไทย คือ ข้าวหอมมะลิบรรจุถุง สำหรับขนาดบรรจุ แยกบรรจุเป็น 2, 5 และ 10 กิโลกรัม ซึ่งขนาดที่จำหน่ายมากที่สุดคือ ขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม เพราะเหมาะสมกับขนาดของครอบครัวคนไทยที่มีขนาดเล็กถึงเฉลี่ยครอบครัวละ 3-5 คน ซึ่งสามารถบริโภคข้าวบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัมหมดภายใน 1-2 สัปดาห์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงยังคงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างต่อเนื่องในการกระตุ้นให้ผู้บริโภคข้าวมากขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มผู้มีรายได้สูง และเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาด การพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยการเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์และสร้างความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์อื่น ทั้งนี้ในศตวรรษที่ผ่านมา ผู้บริโภคมีความเชื่อมากขึ้นว่าอาหารเกี่ยวข้องกับสุขภาพ โดยอาหารไม่ใช่สิ่งที่บริโภคเพียงเพื่อลดความหิวหรือกระหาย แต่ให้คุณค่าอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย ป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับภาวะโภชนาการ และทำให้สุขภาพกายและจิตดี (Menrad 2003) จากแนวคิดดังกล่าวทำให้ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพเติบโตอย่างรวดเร็ว

ข้าวจัดอยู่ในพืชวงศ์หญ้า (Gramineae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. โดยข้าวเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต วิตามินและเกลือแร่ Fares และคณะ (2010) พบว่า ข้าวเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด ชั้น Aleurone และชั้น Hyaline layer ทำให้ข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีหรือข้าวกล้องจะมีปริมาณสารฟีนอลิกมากกว่าข้าวขาว ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่ช่วยลดอนุมูลอิสระที่เกิดจากร่างกายหรือปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ช่วยลดความเสี่ยงของโรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดและโรคมะเร็ง สำหรับข้าวไทย รัชนิ และ คณะ (2551) ศึกษาพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นแหล่งของสารอาหารเช่น ธาตุเหล็ก สังกะสี เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Juliano (1993)

ข้าวประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 70% ขององค์ประกอบทั้งหมด ส่งผลให้ข้าวเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม การที่ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ในช่วงกว้าง (54-121%) (Brand-Miller et al., 1992) ส่งผลให้มีข้อจำกัดในการบริโภคของผู้ที่มีภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคไม่ติดต่อชนิดเรื้อรังหลายชนิด ได้แก่ โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง หลอดเลือดแดงตีบ และโรคอ้วน เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการถูกย่อยและปลดปล่อยน้ำตาลในกระแสเลือด ได้แก่ ปริมาณใยอาหาร การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการแปรรูป และสัดส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในสตาร์ช เป็นต้น (Hu et al., 2004) การรับประทานอาหารที่ประกอบด้วยสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงส่งผลให้อาหารอยู่ที่กระเพาะนานขึ้น และมีระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดต่ำ (Frei et al., 2003)

อย่างไรก็ตามความหลากหลายสายพันธุ์ และความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในการปลูก ทำให้องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ ปริมาณสารอาหาร ลักษณะของเมล็ด ปริมาณอะมิโลส คุณสมบัติการเกิดเจลาคีในเซชัน คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการบริโภคของข้าวแตกต่างกัน (Bao, Corke & Sum, 2004; Singh และคณะ, 2005)

หากพิจารณาประโยชน์ต่อสุขภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงควรเลือกข้าวกล้องเพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว และเมื่อพิจารณาความนิยมในตลาด พบว่าข้าวกล้องที่จำหน่ายเกือบทั้งหมดเป็นข้าวกล้องหอมมะลิ ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ให้มากยิ่งขึ้นอาจทำได้โดยผสมข้าวกล้องหอมมะลิกับข้าวกล้องพันธุ์รับรองหรือพันธุ์พื้นเมืองที่มีสารต้านอนุมูลอิสระและใยอาหารในปริมาณมากและมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน ซึ่งการผสมข้าวกล้องจะเปลี่ยนปริมาณอะมิโลสทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทนทานต่อการย่อยมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามนอกจากประโยชน์ต่อสุขภาพแล้ว ผู้บริโภคยังมีความต้องการเนื้อสัมผัสข้าวหุงสุกที่นุ่ม ไม่รวน แข็ง แห้ง กระด้าง ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงที่มีประโยชน์สูงต่อสุขภาพพร้อมทั้งมีความอร่อยซึ่งจะสร้างความพึงพอใจต่อผู้บริโภคได้สูงสุด

นอกจากนี้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒกำหนดให้จังหวัดสระแก้วเป็นจังหวัดที่มหาวิทยาลัยจะเข้าไปดำเนินการช่วยเหลือและพัฒนาให้ชุมชนในจังหวัดมีความเป็นอยู่ที่ดี และลดความเหลื่อมล้ำของสังคมตามแผนยุทธศาสตร์ 15 ปี ของมหาวิทยาลัย โดยจังหวัดสระแก้วประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยมีข้าวเป็นพืช

เศรษฐกิจที่สำคัญที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดถึง 868,986 ไร่ และผลผลิตรวม 333,690 ตัน พันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 เป็นต้น และยังมีการปลูกข้าวพันธุ์ข้าวพื้นเมือง เช่น พันธุ์อัมดี ทองเอก มะลิกลาง เป็นต้น ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวในจังหวัดสระแก้ว ซึ่งเป็นหนทางที่ทำให้ชุมชนสามารถหารายได้พึ่งพาตนเอง และสามารถพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้ว
2. ศึกษาปริมาณสารฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณใยอาหาร คุณสมบัติการย่อยของข้าว คุณภาพการหุงและการบริโภค และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องผสม
3. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ
4. เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1. การวิจัยครอบคลุมการศึกษาปริมาณฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้ว ประมาณ 36 สายพันธุ์

การทดลองที่ 2. การวิจัยครอบคลุมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ 2 สูตร ได้แก่ (1) ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง เพื่อให้เป็นข้าวกล้องผสมที่มีคุณสมบัติต้านทานอนุมูลอิสระ และ (2) ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 เพื่อให้เป็นข้าวกล้องผสมที่ทนทานต่อการย่อย และ โดยวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณใยอาหาร คุณสมบัติการย่อยของข้าว คุณภาพการหุงและการบริโภค และคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อเลือกสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงเพื่อสุขภาพที่มีประโยชน์สูงต่อสุขภาพ อร่อย และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

4. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

4.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

ข้าว เป็นแหล่งของ คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่และ วิตามิน (ตารางที่ 4.1) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยวและการแปรรูปจากข้าวเปลือก ราชินีและคณะ (2551) ทำการศึกษาปริมาณธาตุในข้าวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศไทย พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากแหล่งต่าง ๆ มีปริมาณเกลือแร่ที่แตกต่างกัน เมื่อนำผลจากงานวิจัยมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 พบว่า มีปริมาณแร่ธาตุที่พบในข้าวพันธุ์พื้นเมืองเช่น ธาตุ เหล็กซึ่งมีปริมาณ 6.9-23.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จะมีปริมาณสูงกว่า ข้าวกล้อง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณวิตามิน และ เกลือแร่ ของข้าวกล้อง และ ข้าวสาร

	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
โปรตีน (กรัม)	7.1-8.3	6.3-7.1
ไขมัน (กรัม)	1.6-2.8	0.3-0.5
กากใย (กรัม)	0.6-1.0	0.2-0.5
เถ้า (กรัม)	1.0-1.5	0.3-0.8
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	73-87	77-89
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.2-5.2	0.2-2.8
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.6-2.8	0.6-2.3

ที่มา : Juliano (1993)

4.2 สารต้านอนุมูลอิสระในธัญพืช

สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ คือ สารประกอบที่ได้จากพืชหรือเนื้อเยื่อของสัตว์ต่างๆ และมีคุณสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งได้จากแหล่งต่างๆ ได้แก่ ผัก ผลไม้ ธัญพืช เครื่องเทศ พืชสมุนไพร ต่าง ๆ โดยอาจมีอยู่ในส่วนเปลือก เนื้อ เมล็ด ใบ หรือ ลำต้น สารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบในแหล่งธรรมชาติเหล่านี้ ได้แก่ วิตามินซี โทโคเฟอรอล สารประกอบฟีนอลิก รวมถึงเมดิซินธรรมชาติต่างๆ เช่น แคโรทีน (carotene) ไลโคปีน (lycopene) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นต้น (Buck, 1990) ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทางด้านอาหารและยาให้ความสนใจสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ป้องกันการติดเชื้อ (anti-inflammatory) ป้องกันการเกิดเนื้องอกและมะเร็ง (antimutagen and anticarcinogen) จากการศึกษาด้านระบาดวิทยาพบว่า ผู้ที่บริโภคอาหารที่

เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกมีโอกาสดเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจต่ำ (Hertog และคณะ 1993) ธัญพืชมีองค์ประกอบในกลุ่มของกรดฟีนอลิกหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อยู่ในกลุ่มของหมู่กรดเบนโซอิกและซินนามิก (benzoic and cinnamic acids series) (Ho และคณะ, 1992) ชั้นเปลือกนอกของเมล็ดธัญพืช (เปลือกชั้นนอก (husk) เปลือกชั้นใน (pericarp) เซลล์ทดสอบและอัลบูโรน (testa and aleurone cells) มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าในส่วน of ชั้นเอนโดสเปิร์ม (endosperm layers) (Kähkönen และคณะ, 1999) อาทิเช่น กรดฟีนอลิกอิสระและเอสเทอร์ของกรดฟีนอลิกที่พบในข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และข้าวโอ๊ต (Sosulski และคณะ 1982) กรดเฟอร์ูลิกเป็นสารประกอบที่พบมากในกลุ่มกรดฟีนอลิกโมเลกุลต่ำในธัญพืชต่างๆ ไป โดยจะพบในส่วนที่หุ้มเมล็ด (Watanabe และคณะ 1997) ตัวอย่างเช่นในข้าวสาลีมีองค์ประกอบของกรดทรานส์-เฟอร์ูลิก ไซริงิก และวานิลลิก (*trans*-ferulic, syringic, and vanillic acids) ในข้าวพบกรดพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิกและโพรโตคาเทอชอิก (*p*-hydroxybenzoic and protocatechuic acids)

สำหรับข้าว Sompong และ คณะ (2010) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวสีแดงและข้าวสีดำจากประเทศไทย จีน และศรีลังกาพบว่าข้าวทั้งหมดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 79-691 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP 0.85-8.08 mmol FeII ต่อ 100 กรัม ด้วย วิธี DDPH 13-62 %DDPH remaining

รชนี และ คณะ (2551) ตรวจสอบปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง วิตามินอี เบต้าโรทีนและลูทีนในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย พบว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีสีม่วงเข้มจะเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ และ ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณเหล็ก 6.9-23.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสี 12-35.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดง 1.30-6.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม วิตามินอี 261.41-1793.14 ไมโครกรัม/100 กรัม เบต้าแคโรทีน 22.16-34.76 ไมโครกรัม/100 กรัม และลูทีน 170.30-208.80 ไมโครกรัม/100 กรัม

4.3 คุณสมบัติการย่อยของข้าว

ข้าวจัดอยู่ในพืชวงศ์หญ้า (Gramineae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 70% ขององค์ประกอบทั้งหมด ส่งผลให้ข้าวเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม การที่ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ในช่วงกว้าง (54-121%) (Brand-Miller et al., 1992) ส่งผลให้มีข้อจำกัดในการบริโภคของผู้ที่มีภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคไม่ติดต่อชนิดเรื้อรังหลายชนิด ได้แก่ โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง หลอดเลือดแดงตีบ และโรคอ้วน เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการถูกย่อยและปลดปล่อยน้ำตาลในกระแสเลือด ได้แก่ ปริมาณใยอาหาร การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการแปรรูป และสัดส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในสตาร์ช เป็นต้น (Hu et al., 2004) การรับประทานอาหารที่ประกอบด้วยสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง ส่งผลให้อาหารอยู่ที่กระเพาะนานขึ้น และมีระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดต่ำ (Frei et al., 2003)

งานวิจัยของ Hu และคณะ (2004) ยืนยันว่าปริมาณอะมิโลสมีผลต่อคุณสมบัติการทนทานต่อการย่อย โดยจากการศึกษาข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ indica, japonica and hybrid rice พบว่าค่า glycemic index ของข้าว 3 สายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญที่มีผลค่า glycemic index และปริมาณ resistant starch (RS) คือ ปริมาณอะมิโลส ปริมาณ RS มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะมิโลสสูงขึ้น การกินตัวของแป้งใน ข้าวสุกส่งผลให้การย่อยแป้งต่ำลง ค่า glycemic index จึงลดลง โดยทั่วไปการย่อยแป้งจะเกิดอย่างรวดเร็ว และสมบูรณ์ในข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ

Zhang และคณะ (2007) รายงานความสัมพันธ์เชิงบวกของปริมาณอะมิโลสและปริมาณ โปรตีนกับ ปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (resistant starch) ในข้าวหุงสุก

นอกจากปริมาณอะมิโลส Sagum และ Arcot (2000) พบว่าวิธีการแปรรูปในครัวเรือน ได้แก่ การต้ม (boiling) และการหุงสุกด้วยความดัน (Pressure cooking) จะมีผลต่อปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อยใน ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าปริมาณอะมิโลส ปริมาณน้ำ และอุณหภูมิในการหุงต้มมี ผลต่อการเกิดสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย โดยข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย ในระหว่างต้มและการหุงสุกมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสในระดับต่ำและปานกลาง การต้มและการหุงสุก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อยเพียงเล็กน้อย การเกิดสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อยของ ข้าวที่ผ่านการทำให้สุก เนื่องจาก controlled retrogradation โดยหลังจากการเกิดเจลละติไนซ์ ปล่อยให้ข้าวเย็น ตัวยง ปริมาณอะมิโลสจะจัดเรียงตัวหรือรวมกลุ่มกันเกิดเจลแข็ง หรือ โครงสร้างผลึกที่ไม่ละลายน้ำ

4.4 คุณภาพการหุงและการบริโภค (Cooking and Eating Quality) ของข้าว

คุณภาพในการหุงและการบริโภคเป็นสิ่งสำคัญที่สุดต่อคุณภาพข้าวสำหรับผู้บริโภค ลักษณะการหุง และการบริโภคสามารถบอกได้ด้วยคุณสมบัติต่างๆ เช่น เวลาหุงสุก การดูดซับน้ำระหว่างการหุงต้ม ปริมาณ ของแข็งในน้ำหุงต้ม การขยายปริมาตร เนื้อสัมผัส ความหนืด ความคงตัวของเจล และคุณภาพทางประสาท สัมผัส

เวลาหุงสุกจะมีผลกระทบโดยตรงจากอุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature) ความหนา ของเมล็ด และปริมาณโปรตีน โดยอุณหภูมิการเกิดเจลคืออุณหภูมิที่ birefringence สูญเสียไป 90% ซึ่งทำให้ แป้งในเมล็ดข้าวสารเป็นแป้งสุก ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลสูงจะเป็นข้าวที่ใช้เวลาหุงสุกนาน ส่วนความ หนาของเมล็ดจะทำให้เวลาหุงสุกนาน และปริมาณโปรตีนที่ผิวนอกทำให้น้ำซึมผ่านและการถ่ายเทความร้อน ช้า ข้าวจะสุกช้าลง ดังนั้นการพิจารณาข้าวที่มีระยะเวลาการสุกใกล้เคียงกัน ต้องมีปริมาณอะมิโลส อุณหภูมิ การเกิดเจล ความหนาของเมล็ดใกล้เคียงกัน (กรมการข้าว, 2550)

การขยายปริมาตรหรือการยืดตัวของเมล็ดข้าวสาลี เมื่อใส่น้ำในข้าวสาลี เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ข้าวจะยืดและขยายตัวออกทุกทิศทาง โดยเฉพาะทางด้านยาว ถ้าเมล็ดข้าวสาลีขยายตัวและเมล็ดไม่เกาะติดกัน พื้นที่การขยายตัวมาก และมีน้ำให้แบ่งดูดได้มากเพียงพอ จะทำให้ข้าวขยายตัวมาก ข้าวสุกโป่ง บางครั้งเรียกว่าข้าวหุงขึ้นหม้อ (กรมการข้าว, 2550)

การดูดซับน้ำระหว่างการหุงสุก สัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนอะมิโลสต่ออะมิโลเพคติน โดยข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะใช้น้ำในการหุงต้มมาก

ความคงตัวของเจล เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพทางการรับประทานของข้าว การตรวจสอบความคงตัวของเจลร่วมกับการวัดปริมาณอะมิโลสเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและสามารถบ่งบอกลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกได้ดี การตรวจเฉพาะปริมาณอะมิโลสเพียงอย่างเดียวจะให้ผลที่ไม่แน่นอน ข้าวสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสที่ใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน อาจให้เนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันมาก เป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนืดซึ่งเกิดจากส่วนของอะมิโลเพคตินในข้าวนั้นๆ ค่าความคงตัวของเจลสามารถระบุถึงเนื้อสัมผัสของข้าวสุกตั้งแต่อ่อนนุ่มจนถึงแข็งกระด้าง และมักจะแปรผกผันกับปริมาณอะมิโลส แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มข้าวที่มีอะมิโลสเท่ากัน ข้าวที่มีเจลนิ่มจะหุงได้ข้าวสุกที่นุ่มกว่าและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ส่วนในกลุ่มข้าวอะมิโลสสูง ถ้ามีเจลที่นิ่มจะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าข้าวที่มีเจลแข็ง ข้าวที่มีเจลแข็งมักจะแข็งได้เร็วเมื่อเย็นตัวลง

อุณหภูมิในการเกิดเจล (Gelatinization Temperature) ตามปกติการเกิดเจลในข้าวของเมล็ดแป้งแต่ละเมล็ดจะไม่เกิดพร้อมกันดังนั้นอุณหภูมิเจลในข้าวจึงเป็นช่วงอุณหภูมิตั้งแต่เมล็ดแป้งเมล็ดแรกสูญเสีย birefringence จนถึงเมล็ดสุดท้าย (Juliano, 1985) ช่วงอุณหภูมิสูงและต่ำสุดในการเกิดเจลในข้าวจะอยู่ที่ 6-10 °C และจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช พันธุ์ และโครงสร้างภายในของเมล็ดสตาร์ช อุณหภูมิการเกิดเจลในข้าวมักใช้ในการประเมินถึงความเหมาะสมในการเลือกข้าวมาใช้ในการแปรรูป เช่น ข้าวที่นำมาบรรจุกระป๋อง parboiling หรือทำข้าวหุงสุกเร็ว จะใช้ข้าวพันธุ์ที่มีอุณหภูมิเจลในข้าวปานกลาง ส่วนข้าวที่มีอุณหภูมิเจลในข้าวต่ำเหมาะสมสำหรับนำมาทำเบียร์

ความหนืดของน้ำแป้ง (Pasting Characteristics) เมื่อให้ความร้อนแก่เมล็ดแป้งซึ่งแชวนลอยในน้ำ เมล็ดแป้งจะเริ่มบวม และให้ลักษณะน้ำแป้งที่ข้นหนืด และหากให้ความร้อนต่อไปเมล็ดแป้งจะแตก น้ำแป้งจะประกอบด้วยเมล็ดแป้งที่บวม, ส่วนของเมล็ดแป้งที่แตก และโมเลกุลเมล็ดแป้งที่แผ่กระจาย หากลดอุณหภูมิ น้ำแป้งลง ส่วนต่างๆที่อยู่ในน้ำแป้งจะกลับมารวมกัน (retrograde) ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความหนืดระหว่างกระบวนการนี้จะเป็นลักษณะเฉพาะของแป้งแต่ละชนิด และมักจะสัมพันธ์กับคุณภาพทางการหุงต้มและการบริโภค (Bhattacharya and Sowbhagya, 1978 and 1979)

ความแข็งของข้าวสุก (Cooked rice hardness) ปริมาณอะมิโลสจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความแข็ง (Hardness) ของข้าวสุก และสัมพันธ์ตรงข้ามกับความเหนียว (Stickiness) หรือแนวโน้มในการติดของข้าวกับพื้นผิวสัมผัส ปัจจัยทั้ง 2 ค่านี้เป็นคุณลักษณะหลักที่ใช้บ่งชี้คุณภาพการบริโภคของข้าว เช่น ข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำจะขายตัวน้อยที่สุดระหว่างการหุง และข้าวที่หุงได้จะมีความหนาแน่นมากที่สุด และในข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสใกล้เคียงกัน ปัจจัยเพิ่มเติมที่มีผลต่อคุณภาพคือ ความคงตัวของเจล และความแตกต่างของอุณหภูมิในการเกิดเจล

งานศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่ามีความสัมพันธ์กับคุณภาพการหุงและบริโภคของข้าว Wang และคณะ (2010) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ รวมถึงโครงสร้างของข้าวจากประเทศจีน จำนวน 10 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวทั้ง 10 สายพันธุ์มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วง 18.1-31.6% องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของแป้งข้าวมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งในการนำไปใช้งาน ข้าวสายพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูง มีแนวโน้มที่ให้เจลที่แข็ง และมีกำลังการพองตัวต่ำ และความยาวของสายอะมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้ง

Patindol และคณะ (2007) พบว่าข้าวเมล็ดยาวสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 4 สายพันธุ์ ถึงแม้จะมีอะมิโลสในปริมาณเท่าๆกัน แต่มีคุณสมบัติการให้ความหนืด อุณหภูมิการเกิดเจลในเซชัน และคุณภาพข้าวบรรจุกระป๋องที่แตกต่างกัน โดยปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญต่อคุณภาพของข้าวบรรจุกระป๋อง คือขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพคติน และสัดส่วนความยาวของสายโซ่อะมิโลเพคตินที่เป็นองค์ประกอบในข้าวแต่ละสายพันธุ์

Singh และคณะ (2005) พบว่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและการบริโภคของข้าวจากอินเดียจำนวน 23 สายพันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยข้าวที่ทำการศึกษามีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วง 2.3-15.4% ระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม การดูดซับน้ำ และลักษณะเนื้อสัมผัสมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์เช่นกัน โดยทั่วไปพบว่าข้าวสายพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนาน ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวมีความแปรผันโดยตรงกับปริมาณอะมิโลสในข้าว

4.5 การแบ่งกลุ่มของข้าว

ชนิดของข้าวแบ่งตามรูปร่างเมล็ดข้าว

ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) เป็นเมล็ดข้าวสารที่มีความยาวไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium grain) เป็นเมล็ดข้าวสารที่มีความยาวตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาว (long grain) เป็นเมล็ดข้าวสารที่มีความยาวตั้งแต่ 6.61-7.50 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) เป็นเมล็ดข้าวสารที่มีความยาวตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตร ขึ้นไป

ชนิดของข้าวแบ่งตามปริมาณอะมิโลส

สตาร์ชของข้าวมีลักษณะเป็นเม็ดหยาบเหลี่ยมขนาด 3-9 ไมโครเมตร รวมกันเป็นกลุ่มภายในอะมิโลพลาสต์ (amyloplast) โดยภายในแต่ละอะมิโลพลาสต์มีเม็ดสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ดและระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกอยู่ สตาร์ชจากข้าวประกอบด้วย อะมิโลส 7-33% ของน้ำหนักเมล็ดข้าวสารหรือ 8-37% ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ส่วนที่มีมากคือ อะมิโลเพกตินซึ่งอาจมีอยู่ในข้าวเหนียวเกือบ 100%

ปริมาณอะมิโลสเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของข้าวและเป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติในการบริโภคของข้าวสุก โดยปริมาณอะมิโลสจะแปรผันกับการดูดซับน้ำ การขยายปริมาตรของเมล็ด ความแข็งของข้าวสุก และความขาวของข้าวสารสุก แต่จะแปรผกผันกับความเหนียว ความนุ่มของข้าวและความเลื่อมมันของข้าวสาร (Villareal และคณะ, 1994)

ลักษณะและคุณสมบัติของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินสามารถนำมาใช้ในการจัดแบ่งลักษณะของข้าวเมื่อนำไปขัดสีเป็นข้าวสารแล้วนำไปหุงต้มเป็นข้าวสุก พบว่าข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ จะเป็นข้าวสุกที่เหนียวและจะร่วนขึ้น เมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น การจำแนกลักษณะของข้าวสุกตามปริมาณอะมิโลสแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การจำแนกลักษณะของข้าวสุกตามปริมาณอะมิโลส

ปริมาณอะมิโลส (%)	ชนิดข้าว	ลักษณะข้าวสุก
1-2	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
2-9	ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำมาก	เหนียว, นุ่ม
9-20	ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำ	เหนียว, นุ่ม
20-25	ข้าวเจ้าอะมิโลสปานกลาง	นุ่ม, ค่อนข้างเหนียว
25-33	ข้าวเจ้าอะมิโลสสูง	ร่วน, แข็ง

ที่มา: Juliano, 1985

สำหรับข้าวที่ปลูกในประเทศไทย สามารถแบ่งตามปริมาณอะมิโลส (กรมการข้าว, 2550) ดังนี้

1. ข้าวเหนียว ได้แก่ กข6, กข10, กำผาย 15, ขาวโป่งไคร้, ชิวแม่จัน, ปิอินอบู, สกลนคร, สันป่าตอง 1, หอมนาง 63, หางยี 71, เหนียวแพร่, เหนียวสันป่าตอง, เหนียวอุบล 2, R258

2. ข้าวอะมิโลต่ำ (<20%) ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105, กข15, ปทุมธานี 1, เจ้าหอมคลองหลวง 1, เจ้าหอมสุพรรณบุรี, มะลิคอ, ขามเหนียว 26, ข้าวหลวง 6, ข้าวหลวงสันป่าตอง, เจ้าฮ่อ, ตามูตะ, ยาญ์, สังข์หยดพัทลุง

3. ข้าวอะมิโลปานกลาง (21-25%) ได้แก่ กข7, กข23, ขาวตาแห้ง 17, ดอกพยอม, น้ำรู้, สุพรรณบุรี 2, สุพรรณบุรี 60, หันตรา 60

4. ข้าวอะมิโลสูง (>26%) ได้แก่ แก่นจันทร์, กูเมืองหลวง, เจริญพัทลุง, ชัยนาท 1, ชัยนาท 2, ชุมแพ 60, นางพญา 123, ปทุมธานี 60, ปราจีนบุรี 1, ปราจีนบุรี 2, พลายงามปราจีนบุรี, พวงไร 2, พัทลุง, พิษณุโลก 2, เพ็ญน้ำ 43, ลูกแดงปัตตานี, เล็บนกปัตตานี, เล็บมือนาง 111, สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 90, เหลืองประทิว 123, อรุยา 1

ชนิดของข้าวแบ่งตามลักษณะข้าวหุงสุก

การแบ่งชนิดของข้าวตามลักษณะข้าวหุงสุก สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม (กรมการข้าว, 2550) ดังนี้

1. ข้าวสุก นุ่ม-เหนียว เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลต่ำ 10-19% ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (หอมมะลิ), กข 15 (หอมมะลิ), เจ้าหอมคลองหลวง 1, เจ้าหอมสุพรรณบุรี, ปทุมธานี 1, กข 21

2. ข้าวสุกอ่อน (ข้าวขาวตาแห้ง) เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลปานกลาง 20-26% อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ-ปานกลาง ได้แก่ ขาวปากหม้อ, ขาวตาแห้ง 17, กข 7, กข 23, สุพรรณบุรี 2, สุพรรณบุรี 60

3. ข้าวสุก ร่วน-แข็ง หุงขึ้นหม้อ (ข้าวเสาไห้/ข้าวเคียว) เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสูง 27-35% แต่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ-ปานกลาง ได้แก่ เหลืองใหญ่ 148, น้ำสะกวย 19, เหลืองประทิว 123, เล็บมือนาง 111, ปิ่นแก้ว 56, กข 11, กข 13, ปทุมธานี 60, ชัยนาท 1, สุพรรณบุรี 90, สุพรรณบุรี 1

5. วิธีการดำเนินการวิจัย

5.1 การศึกษาคุณภาพของข้าวพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้ว การเตรียมตัวอย่างข้าว

ตัวอย่างข้าวที่นำมาศึกษา ได้แก่ ข้าวที่กะเทาะเปลือกแล้วจากจังหวัดสระแก้ว จำนวน 36 สายพันธุ์ แบ่งเป็น พันธุ์รับรอง ได้แก่ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 เล็บมือนาง 111 ขาวดอกมะลิ 105 สุพรรณบุรี 3 พิษณุโลก 2 บางแคน 1 หอมปราจีนบุรี (PCR 89151-27-9-155) บางแคน 2 ปราจีนบุรี 1 ปราจีนบุรี 2 ขาวห้าวร้อย อยุธยา 1 และ พันธุ์พื้นเมือง ได้แก่ พันธุ์ทองเอก ขาวบำรุง เขียวใหญ่ พลายงามปราจีนบุรี รอดหนี่ พานทอง เหลืองพานทอง ขาวบ้านนา สาวอุบล เหลืองระแหง ขาวหลวง เหลืองเกษตร กระทิงแดง ขาวดอกมะลิ-มะลิกกลาง ขาวพานทอง สายสมร ขาวลั่นยั้ง อีเหลืองกลาง มะลิใหญ่ เหลืองใหญ่ อิมิด ขาวปทุม และ พานเงิน

การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

นำตัวอย่างข้าวพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้ว มาวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส และปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระก่อนและหลังหุงต้ม

5.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ การเตรียมข้าวกล้องผสม

การทดลองใช้ข้าวกล้องที่มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงในกลุ่มอะมิโลสต่ำ (<20%) คือ พันธุ์หอมมะลิแดง และในกลุ่มอะมิโลสสูง (>25%) คือ พันธุ์ข 31 มาผสมกับข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในอัตราส่วน 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) บรรจุในถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาที่ 4°C เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์

-คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความยาวเมล็ด ความกว้างเมล็ด อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง ค่าสี (L^* , a^* , b^*)

-คุณภาพทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณอะมิโลส ปริมาณโปรตีน ปริมาณใยอาหาร ปริมาณสารฟีนอลิก

-คุณภาพการหุงต้ม (หุงสุกด้วยวิธีน้ำมากเกินพอ) ได้แก่ เวลาหุงสุก การดูดซับน้ำระหว่างการหุงสุก ปริมาณของแข็งในน้ำหุงต้ม ความแข็งของข้าวสุก ความหนืดน้ำแป้ง

การศึกษาอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องผสมและน้ำที่เหมาะสมสำหรับหุงสุก

นำตัวอย่างข้าวกล้องผสมในอัตราส่วนแตกต่างกันปริมาณ 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.3, 1:1.5, 1:1.7, 1:2, 1:2.5 เท่า (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ปิดปาก บีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ วางบีกเกอร์ในหม้อหุงข้าวที่เติมน้ำ 300 มิลลิลิตร หุงข้าวจนสวิชหม้อหุงข้าว ดับอัตโนมัติ ทั้งตัวอย่างข้าวไว้ในหม้อหุงข้าวอีก 20 นาที จากนั้นนำตัวอย่างออกมาทิ้งที่อุณหภูมิห้อง 45 นาที ก่อนจะวิเคราะห์ความแข็งของข้าวสุก (หุงสุกด้วยวิธีน้ำเพียงพอ) หรือรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 60°C สำหรับ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านความนุ่ม ความเหนียว และการเกาะตัว แบบ ordinal scale (1=ชอบมาก, 5=ไม่ชอบมาก) และประเมินอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับ หุงข้าวกล้องผสมที่มีอัตราส่วนการผสมแตกต่างกัน

5.3 การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

เตรียมข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพ 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าว กล้องหอมมะลิแดง และสูตรที่ 2 ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 และที่มี อัตราส่วนการผสม 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) จากนั้นนำมาหุงสุกโดยใช้ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับหุงสุก (จากการทดลองข้างต้น) และนำมาประเมินคุณภาพทาง ประสาทสัมผัส โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านสี, กลิ่น, ความนุ่ม, ความเหนียว และการเกาะตัว แบบ 9-point hedonic scale (1=ไม่ชอบมาก, 9=ชอบมาก) และคัดเลือกอัตราส่วนการผสมของข้าวกล้องผสม สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

นำข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพทั้ง 2 สูตร ที่มีอัตราส่วนการผสมที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด มาหุงสุก ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารที่ทนทานต่อการย่อย (resistant starch content) และการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกาย (ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุ ถุงที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการย่อย) และวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก (ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงที่มี คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ) โดยเปรียบเทียบกับข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวพันธุ์ขาวดอก มะลิ 105

5.4 วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพข้าว

ปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Hot air Oven (AOAC No. 925.10) โดยอบด้วยอุณหภูมิเย็บพร้อมฝาปิด ที่อุณหภูมิ 130°C ประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเดสิคเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที ชั่งน้ำหนักด้วย

และฝาดให้ได้น้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ซึ่งตัวอย่างข้าวให้ได้น้ำหนักแน่นอน ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมประมาณ 2 g เกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่ว นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Universal Oven with Blower รุ่น Memmert model ULM 700) ที่อุณหภูมิ 130°C พร้อมเปิดฝาดึงไว้เล็กน้อย นานประมาณ 4 ชั่วโมง ปิดฝาด้วยนำถ้วยออกไปไว้ในเดสิคเคเตอร์เพื่อปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงก่อนนำไปชั่งน้ำหนักแน่นอน ทำการอบซ้ำอีก 30 นาทีปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ถ้าน้ำหนักยังไม่คงที่ให้นำเข้าอบซ้ำอีกจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (ทำ 3 ซ้ำ) คำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นของตัวอย่างข้าว และปริมาณของแข็งทั้งหมด

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% โดยน้ำหนัก)} = 100(W_1 - W_2) / (W_1 - W)$$

เมื่อ W = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมพร้อม ฝาดเป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม ฝาดและตัวอย่างก่อนอบเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม ฝาดและตัวอย่างหลังอบเป็นกรัม

ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber content)

วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารในตัวอย่างข้าวด้วยวิธี AOAC (2000)

ปริมาณโปรตีน (Protein content)

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวด้วยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000) โดย preheat เตาไฟฟ้าสำหรับการย่อยประมาณ 5-10 นาที ด้วยระดับความร้อนที่ตำแหน่ง 10 (10 นาที) แล้วจึงปรับเป็นตำแหน่ง 8 ซึ่งแสดงว่าพร้อมที่จะทำการย่อยตัวอย่าง จากนั้นก็มาทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1-2 กรัม (มวลละเอียดของการชั่ง 4 ตำแหน่ง) ใส่ใน Kjeldahl flask เติมน้ำเค็มละลาย 5 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15-20 มิลลิลิตร (ในตู้ควัน) แล้วนำไปย่อยในเตาไฟฟ้า รอจนระดับความร้อนขึ้นตำแหน่ง 8 แล้วเปิดเครื่องกำจัดไอรด (scrubber) ทำการย่อยจนสังเกตจากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวใส ไม่มีตะกอนดำ แสดงว่าการย่อยเสร็จสมบูรณ์ (ประมาณ 40 นาที) ยก Flask ขึ้นมาวางบนราง รอให้ไอรดถูกกำจัดออกไปจนหมด แล้วนำ Kjeldahl flask ที่เย็นแล้วเข้าเครื่องกลั่น พร้อมกับน้ำ Flask ขนาด 500 มิลลิลิตรที่เติมอินดิเคเตอร์ไปวางเพื่อรองรับแอมโมเนียจากการกลั่นตัวอย่าง จากนั้นนำ Flask ที่ดักจับแอมโมเนียไว้ ไปไทเทรตกับกรดเกลือ (0.1 M HCl) จนได้จุดยุติชมพูเทา (หากเลยจุดยุติจะได้สีส้มชมพู) บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต แล้วคำนวณหาร้อยละของโปรตีน

$$\text{ร้อยละของไนโตรเจน} = \frac{\text{ความเข้มข้นของกรด HCl X (ปริมาตรไทเทรตตัวอย่าง - blank) X 14 X 100}}{1000 \text{ X น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \text{ร้อยละของไนโตรเจน} \times \text{conversion factor}$$

เมื่อ	1	mol	HCl	=	1 mol N	=	14	g of nitrogen
	1	M	HCl	=	1 M N (1 โมล/ลิตร)	=	14	g in 1000 ml

ปริมาณอะมิโลส (Amylose content)

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสทำตามวิธีของ Hoover and Ratnayake (2005) ซึ่งตัวอย่างข้าวที่ผ่านการบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 100 เมช น้ำหนัก 20 ± 0.1 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 90% DMSO ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) (G-560E, Scientific Industries Inc., USA) นาน 2 นาที นำไปให้ความร้อนที่ 85°C นาน 15 นาที พร้อมเขย่าเป็นครั้งคราว ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) นาน 45 นาที เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโอดีน (0.1079 กรัม โพแทสเซียมไอโอไดด์ ในน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร + 0.0315 กรัม ไอโอดีน + น้ำกลั่น 95 มิลลิลิตร เก็บที่ 4°C ในสภาวะมืด) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectronic 21⁺, Spectronic Instruments, Inc., Rochester, USA) คำนวณปริมาณอะมิโลสจากกราฟมาตรฐานของสารละลายผสมระหว่างอะมิโลสจากมันฝรั่ง (A-0512, Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA) และอะมิโลเพคตินจากข้าวโพด (S-9679, Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA) ที่ความเข้มข้นของอะมิโลส เท่ากับ 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100% (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

การสกัดสารประกอบฟีนอลิกทำ โดยชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง เติมสารละลาย 80% ethanol ปริมาตร 20 ml เขย่าเป็นเวลา 20 นาที โดยใช้เครื่อง Sonicator เซนตริฟิวซ์ เป็นเวลา 20 นาทีที่ 2500 g ได้ส่วนที่เป็นสารละลายใสและกากเก็บส่วนใสไว้ นำกากมาสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ด้วย 80% ethanol ครั้งละ 10 ml เซนตริฟิวซ์เป็นเวลา 20 นาทีที่ 2500 g นำส่วนสารละลายใสไปรวมกับส่วนแรก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml ด้วย Methanol

วิเคราะห์ total phenolic content โดยวิธี Folin-Ciocalteu method โดยเตรียมสารสกัดข้าว สารละลาย Gallic acid ที่มีความเข้มข้น 0 ppm, 40 ppm, 80 ppm, 120 ppm, 160 ppm หรือ 200 ppm มา 0.10 ml. ใส่ใน

ความสามารถต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

วิธีที่ 2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดที่ได้จากกวีเคราะห์ด้วยวิธีของ Yamasaki et al. (1994) สารสกัดข้าว หรือ สารละลาย BHT ความเข้มข้น 5 10 20 100 และ 200 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร 100 ไมโครลิตร ใส่ สารละลาย DPPH 100 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer เตรียม Blank ของสารละลายตัวอย่างโดยปิเปตสารละลายตัวอย่างของแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง และ เตรียม Control เตรียมโดยปิเปตน้ำกลั่น 100 ไมโครลิตร เติมด้วยสารละลาย DPPH 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง คำนวณหา %Inhibition โดย

$$\% \text{Inhibition} = \frac{(\text{OD}_{\text{control}} - \text{OD}_{\text{blank,control}}) - (\text{OD}_{\text{sample}} - \text{OD}_{\text{blank,sample}})}{(\text{OD}_{\text{control}} - \text{OD}_{\text{blank,control}})} \times 100$$

17

concentration) ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ปลดปล่อยอนุมูล DPPH ลง 50% รายงานค่าในรูปไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($\frac{\mu g}{ml}$)

สตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant starch)

การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย คัดแปลงจากวิธีของ Englyst et al. (1992) และ Goni et al. (1996) โดยชั่งตัวอย่างข้าว 50 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) และกั้วรัม 50 มิลลิกรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายบัฟเฟอร์ HCL-KCL (pH 1.5) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) ทำการย่อยโปรตีนในเมล็ดข้าวด้วยเอนไซม์เปปซิน (EC3.1.23.1, Sigma Chemical, USA) (อัตราส่วนระหว่างเอนไซม์ต่อสับสเตรทเป็น 1:17 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร) บ่มที่ 37°C นาน 16 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนดเติมน้ำละลายบัฟเฟอร์ โซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ (pH 6.0) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) นาน 5 นาที เติมน้ำ 5 มิลลิลิตร ของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟาอะมิเลส (A6255, Sigma, Sigma-Aldrich, Inc., Missouri, USA) และเอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดส (A9913, Sigma, Sigma-Aldrich, Inc., Missouri, USA) (เอนไซม์แอลฟาอะมิเลส 0.005 กรัม ในสารละลายบัฟเฟอร์ โซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 4.8 มิลลิลิตร และ 0.2 มิลลิลิตร ของเอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดส) บ่มที่ 37°C นาน 0-120 นาที สุ่มสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาบ่ม 20 และ 120 นาที ใส่ในหลอดเซนตริฟิวซ์ เติมน้ำละลายเอทานอล ความเข้มข้น 66% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 1500 x g นาน 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปตรวจวัดปริมาณกลูโคส ด้วยชุดทดสอบกลูโคออกซิเดส-เปอร์ออกซิเดส (GAGO-20, Sigma-Aldrich, Missouri, USA) ผลที่ได้เป็นปริมาณกลูโคสที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ นาน 20 และ 120 นาที (G_{20} และ G_{120} ตามลำดับ) นำสารละลายที่เหลือจากการสุ่มตรวจ (120 นาที) ไปแช่ในอ่างน้ำร้อน (100°C) นาน 5 นาที และแช่ในน้ำแข็ง นาน 10 นาที เติมน้ำละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 7 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สุ่มสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน และเติมเอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร บ่มที่ 37°C นาน 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนที่ 100°C ในอ่างน้ำร้อน นาน 5 นาที และแช่ในกระบอกน้ำแข็ง นาน 10 นาที ปรับปริมาตรเป็น 10-100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเพื่อเจือจาง นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 1500 x g นาน 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปตรวจวัดปริมาณกลูโคส ด้วยชุดทดสอบกลูโคออกซิเดส-เปอร์ออกซิเดส (GAGO-20, Sigma-Aldrich, Missouri, USA) ผลที่ได้เป็นค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TG) คำนวณปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (RS) ดังสมการ

$$Resistant\ starch = (TG - G_{120}) \times 0.9$$

ค่าสี (Color values)

นำตัวอย่างข้าวประเมินค่าสีในระบบ C.I.E. LAB ด้วยเครื่อง BYK Gardner GmbH รุ่น Color Guide Gloss (BYK Gardner GmbH, German) โดยวัดค่า L^* (ความสว่าง), ค่า a^* (ความเป็นสีแดง) และค่า b^* (ความเป็นสีเหลือง)

ขนาดและรูปร่างเมล็ด (Grain size and shape)

สุ่มเลือกตัวอย่างข้าวจำนวน 10 เมล็ด วัดความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวด้วยการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์หรือไมโครมิเตอร์ รายงานค่าเฉลี่ยของความยาวเมล็ด และรายงานค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเพื่อแสดงรูปร่างของเมล็ด

เวลาหุงสุก (Cooking time)

ประเมินเวลาหุงสุกด้วย Ranghino test (Juliano, 1985) โดยใส่น้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตรในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ต้มน้ำจนเดือด (อุณหภูมิ $98 \pm 1^\circ\text{C}$) จากนั้นใส่ตัวอย่างข้าว 5 กรัม และเริ่มจับเวลาที่ใช้ในการหุงสุก โดยหลังจากต้ม 10 นาที ทุกนาที สุ่มตัวอย่างข้าวจำนวน 10 เมล็ด กดทับด้วยกระจกใส นับเมล็ดที่ไม่มีไตขาวซึ่งเป็นเมล็ดที่เกิดเจลลาติไนซ์สมบูรณ์ เวลาหุงสุก (cooking time) เป็นเวลาที่ข้าว 9 ใน 10 เมล็ดเกิดเจลลาติไนซ์สมบูรณ์ หรือเกิดเจลลาติไนซ์ 90% และเวลาหุงสุกที่เหมาะสม (optimum cooking time) เป็นเวลาที่เพิ่มจากเวลาหุงสุกอีก 2 นาที

การดูดซับน้ำระหว่างการหุงสุก (Water absorption during cooking)

วิเคราะห์ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก Sabulase และคณะ (1991) โดยนำตัวอย่างข้าว 2 กรัมใส่หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดด้วยสำลี นำไปต้มใน water bath อุณหภูมิ 80°C จนข้าวเกิดเจลลาติไนซ์ 90% จากนั้นทำให้เย็นลง รินน้ำออก และคว่ำหลอดทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้น้ำไหลออกจนหมด จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังจากการหุงต้ม ค่าอัตราการดูดซับน้ำรายงานหน่วยเป็นกรัม/กรัมข้าวสาร

ปริมาณของแข็งในน้ำหุงต้ม (Total solids in cooking water)

เทน้ำที่เหลือจากการหุงสุกข้าวในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในถ้วยออลูมิเนียม จากนั้นนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อน ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ รายงานค่าเป็น กรัม/100 กรัมข้าว

ความแข็งข้าวสุก (Cooked rice hardness)

นำตัวอย่างข้าวมาหุงสุกด้วยวิธีน้ำมากเกินไป (cooking with excess water) โดยใส่น้ำปริมาณ 160 มิลลิลิตรในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ต้มน้ำจนเดือด (อุณหภูมิ $98 \pm 1^\circ\text{C}$) จากนั้นใส่ตัวอย่างข้าวกล้อง 20 กรัม หุงสุกด้วยเวลาหุงสุกที่เหมาะสม (จากการประเมินเวลาหุงสุก) จากนั้นเทน้ำออกทันที สะเด็ดน้ำจากข้าว

ตัวอย่างบนตะแกรง 2 นาที และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องอีก 45 นาที ก่อนการวิเคราะห์ความแข็งข้าวสุก หรือนำตัวอย่างข้าวมาหุงสุกด้วยวิธีน้ำเพียงพอ (cooking with adequate water) โดยแปรอัตราส่วนระหว่างข้าวและน้ำ (ตามที่ระบุในการทดลองข้างต้น)

ชั่งตัวอย่างข้าวสุก 4 กรัมนำไปทดสอบความแข็งของข้าวสุกด้วยวิธี Back Extrusion Tests ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (LLOYD Instrument model LRX 5 k, LLOYD Instrument Ltd.) ที่ใช้ compression load cell ขนาด 50 กิโลกรัม crosshead speed 50 มิลลิเมตร/นาที สำหรับ back extrusion test cell จะเป็นโลหะสแตนเลสทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15.5 มิลลิเมตร พื้นที่ตัดขวาง 1.55 ตร.ซม. และสูง 4.91 เซนติเมตร โดยหัวกดเป็นแท่งสแตนเลสที่มีหัวทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.4 มิลลิเมตร ในการวัดจะบรรจุข้าว 4 กรัมในสแตนเลสทรงกระบอกจนเต็ม จากนั้นต่อหัวกดทรงกลมกับ Load cell สั่งให้หัวกดกดลงบนตัวอย่างข้าวและหยุดที่ระยะ 1 มิลลิเมตรเหนือฐานรองของกระบอกบรรจุข้าว และยกหัวกดขึ้น จากนั้นอ่านค่าแรงสูงสุดในขณะที่ข้าวไหลล้นขึ้นมา (Extrusion force) หน่วยเป็น นิวตัน (N)

ความหนืดน้ำแป้ง (Pasting viscosity)

วิเคราะห์ความหนืดน้ำแป้งด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid ViscoAnalyser, RVA) โดยชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh เติมน้ำโดยคิดคำนวณน้ำหนักแป้งที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นคงที่ (14%) เทน้ำลงในภาชนะที่ใช้ทดสอบ แล้วจึงเทตัวอย่างลงในภาชนะที่มีน้ำอยู่แล้ว คนตัวอย่างและน้ำด้วยพายที่ใช้ติดตั้งลงในภาชนะขึ้นลง 10 ครั้ง ถ้ายังไม่ทั่วถึงก็ให้คนซ้ำ จากนั้นใส่พายลงในเครื่องให้อยู่ตรงกลาง เติมน้ำตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ เมื่อวิเคราะห์เสร็จแล้ว เครื่องจะหยุดโดยอัตโนมัติ ภาชนะออกจากเครื่อง และทำความสะอาด ผลที่อ่านได้จากการวิเคราะห์เส้นกราฟที่เครื่องบันทึกไว้ ได้แก่ (1) อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (Pasting temperature) วัดเมื่อเริ่มความหนืดที่ 2 อาร์วียู หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (2) ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) หน่วยเป็น อาร์วียู (3) เวลาที่ความหนืดสูงสุด (Peak time) หน่วยเป็นนาที (4) อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (Peak temperature) หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (5) ความคงทนต่อการกวน (Holding strength) เป็นค่าความหนืดต่ำสุดหลังจากการเกิดความหนืดสูงสุด มักเกิดในช่วงที่อุณหภูมิให้เย็นลง มีหน่วยเป็น อาร์วียู (6) เบรคดาวน์ (Breakdown) หรือช่วงความหนืดลดลง เป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดกับค่าคงทนต่อการกวน มีหน่วยเป็น อาร์วียู (7) ความหนืดสุดท้ายของการทดสอบ (Final viscosity) มีหน่วยเป็น อาร์วียู (8) ความหนืดกลับคืนจากความหนืดสูงสุด (Setback from Peak) เป็นค่าความต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น อาร์วียู

คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory quality)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างข้าวสุกด้วยผู้ชิมกึ่งฝึกฝนซึ่งเป็นนิสิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 30 คน โดยใช้การประเมิน

ความชอบแบบแบ่งสเกล 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) (1 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด, 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) โดยประเมินสี, กลิ่น, ความนุ่ม, ความเหนียว และการเกาะตัว



6. ผลการทดลอง

6.1 การศึกษาคุณภาพของข้าวพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้ว

6.1.1 ปริมาณฟีนอลิกและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้ว

ปริมาณฟีนอลิกของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณฟีนอลิกของข้าวทั้ง 36 พันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 37.46-85.25 mg GAE/100g และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าอยู่ในช่วง 58.59%-93.81% พันธุ์ข้าวที่มีปริมาณฟีนอลิกและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด 3 อันดับแรกคือ อีมีด เหลืองเกษตร และสายสมร ซึ่งทั้งหมดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง และมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เป็นพันธุ์รับรองและเป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปในตลาด สำหรับข้าวพันธุ์รับรองที่มี ปริมาณฟีนอลิกสูงสุด 3 อันดับแรก คือ สุพรรณบุรี หอมปราจีนบุรี และ อีเหลืองกลาง (ตารางที่ 6.1) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลงานวิจัยของ Sompong et al. (2011) พบว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดจากจังหวัดสระแก้วมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวกล้องพันธุ์ Bahng Gawk, Haek Yah, Niaw Look Pueng, Sung Yod Phatthalung, Niaw Dawk, Niaw Lan Tan, Niaw Dam Pleuak Khao และ Niaw Dam Pleuak Dam ที่รายงานในงานวิจัยของ Sompong et al (2011) จากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวทั้ง 36 พันธุ์ พบว่า ปริมาณฟีนอลิก มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.609 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Shen et al.(2009) ที่รายงานความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณฟีนอลิกกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องแดง 52 พันธุ์ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.777

ตารางที่ 6.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองจากจังหวัดสระแก้ว

ประเภทพันธุ์	ชื่อพันธุ์	ฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE /100g db.)	การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (%)
พันธุ์พื้นเมือง	เหลืองเกษร	85.25±2.22	93.20±0.70
พันธุ์พื้นเมือง	อีมีด	67.62±1.87	93.81±0.23
พันธุ์พื้นเมือง	สายสมร	57.20±0.99	92.20±1.00
พันธุ์พื้นเมือง	มะลิใหญ่	55.07±2.01	74.14±0.75
พันธุ์รับรอง	สุพรรณบุรี 3	54.24±2.25	73.18±2.58
พันธุ์รับรอง	หอมปราจีนบุรี	53.71±0.98	73.99±5.01
พันธุ์รับรอง	อีเหลืองกลาง	53.40±1.19	77.68±0.57
พันธุ์พื้นเมือง	ขาวปทุม	52.96±2.09	80.71±0.68
พันธุ์รับรอง	ชัยนาท 1	52.46±2.21	81.62±0.53
พันธุ์พื้นเมือง	สาวอุบล	52.30±0.79	87.88±0.15
พันธุ์พื้นเมือง	เหลืองใหญ่	51.01±1.32	70.00±1.72
พันธุ์รับรอง	บางแตน 1	50.98±1.95	82.63±1.01
พันธุ์พื้นเมือง	ขาวหลวง	50.91±0.69	75.86±2.45
พันธุ์พื้นเมือง	ขาวบ้านนา	50.67±1.56	66.41±1.44
พันธุ์รับรอง	ปราจีนบุรี 1	50.32±1.34	79.55±0.40
พันธุ์รับรอง	พิษณุโลก 2	49.94±0.91	82.17±0.32
พันธุ์รับรอง	ปทุมธานี 1	48.75±0.94	76.77±1.31
พันธุ์พื้นเมือง	เหลืองระแหง	47.49±1.19	72.47±1.43

ตารางที่ 6.1 (ต่อ) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองจากจังหวัดสระแก้ว

ประเภทพันธุ์	ชื่อพันธุ์	ฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE /100g db.)	การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (%)
พันธุ์รับรอง	ขาวดอกมะลิ 105	47.42±1.39	76.62±1.32
พันธุ์พื้นเมือง	ขาวพานทอง	46.86±0.82	67.07±0.76
พันธุ์รับรอง	ขาวล้นช้าง	46.04±0.88	75.61±0.69
พันธุ์พื้นเมือง	บางแดน 2	45.48±1.45	75.15±1.75
พันธุ์รับรอง	เล็บมือนาง 111	44.86±0.35	80.91±0.15
พันธุ์รับรอง	ปราจีนบุรี 2	43.91±0.64	68.13±1.18
พันธุ์พื้นเมือง	ขาวบำรุง	43.61±1.29	68.54±0.57
พันธุ์รับรอง	ขาวดอกมะลิ-มะลิกลาง	43.44±0.96	70.91±0.30
พันธุ์รับรอง	อยุธยา 1	43.35±2.66	58.59±0.09
พันธุ์พื้นเมือง	กระทิงแดง	42.68±1.23	63.33±0.30
พันธุ์พื้นเมือง	รอดหนี่	42.49±0.73	63.74±1.10
พันธุ์พื้นเมือง	ขาวห้าวร้อย	41.91±0.35	80.43±1.13
พันธุ์พื้นเมือง	พานเงิน	41.71±0.81	84.86±1.21
พันธุ์พื้นเมือง	เหลืองพานทอง	41.18±1.45	60.40±3.16
พันธุ์พื้นเมือง	พลาขามปราจีนบุรี	40.97±0.20	63.69±0.76
พันธุ์พื้นเมือง	พานทอง	40.73±1.66	62.53±1.52
พันธุ์พื้นเมือง	เขียวใหญ่	39.26±0.69	81.19±0.83
พันธุ์พื้นเมือง	ทองมาเอง	37.46±1.20	74.77±3.58

ปริมาณอะไมโลสมีผลต่อการเกิด retrogradation และคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสเมื่อนำข้าวหุงพบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิด retrogradation ได้ง่าย เมื่อยังร้อนอยู่ข้าวจะแห้งและนุ่ม เมื่อเย็นตัวลงข้าวจะร่วนแข็ง ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางเมื่อยังร้อนอยู่ข้าวจะแห้งและนุ่ม เมื่อเย็นตัวลงข้าวจะมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนุ่มร่วน ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำจะเกิด retrogradation ช้าเมื่อผ่านความร้อนข้าวจะแฉะและเหนียวนุ่ม (Sompong et al., 2011) ดังนั้นปริมาณอะมิโลสจึงถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกชนิดของแป้งข้าวในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำนิยมนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพองตัวได้ดี เช่น แครกเกอร์ ลูกเกด ขนมหึง ผลิตภัณฑ์อะราเร่ และ เซมเบ้ ส่วนข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสสูงนิยมนำไปทำก๋วยเตี๋ยวเนื่องจากสามารถลวกได้ง่ายไม่เหนียวและติดสายพาน หรือทำขนมจีนเพื่อให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวยืดหยุ่นไม่นิ่มเละ จากการวิจัยพบว่า ปริมาณอะมิโลสของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สามารถจัดกลุ่มตามปริมาณอะมิโลสในข้าว 36 พันธุ์ ได้เป็น 3 กลุ่ม (อรอนงค์, 2547) ดังแสดงในตารางที่ 6.2 คือ ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (< 20 %) มีทั้งหมด 7 พันธุ์ โดยพันธุ์ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ พันธุ์หอมปราจีนบุรี พันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (21-25%) มี 19 พันธุ์ พันธุ์ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดคือพันธุ์เหลืองเกษตร พันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (>25%) มี 10 พันธุ์ พันธุ์ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดคือพันธุ์อิมิด

ตารางที่ 6.2 การจำแนกข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองจากจังหวัดสระแก้วตามปริมาณอะมิโลส

กลุ่มปริมาณ อะมิโลส	ชื่อพันธุ์ข้าว		
ปริมาณอะมิโลสต่ำ (< 20 %)	หอมปราจีนบุรี(14.57) ปทุมธานี1(14.59) ทองมาเอง(17.37)	ข้าวปทุม(18.06) ข้าวดอกมะลิ105(13.92)	เหลืองใหญ่(18.85) ข้าวดอกมะลิ-มะลิกกลาง(13.49)
ปริมาณอะมิโลส ปานกลาง (21-25%)	เหลืองเกษตร(23.77) สุพรรณบุรี3(24.24) บางแตน1(24.97) พิชญ์โลก2(24.45) ข้าวล้นช้าง(20.46) อยุธยา1(24.50) เหลืองพานทอง(22.06)	สายสมร(23.91) อีเหลืองกลาง(24.39) ข้าวหลวง(23.68) เหลืองระแหง(20.94) บางแตน 2(24.48) กระทิงแดง(22.29)	มะลิใหญ่(23.15) สาวอุบล(22.32) ข้าวบ้านนา(23.22) ข้าวพานทอง(23.79) เล็บมือนาง111(21.57) ข้าวห้าร้อย(22.97)
ปริมาณอะมิโลสสูง (> 25%)	อีมีด(27.33) ปราจีนบุรี2(27.82) พานเงิน(26.02) เขียวใหญ่(28.39)	ชัยนาท1(27.40) ข้าวบำรุง(25.40) พลาญงาม-ปราจีนบุรี(25.64)	ปราจีนบุรี1(26.18) รอดหนี่(25.60) พานทอง(26.37)

หมายเหตุ: เรียงตามลำดับปริมาณฟีนอลิกจากสูงไปต่ำ (ด้านซ้ายไปขวา)
ค่าในวงเล็บคือปริมาณอะมิโลส(%)

6.1.2 ผลของการแปรรูปต่อปริมาณฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองจากจังหวัดสระแก้ว

เมื่อนำข้าวกล้อง 36 สายพันธุ์มาหุงสุก พบว่า ความร้อนทำให้ปริมาณฟีนอลิกของข้าวแต่ละพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6.3) ความร้อนจากการหุงทำให้ปริมาณฟีนอลิกลดลงหรือเพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว โดยพบว่า ทำให้ข้าว 31 พันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกลดลงในช่วง 3.94- 64.35% ในขณะที่ทำให้ข้าว 5 พันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นในช่วง 4.21-53.57% สารประกอบฟีนอลิกในข้าว อยู่ในรูปโมเลกุลเล็กไปถึงสารประกอบพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ แบ่งเป็น ฟีนอลิกอิสระ (Free and conjugated phenolics) และฟีนอลิกที่ไม่อิสระ (Bound phenolics) Massaretto et al. (2011) พบว่า ความร้อนมีผลต่อการลดลงของ Free phenolic ในข้าว และมีผลมากต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวพันธุ์ที่มีสี อย่างไรก็ตามความร้อนไม่มีผลหรือมีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและ bound phenolic ในข้าวพันธุ์ที่ไม่มีสี

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์ 36 พันธุ์ โดยรายงานในรูปแบบของ EC_{50} หรือ ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ไปลดปริมาณอนุมูล DPPH ลง 50% หน่วยเป็นในรูปมิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของสารสกัด พบว่า ค่า EC_{50} ของทั้งในข้าวกล้องและข้าวกล้องหุงสุกจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6.3) ความร้อนมีผลทำให้มีค่า EC_{50} ลดลง ในข้าว 16 สายพันธุ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นหลังจากหุงสุก ในขณะที่ความร้อนทำให้มีค่า EC_{50} ลดลงในข้าวอีก 20 สายพันธุ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งการที่ค่า EC_{50} ลดลง นั้นไม่ขึ้นกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวสุก ความร้อนอาจทำให้เกิดการ Depolymerization ของ พอลิเมอร์ของสารประกอบฟีนอลิก และส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่เปลี่ยนแปลงไป (Finnocchiaro e al., 2007; Fuleki and Ricardo De Silva, 2003)

ตารางที่ 6.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และค่า EC_{50} ของข้าวกล้องและข้าวกล้องหุงสุก พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองจากจังหวัดสระแก้ว

ชื่อพันธุ์	ฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE /100g db.)		% การ เปลี่ยนแปลง	ค่า EC_{50} (mgสารสกัด/100ml)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหุงสุก		ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหุงสุก
ปทุมธานี 1	22.85±0.63	35.09±1.13	+53.57	5711.28±947.25	1515.67±99.38
สุพรรณบุรี 3	26.88±4.77	29.70±3.62	+10.49	6665.22±351.79	1079.33±261.36
พานเงิน	26.47±1.43	28.69±2.12	+8.39	3753.73±1018.30	13724.55±5116.49
บางเตน 2	25.90±3.16	27.38±1.77	+5.71	630.44±150.24	7000.93±769.18
ขาวดอกมะลิ 105	27.08±1.77	28.22±2.55 ^a	+4.21	5459.3±63.34	547.17±269.60
สาวอุบล	35.49±2.66	34.09±4.73	-3.94	6349.32±939.09	9185.92±1429.36
กระดังงา	28.92±2.57	27.43±4.72	-5.15	4168.78±415.88	8706.19±876.82
มะลิใหญ่	30.70±1.41	28.69±4.09	-6.55	5672.17±696.86	553.27±551.21
เหลืองเกษตร	38.80±2.22	35.79±4.41	-7.76	4446.52±1071.42	127.94±6.45
เหลืองใหญ่	32.82±2.42	29.90±3.79	-8.90	6694.8±119.96	5440.25±101.59
ปราจีนบุรี 1	33.58±4.25	28.66±0.48	-14.65	6380.04±145.25	5298.7±362.72
เจียวใหญ่	33.41±3.81	28.10±3.50	-15.89	6839.76±387.73	542.67±137.24
ชัยนาท 1	33.65±3.40	28.10±3.50	-16.49	4807.02±554.86	1100.97±744.17
เหลืองระแหง	28.34±1.99	22.86±1.48	-19.34	5933.72±548.91	8813.74±924.59
พิษณุโลก 2	36.92±0.57	29.65±2.22	-19.69	2743.13±1331.13	15247.44±3787.25
รอดหน้	27.75±3.11	21.94±4.84	-20.94	3537.36±975.99	10052±569.40
อยุธยา 1	30.93±3.48	24.41±4.89	-21.08	1033.75±262.35	8491.47±1753.88
ปราจีนบุรี 2	25.78±0.36	20.04±2.59	-22.27	5911.17±213.55	8171.40±626.18
อีเหลืองกลาง	38.73±3.55	29.57±4.09	-23.65	5570.38±195.39	7985.5±390.62

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และค่า EC_{50} ของข้าวกล้องและข้าวกล้อง
หุงสุกพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์รับรองจากจังหวัดสระแก้ว

ชื่อพันธุ์	ฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE /100g db.)		% การ เปลี่ยนแปลง	ค่า EC_{50} (mgสารสกัด/100ml)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหุงสุก		ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหุงสุก
อีมีด	41.20±4.61	30.84±0.64	-25.15	6121.78±108.14	4911.95±363.66
สายสมร	32.14±3.89	24.03±3.88	-25.23	5742.17±751.99	11480.7±1507.89
ขาวบำรุง	32.91±2.70	24.34±1.35	-26.04	331.44±167.51	12592.92±3006.50
ขาวดอกมะลิ-มะลิ กลาง	30.54±1.86	22.56±1.03	-26.13	1267.83±554.71	14761.22±3177.50
ขาวปทุม	37.27±2.07	27.20±1.27	-27.02	5949.44±294.28	6225.52±1338.32
ขาวพานทอง	31.69±1.08	23.01±5.95	-27.39	348.89±67.68	6901.58±496.07
หอมปราจีนบุรี	32.75±2.57	23.22±2.05	-29.10	3679.68±690.23	7234.47±392.30
ขาวหลวง	35.10±2.08	24.41±3.93	-30.46	6028.72±932.03	4182.95±241.90
เหลืองพานทอง	34.73±3.84	24.10±1.89	-30.61	6017.59±319.81	8075.93±187.76
เล็บมือนาง 111	38.79±2.49	26.68±4.61	-31.22	1154.52±308.94	8410.53±914.40
ขาวห้าวร้อย	27.74±0.91	19.08±1.40	-31.22	6041.91±643.31	6489.73±480.61
พานทอง	39.58±0.72	24.90±4.54	-37.09	4581.47±478.06	2021.11±554.07
พลาญงาม ปราจีนบุรี	29.11±1.80	17.67±1.59	-39.30	6727.78±625.33	1616.22±127.98
ขาวบ้านนา	18.31±1.82	10.82±3.18	-40.91	6939.79±53.88	724.33±195.85
ขาวลิ้นช้าง	41.97±3.30	22.99±4.35	-45.22	954.25±144.09	8833.53±1979.77
บางแตน 1	51.92±2.05	26.31±2.19	-49.33	6187.24±840.02	1817.22±256.61
ทองมาเอง	52.73±2.72	18.80±0.98	-64.35	5404.68±652.22	1757.22±271.07

6.2 คุณสมบัติของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสม 2 สูตร ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับผู้บริโภค ได้แก่ (1) ข้าวกล้องผสมข้าวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง และ (2) ข้าวกล้องผสมข้าวดอกมะลิ 105 และกข 31 ซึ่งคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของข้าวที่นำมาผสมทั้ง 3 สายพันธุ์แสดงในตารางที่ 6.4 และ 6.5

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงในปัจจุบันจะเป็นข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง ข้าวกล้องหอมนิล และข้าวกล้องสังข์หยด สำหรับข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) เป็นข้าวเจ้าหอม ที่ไวต่อช่วงแสง เมล็ดข้าวใส แกร่ง คุณภาพการสีดี คุณภาพข้าวสุก นุ่ม และมีกลิ่นหอม จากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ พบว่า เมล็ดข้าวกล้องมีความกว้าง 0.21 cm ยาว 0.75 cm และรูปร่างเมล็ดเรียวยาว (อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง > 3.0) (ตารางที่ 6.4)

ข้าวพันธุ์หอมมะลิแดงเป็นข้าวเจ้าที่กลายพันธุ์จากข้าวดอกมะลิ 105 โดยธรรมชาติ ไวต่อช่วงแสง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงเข้ม ข้าวหุงสุกนุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอมเหมือนข้าวดอกมะลิ 105 เมล็ดข้าวกล้องมีลักษณะใกล้เคียงข้าวดอกมะลิ 105 มีความกว้าง 0.18 cm ยาว 0.73 cm แต่รูปร่างเมล็ดเรียวกว่า อย่างไรก็ตาม ข้าวกล้องหอมมะลิแดงมีรูปร่างเมล็ดไม่สม่ำเสมอ (ตารางที่ 6.4)

ข้าวพันธุ์ กข 31 (หรือพันธุ์ปทุมธานี 80) เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ข้าวหุงสุกค่อนข้างแข็ง ไม่มีกลิ่นหอม เมล็ดข้าวกล้อง มีความกว้าง 0.21 cm ยาว 0.74 cm รูปร่างเมล็ดเรียวยาว (ตารางที่ 6.1)

ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ ตรงกับที่รวบรวมโดยกรมการข้าว (2554) ซึ่งรายงานขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา สำหรับข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 เป็น $0.21 \times 0.75 \times 0.18$ cm ข้าวกล้องหอมมะลิแดง เป็น $0.21 \times 0.75 \times 0.17$ cm และข้าวกล้อง กข 31 $0.21 \times 0.74 \times 0.18$ cm

ตารางที่ 6.4 ขนาดและรูปร่างเมล็ดของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสมและเปรียบเทียบกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

คุณลักษณะทางกายภาพ	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง		
	ขาวดอกมะลิ 105	ขาวดอกมะลิ 105	หอมมะลิแดง	กข 31
ความกว้าง (cm)	0.21a±0.01	0.21a±0.01	0.18b±0.05	0.21a±0.02
ความยาว (cm)	0.71c*±0.04	0.75a±0.03	0.73b±0.03	0.74ab±0.03
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	3.39b±0.25	3.51b±0.22	4.41a±1.29	3.62b±0.32

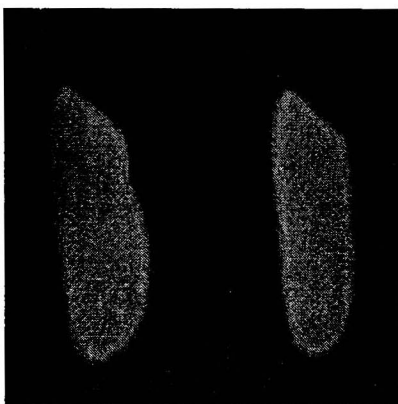
*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้องกข31 เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดไม่แตกต่างกัน แต่ข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ มีสีของชั้นรำที่แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยเฉพาะข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดงมีค่าสีแตกต่างจากข้าวกล้องพันธุ์อื่นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 6.5) สีของชั้นรำขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ระดับของการจัดสี ชนิดและปริมาณ Phytochemical ที่เป็นส่วนประกอบ เป็นต้น โดยทั่วไปชั้นรำที่มีสีแดง มักเกิดจากการมีสารแอนโทไซยานิน (Antocyanin) ในปริมาณสูง ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (ดำเนิน และคณะ, 2543) สีของชั้นรำไม่เพียงแต่บ่งบอกคุณสมบัติของข้าวที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเท่านั้น แต่ยังถูกนำมาใช้ในการแบ่งชั้นคุณภาพข้าว เนื่องจากมีผลกระทบต่อสีของข้าวสุก โดยข้าวกล้องที่นิยมบริโภค คือ ข้าวที่มีชั้นรำสีเหลืองนวล หรือสีน้ำตาลอ่อน (เครือวัลย์, 2536; อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

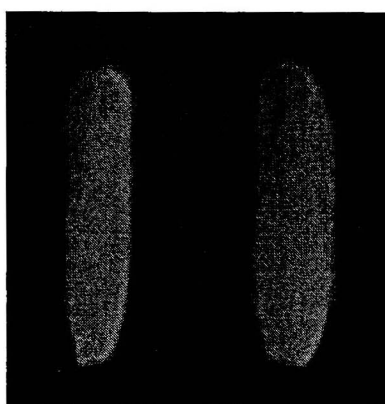
ตารางที่ 6.5 ค่าสีของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสมและเปรียบเทียบกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ค่าสี	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง		
	ขาวดอกมะลิ 105	ขาวดอกมะลิ 105	หอมมะลิแดง	กข 31
L*	66.55a*±0.51	61.67b±0.50	40.86c±0.66	61.69b±0.94
a*	0.36c±0.32	4.16b±0.25	10.10a±1.06	3.97b±0.03
b*	7.18d±0.38	16.05a±0.85	10.45c±0.79	14.30b±0.20

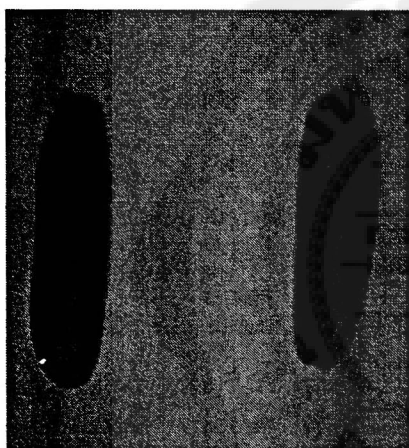
*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



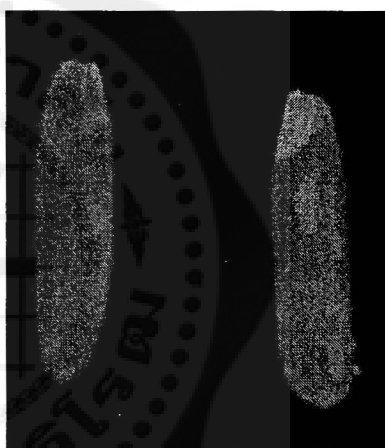
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6.1 ภาพเมล็ดข้าว (ก) เมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ข) เมล็ดข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105
(ค) เมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดง และ (ง) เมล็ดข้าวกล้อง กข 31

สำหรับคุณสมบัติทางเคมีข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความชื้นอยู่ในช่วง 13-14% และมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 7.29-8.11% ซึ่งปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องขาวดอกมะลิใกล้เคียงกับที่รายงานโดยกรมการข้าว (2554) ซึ่งรายงานปริมาณโปรตีน เท่ากับ 7.16%

ข้าวกล้องขาวดอกมะลิแดงและข้าวกล้องหอมมะลิแดง จัดเป็นข้าวในกลุ่มอะมิโลสต่ำ (10-19%) ในขณะที่ข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 จัดเป็นข้าวในกลุ่มอะมิโลสปานกลาง (20-25%) และค่อนข้างสูง (ตารางที่ 6.6) อย่างไรก็ตามปริมาณอะมิโลสจะแตกต่างจากที่รวบรวมโดยกรมการข้าว (2554) เนื่องจากค่าที่กรมการข้าวรายงานค่าของข้าวสาร ดังต่อไปนี้

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอะมิโลส 12-17% ค่าการสลายตัวในด่าง 7.0 หรือมีอุณหภูมิเจลาตินในระดับต่ำ

ข้าวพันธุ์หอมมะลิแดง มีปริมาณอะมิโลส 16.9% ค่าการสลายตัวในด่าง 7.0 หรือมีอุณหภูมิเจลาตินในระดับต่ำ

ข้าวพันธุ์ กข 31 มีปริมาณอะมิโลส 27.3-29.8% มีอุณหภูมิเจลาตินในระดับปานกลาง

ตารางที่ 6.6 คุณสมบัติทางเคมีของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสมและเปรียบเทียบกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

องค์ประกอบทางเคมี	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง		
	ขาวดอกมะลิ 105	ขาวดอกมะลิ 105	หอมมะลิแดง	กข 31
ความชื้น (%)	13.95a $\pm$ 0.53	13.92a $\pm$ 0.17	13.27b $\pm$ 0.24	13.43ab $\pm$ 0.08
โปรตีน (% db) (Nx6.25)	6.75c $\pm$ 0.15	8.11a $\pm$ 0.05	7.29b $\pm$ 0.33	7.97a $\pm$ 0.02
อะมิโลส (% w/w)	-	12.31b $\pm$ 0.77	13.08b $\pm$ 0.77	23.85a $\pm$ 1.09

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ความหนืดน้ำแป้งของข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์มีความแตกต่างกัน ดังนี้ (ตารางที่ 6.7)

ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity, PV): PV คือ ค่าความหนืดที่สูงที่สุดในระหว่างการให้ความร้อนแก่ starch paste โดย PV ของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ > หอมมะลิแดง > กข 31 ($p < 0.05$)

ความหนืดต่ำสุดขณะทำให้เย็น (Trough, TR): TR คือ ความหนืดต่ำที่สุดในระหว่างการทำให้เย็น โดย TR ของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ มากกว่าข้าวกล้องหอมมะลิแดงและ กข 31 ($p < 0.05$)

ค่า Breakdown (BD): BD คือ การลดลงของความหนืดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อน ($BD = PV - TR$) ซึ่งค่า BD จะแสดงความยากง่ายของการแตกตัวของเม็ดสตาร์ชที่พองตัวในระหว่างการหุงสุก

(Bhattacharya และ Sowbhagya, 1979) โดย BD ของข้าวกล้อง กข 31 < ข้าวดอกมะลิ < หอมมะลิแดง ($p < 0.05$) ข้าวกล้อง กข 31 ที่มี BD น้อย จะมีสสารที่คงทนต่ออุณหภูมิในระหว่างการหุงสุก เม็ดสสารไม่แตกง่าย

ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, FV): FV คือ ความหนืดสุดท้ายของกระบวนการให้ความร้อน และทำให้เย็น โดย FV ของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ > กข 31 > หอมมะลิแดง ($p < 0.05$)

ค่า Consistency (CS): CS คือ การเพิ่มขึ้นของความหนืดเมื่อสิ้นสุดการทำให้เย็น ($CS = FV - TR$) ซึ่งค่า CS แสดงถึงความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน หรือ การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) โดย CS ของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ > กข 31 > หอมมะลิแดง ($p < 0.05$)

ค่า Setback (SB): SB คือ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความหนืดเมื่ออ้างอิงกับความหนืดสูงสุด ($SB = FV - PV$) ซึ่ง SB แสดงถึงความเป็นเจลแข็งหรืออ่อน โดย SB ของข้าวกล้อง กข 31 > ข้าวดอกมะลิ > หอมมะลิแดง ($p < 0.05$)

ความแข็งของข้าวกล้อง กข 31 หุงสุก > ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ และข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุก ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6.8) ทั้งนี้ความแข็งของข้าวหุงสุกแปรผันตามค่า SB เมื่อวิเคราะห์ความหนืดน้ำแป้ง แสดงว่าข้าวกล้อง กข 31 ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูงเมื่อผ่านการหุงสุก (กระบวนการให้ความร้อนจนเม็ดสสารเกิดเจลาติไนซ์) และทำให้เย็นตัวลง (cooling) จะให้เจลแข็ง หรือให้ลักษณะข้าวกล้องหุงสุกที่มีลักษณะร่วนแข็ง นอกจากนี้ระหว่างการเย็นตัวลง อะมิโลสและอะมิโลเพกตินจะเกิดการเรียงตัวใหม่ หรือ การเกิดรีโทรเกรเดชัน ที่ส่งผลให้เนื้อสัมผัสแห้งและแข็ง

ตารางที่ 6.7 ความหนืดน้ำแป้งของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสม

Pasting properties**	ข้าวกล้อง		
	ขาวดอกมะลิ 105	หอมมะลิแดง	กข 31
Peak Viscosity (cp)	2040.3a $\pm$ 12.5	1869.3b $\pm$ 41.9	1426.3c $\pm$ 25.1
Trough (cp)	1440.7a $\pm$ 16.0	1203.7b $\pm$ 27	1194.0b $\pm$ 20.1
Breakdown (cp)	599.7b $\pm$ 7.1	665.7a $\pm$ 15.7	232.3c $\pm$ 14.2
Final viscosity (cp)	3284.7a $\pm$ 8.0	2463.7c $\pm$ 49.3	2832.3b $\pm$ 71.6
Consistency (cp)	1844.0a $\pm$ 21.0	1260.0c $\pm$ 22.6	1638.3b $\pm$ 84.7
Setback (cp)	1244.3b $\pm$ 15.2	594.3c $\pm$ 9.1	1406.0a $\pm$ 76.2
Pasting temperature (°C)	88.1a $\pm$ 0.4	84.9b $\pm$ 0.5	87.0a $\pm$ 0.8

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** Peak viscosity (PV), Trough (TR), Breakdown (BD) = PV-TR, Final viscosity (FV), Consistency (CS) = FV-TR, Setback (SB) = FV-PV, Pasting temperature (PT)

ตารางที่ 6.8 เนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุก 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสม

คุณภาพการหุงและ บริโภค	ข้าวกล้อง		
	ขาวดอกมะลิ 105	หอมมะลิแดง	กข 31
Hardness (N)	17.31b $\pm$ 3.38	12.48b $\pm$ 1.02	23.36a $\pm$ 2.79
Stickiness (J)	0.22b $\pm$ 0.03	0.16c $\pm$ 0.02	0.31a $\pm$ 0.04

6.2 คุณภาพการหุงและการบริโภคของข้าวกล้องผสม

งานวิจัยมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดง (ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงที่มีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระ) และ สูตรที่ 2 ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 (ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการย่อย) และโดยเมื่อผสมข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับ ข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับ ข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 ในอัตราส่วน 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 (w/w) จากนั้นมาตรวจวิเคราะห์ความหนืดน้ำแป้ง และนำข้าวกล้องผสมมาหุงสุก (หุงสุกด้วยวิธีนึ่งมากเกินพอ) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพการหุงและการบริโภค (ตารางที่ 6.9-6.12)

สำหรับข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง เมื่อผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงในสัดส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาการหุงสุกนานขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่อัตราการดูดซับน้ำ และความแข็งข้าวสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบผลของการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงต่อปริมาณของแข็งสูญเสียในน้ำหุงต้ม ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้การผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดง ซึ่งแม้จะมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ต่ำกว่าข้าวกล้องขาวดอกมะลิ แต่ระยะเวลาในการหุงสุกเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากข้าวกล้องดูดซับน้ำระหว่างการหุงต้มลดลงจากความแตกต่างของชั้นรำ และการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกอ่อนนุ่มลง ถ้าหุงแบบปริมาณน้ำมากเกินพอ ด้วยระยะเวลาจนข้าวหุงสุก (ตารางที่ 6.9)

เมื่อพิจารณาความหนืดน้ำแป้ง (ตารางที่ 6.10) พบว่าการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีค่าความหนืดน้ำแป้งต่ำกว่าข้าวกล้องขาวดอกมะลิ ทำให้ค่าความหนืดของข้าวกล้องผสมที่มีสัดส่วนข้าวกล้องหอมมะลิแดงมากขึ้น มีค่า PV, TR, FV, CS และ SB ลดลง ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีเจลอ่อนและเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยในข้าวกล้องขาวดอกมะลิที่มีเจลอ่อนแต่เกิดรีโทรเกรเดชันมากกว่า ทำให้เนื้อสัมผัสโดยรวมของข้าวกล้องผสมหุงสุกนุ่มลง นอกจากนี้แต่ไม่พบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่า BD ซึ่งสอดคล้องกับการไม่เปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งสูญเสียในน้ำหุงต้ม

สำหรับข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31 เมื่อผสมข้าวกล้อง กข 31 ในสัดส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาการหุงสุกนานขึ้นอย่างมาก ความแข็งของข้าวสุกเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อัตราการดูดซับน้ำ ปริมาณของแข็งสูญเสียในน้ำหุงต้มลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6.11) ทั้งนี้การผสมข้าวกล้อง กข 31 ซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงและมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ระดับสูง ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการหุงและการบริโภคเป็นอย่างมาก โดยทำให้ใช้ระยะเวลาในการหุงสุกนานขึ้น ข้าวกล้องดูดซับน้ำระหว่างการหุงต้มลดลงทำให้ความแข็งของข้าวกล้องหุงสุกเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เนื่องจากปริมาณอะมิโลสมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของโครงสร้างอะมิโลสภายหลังการหุงสุกและเย็นตัวลง ทำให้ความแข็งของ

ข้าวสุกเพิ่มขึ้น โดย Sing และคณะ (2005) ยืนยันว่าค่าความแข็งของข้าวสุกแปรผันโดยตรงกับปริมาณอะมิโลสของข้าว

เมื่อพิจารณาความหนืดน้ำแป้ง (ตารางที่ 6.12) พบว่าการผสมข้าวกล้อง กข 31 ซึ่งมีค่า BD น้อยกว่าข้าวกล้องพันธุ์อื่น ทำให้ข้าวกล้องผสมมีค่า BD น้อยลง ($p < 0.05$) หรือการแตกของเมล็ดสตาร์ชที่พองตัวลดลงในระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของแป้งสูญเสียในน้ำหุงต้ม และอัตราส่วนการผสม ตั้งแต่ 70:30 ขึ้นไป ทำให้ค่า SB เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการผสมข้าวกล้อง กข 31 ที่มีเจลแข็งและเกดรีโทเรกเดชันได้ดี ทำให้เนื้อสัมผัสโดยรวมของข้าวกล้องผสมหุงสุกแข็ง



ตารางที่ 6.9 คุณภาพการหุงและการบริโภคของข้าวกล้องผสมข้าวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง

คุณภาพการหุงและการบริโภค	อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 : ข้าวกล้องหอมมะลิแดง				
	100:0	70:30	50:50	30:70	0:100
Cooking time (min)	31.22c*±1.57	32.00c±0.00	33.33bc±1.15	36.00a±0.00	34.78ab±2.17
Water absorption (g/g)	2.56a±0.06	2.55a±0.12	2.51ab±0.02	2.37b± 0.08	2.16c± 0.12
Solid loss (g/100g)	0.90a±0.04	0.85a±0.02	0.85a±0.07	0.78a±0.08	0.78a±0.09
Hardness (N)	17.31a±3.38	14.40ab±0.96	13.60b±0.56	13.90ab±1.63	12.48b±1.02
Stickiness (J)	0.22a±0.03	0.17b±0.01	0.16b±0.01	0.16b±0.01	0.16b±0.02

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 6.10 ความหนืดน้ำแป้งของข้าวกล้องผสมข้าวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง

Pasting properties**	อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 : ข้าวกล้องหอมมะลิแดง				
	100:0	70:30	50:50	30:70	0:100
Peak Viscosity (cp)	2040.3a±12.5	2027.3a±51.0	1645.7c±49.7	1568.0d±31.1	1869.3b±41.9
Trough (cp)	1440.7a±16.0	1397.3a±38.8	1183.3b±23.3	1107.7c±7.6	1203.7b±26.7
Breakdown (cp)	599.7b±7.1	630.0ab±13.1	462.3c±26.6	460.3c±28.0	665.7a±15.7
Final viscosity (cp)	3284.7a±8.0	3100.7b±37.7	2656.3c±34.4	2387.3e±40.5	2463.7d±49.3
Consistency (cp)	1844.0a±21.0	1703.3b±4.5	1473.0c±11.5	1279.7d±44.0	1260.0d±22.6
Setback (cp)	1244.3a±15.2	1073.3b±16.4	1010.7c±17.2	819.3d±33.2	594.3e±9.1
Pasting temperature (°C)	88.1a±0.4	87.3ab±0.4	87.0b±0.0	87.0b±0.8	84.9c±0.5

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** Peak viscosity (PV), Trough (TR), Breakdown (BD) = PV-TR, Final viscosity (FV), Consistency (CS) = FV-TR, Setback (SB) = FV-PV, Pasting temperature (PT)

ตารางที่ 6.11 คุณภาพการหุงและการบริโภคของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และ กข 31

คุณภาพการหุงและการบริโภค	อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 : ข้าวกล้อง กข 31				
	100:0	70:30	50:50	30:70	0:100
Cooking time (min)	31.22d*±1.57	37.33c±1.15	45.33b±3.06	49.33a±1.15	52.22a±1.39
Water absorption (g/g)	2.56a±0.06	2.30b±0.18	2.00c±0.25	1.70d±0.07	1.45d±0.05
Solid loss (g/100g)	0.90a±0.04	0.86ab±0.05	0.81abc±0.10	0.76bc±0.09	0.72c±0.03
Hardness (N)	17.31b±3.38	18.73b±0.84	21.68ab±2.17	19.43ab±1.12	23.36a±2.79
Stickiness (J)	0.22c±0.03	0.24bc±0.02	0.28ab±0.03	0.28ab±0.02	0.31a±0.04

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 6.12 ความหนืดน้ำแป้งของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และ กข 31

Pasting properties**	อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 : ข้าวกล้อง กข 31				
	100:0	70:30	50:50	30:70	0:100
Peak Viscosity (cp)	2040.3a±12.5	1658.3b±10.1	1599.7c±14.2	1423.7d±8.7	1426.3d±25.1
Trough (cp)	1440.7a±16.0	1242.3b±19.0	1238.7b±15.9	1148.0d±5.0	1194.0c±20.1
Breakdown (cp)	599.7a±7.1	416.0b±11.3	361.0c±1.7	275.7d±4.0	232.3e±14.2
Final viscosity (cp)	3284.7a±8.0	3120.0b±17.1	3111.7b±24.0	2823.3c±19.4	2832.3c±71.6
Consistency (cp)	1844.0a±21.0	1877.7a±2.31	1873.0a±20.3	1675.3b±23.1	1638.3b±84.7
Setback (cp)	1244.3c±15.2	1461.7ab±10.2	1512.0a±20.1	1399.7b±24.8	1406.0b±76.2
Pasting temperature (°C)	88.1a±0.4	87.5ab±0.4	87.6ab±0.5	87.8ab±0.1	87.0b±0.8

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

** Peak viscosity (PV), Trough (TR), Breakdown (BD) = PV-TR, Final viscosity (FV), Consistency (CS) = FV-TR, Setback (SB) = FV-PV, Pasting temperature (PT)

6.3 อัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องผสมต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับหุงสุก

การหุงข้าวในครัวเรือนจะเป็นการหุงสุกแบบจำกัดปริมาณน้ำ ซึ่งอัตราส่วนข้าวต่อน้ำจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ดังนั้นงานวิจัยจึงนำข้าวกล้องผสมทั้ง 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง และ สูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกะข 31 ที่ผสมในอัตราส่วน 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) มาหุงสุกแบบจำกัดปริมาณน้ำ (หุงในหม้อหุงข้าว) ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เป็น 1:1.3, 1:1.5, 1:1.7, 1:2.0 และ 1:2.5 จากนั้นนำมาตรวจสอบความแข็งของข้าวสุก และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านความนุ่มและความเหนียว เพื่อประเมินอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวกล้องผสมแต่ละอัตราส่วน

6.3.1 ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง

ความแข็งของข้าวหุงสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับข้าวกล้องผสมทุกสัดส่วนการผสม เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น และการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงทำให้ความแข็งของข้าวหุงสุกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ น้อย แต่เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น ถึง 1:2.5 ความแข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้นไม่มากนัก (14.20-17.43 N) (ตารางที่ 6.13)

ความเหนียวของข้าวหุงสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับข้าวกล้องผสมทุกสัดส่วนการผสม เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น (ตารางที่ 6.14)

สำหรับผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความนุ่ม ความเหนียว และการเกาะตัวของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง อัตราส่วนผสม 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 มากที่สุด เมื่อหุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น 1:1.7, 1:1.7, 1:1.7, 1:2.0 และ 1:1.7 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนข้าว:น้ำ ประมาณ 1:1.7 และ 1:2.0 จะเหมาะสมสำหรับการหุงข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง (ตารางที่ 6.15)

ตารางที่ 6.13 ความแข็งแรงของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดงหุงสุก

อัตราส่วน ข้าวกล้องผสม	ความแข็งแรงข้าวสุก (N)				
	อัตราส่วนข้าว:น้ำ				
	1:1.3	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.5
100:0	51.59a*±5.74	39.14b±8.06	31.32b±3.46	22.59c±0.76	14.20c±0.67
70:30	54.86a±9.34	44.84b±4.80	32.09c±2.65	25.49c±2.78	15.00d±0.88
50:50	70.48a±2.51	51.43b±1.66	40.65c±3.82	27.73d±1.99	16.12e±0.45
30:70	69.43a±15.63	56.19ab±10.88	40.77bc±1.58	30.62cd±2.46	15.46d±0.87
0:100	71.73a±5.50	55.08b±2.65	44.80c±2.84	29.33d±0.94	17.43e±0.48

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 6.14 ความเหนียวของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดงหุงสุก

อัตราส่วน ข้าวกล้องผสม	ความเหนียวข้าวสุก (J)				
	อัตราส่วนข้าว:น้ำ				
	1:1.3	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.5
100:0	0.61a*±0.23	0.54a±0.08	0.44ab±0.03	0.32bc±0.02	0.21c±0.02
70:30	0.64a±0.21	0.54ab±0.17	0.40abc±0.12	0.32bc±0.08	0.19c±0.04
50:50	1.00a±0.05	0.70b±0.05	0.59c±0.04	0.40d±0.04	0.23e±0.01
30:70	0.93a±0.18	0.77ab±0.13	0.59bc±0.08	0.42cd±0.02	0.24d±0.02
0:100	1.05a±0.09	0.78b±0.05	0.62c±0.06	0.45d±0.03	0.27e±0.01

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 6.15 การยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดงทุ่งสุก

คุณสมบัติ	อัตราส่วนข้าวกล้องผสม	คะแนนความชอบ**				
		อัตราส่วนข้าว:น้ำ				
		1:1.3	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.5
ความนุ่ม	100:0	3.44a*±1.76	3.24ab±1.23	2.96ab±0.98	2.44b±1.36	3.20ab±1.63
	70:30	2.96a±1.43	3.08a±1.19	2.12b±1.09	3.16a±1.52	3.68a±1.46
	50:50	4.00a±1.38	2.72b±1.17	2.80b±1.29	2.36b±1.25	3.12b±1.51
	30:70	3.32a±1.46	3.12a±1.45	2.84a±1.25	2.52a±1.29	3.20a±1.58
	0:100	3.72a±1.62	2.64b±1.11	2.64b±1.22	2.80b±1.32	3.20ab±1.56
ความเหนียว	100:0	3.56a±1.53	2.96abc±1.14	2.40c±1.38	2.68bc±1.15	3.36ab±1.63
	70:30	3.20ab±1.50	3.40a±1.12	2.44b±1.16	2.84ab±1.46	3.12ab±1.69
	50:50	3.48a±1.45	2.64a±1.35	2.88a±1.20	2.84a±1.28	3.16a±1.72
	30:70	3.04a±1.49	3.04a±1.21	3.28a±1.43	2.84a±1.55	2.72a±1.51
	0:100	3.32a±1.63	3.00ab±1.26	2.88ab±1.01	2.28b±1.34	3.32a±1.60
การเกาะตัว	100:0	2.72a±1.70	2.76a±1.27	2.92a±1.15	3.04a±1.17	3.56a±1.66
	70:30	3.16ab±1.46	2.72ab±1.21	2.36b±1.32	3.40a±1.32	3.36a±1.58
	50:50	3.16abc±1.37	2.56bc±1.23	2.40c±1.29	3.32ab±1.35	3.56a±1.58
	30:70	3.32a±1.52	2.96a±1.37	2.88a±1.36	2.80a±1.26	2.92a±1.58
	0:100	3.28a±1.65	2.60a±1.41	3.16a±1.14	3.08a±1.22	2.88a±1.62

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

** คะแนน 1 = ชอบมาก ถึง คะแนน 5 = ไม่ชอบมาก

6.3.2 ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31

ความแข็งของข้าวกล้องหุงสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับข้าวกล้องผสมทุกสัดส่วนการผสม เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น และการผสมข้าวกล้อง กข 31 ทำให้ความแข็งของข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะเมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ น้อย แต่เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของความแข็งของข้าวสุกลดลง (ตารางที่ 6.16)

ความเหนียวของข้าวกล้องหุงสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6.14) สำหรับข้าวกล้องผสมทุกสัดส่วนการผสม เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น (ตารางที่ 6.17)

สำหรับการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความนุ่ม ความเหนียว และการเกาะตัวของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31 อัตราส่วนผสม 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 มากที่สุด เมื่อหุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น 1:1.7, 1:1.7, 1:2.0, 1:2.0 และ 1:2.0 ตามลำดับ แม้ว่าข้าวกล้องผสม 30:70 และ 0:100 ที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น 1:2.5 จะได้รับการยอมรับมากกว่า 1:2.0 แต่เมล็ดข้าวที่หุงด้วยปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้เมล็ดข้าวแตก ซึ่งอาจทำให้เกิดการไม่ยอมรับด้านลักษณะปรากฏ ทั้งนี้จะสังเกตว่าเมื่อผสมข้าวกล้อง กข 31 ในอัตราส่วนน้อย (100:0 ถึง 70:30) จะใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น 1:1.7 แต่หากผสมข้าวกล้อง กข 31 ในอัตราส่วนที่มาก (50:50 ถึง 100:0) ควรใช้สัดส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น (ตารางที่ 6.18) แสดงว่าสามารถปรับให้ข้าวกล้องหุงสุกนุ่มลงด้วยการปรับอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและทำให้ผู้บริโภคยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 6.16 ความแข็งแรงของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกะข 31 หุงสุก

อัตราส่วน ข้าวกล้องผสม	ความแข็งแรงข้าวสุก (N)				
	อัตราส่วนข้าว:น้ำ				
	1:1.3	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.5
100:0	51.59a*±5.74	39.14b±8.06	31.32b±3.46	22.59c±0.76	14.20c±0.67
70:30	55.27a±5.00	44.85b±5.45	35.90c±3.10	26.56d±1.52	16.86e±1.05
50:50	66.74a±12.25	54.82ab±4.18	43.06bc±7.42	31.24cd±3.56	19.69d±2.08
30:70	57.75a±10.61	46.05ab±8.18	35.14bc±7.86	23.53c±6.54	21.06c±1.92
0:100	84.64a±8.41	67.68b±5.79	50.92c±6.25	36.67d±0.96	22.50e±2.90

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 6.17 ความเหนียวของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกะข 31 หุงสุก

อัตราส่วน ข้าวกล้องผสม	ความเหนียวข้าวสุก (J)				
	อัตราส่วนข้าว:น้ำ				
	1:1.3	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.5
100:0	0.61a±0.23	0.54a±0.08	0.44ab±0.03	0.32bc±0.02	0.21c±0.02
70:30	0.67a±0.09	0.55ab±0.13	0.48bc±0.06	0.36cd±0.02	0.24d±0.02
50:50	0.83a±0.09	0.73a±0.04	0.54b±0.07	0.43c±0.03	0.28d±0.03
30:70	0.79a±0.15	0.60abc±0.08	0.46bc±0.07	0.33c±0.09	0.66ab±0.31
0:100	0.87a±0.20	0.55b±0.06	0.43bc±0.03	0.32cd±0.02	0.21d±0.03

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 6.18 การยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกะข 31 หุงสุก

คุณสมบัติ	อัตราส่วน ข้าวกล้องผสม	คะแนนความชอบ**				
		อัตราส่วนข้าว:น้ำ				
		1:1.3	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.5
ความนุ่ม	100:0	3.44a*±1.76	3.24ab±1.23	2.96ab±0.98	2.44b±1.36	3.20ab±1.63
	70:30	3.56a±1.58	3.08ab±1.08	2.64b±1.32	2.76ab±1.39	3.00ab±1.44
	50:50	4.60a±0.50	3.80b±1.50	2.40c±0.82	1.80d±0.76	2.40c±1.04
	30:70	4.32a±1.07	3.68b±1.22	2.80c±0.87	2.24cd±1.30	1.96d±1.14
	0:100	3.64a±1.50	3.72a±1.24	3.12ab±1.20	2.56bc±0.87	1.96c±1.46
ความเหนียว	100:0	3.56a±1.53	2.96abc±1.14	2.40c±1.38	2.68bc±1.15	3.36ab±1.63
	70:30	3.40a±1.47	3.24a±1.27	2.64a±1.35	2.88a±1.24	3.00a±1.44
	50:50	3.40ab±1.66	3.80a±1.50	3.00b±1.44	2.00c±0.65	2.80b±1.00
	30:70	3.68a±1.57	3.52a±0.96	3.24a±1.30	2.40b±1.32	2.16b±1.28
	0:100	3.56a±1.42	3.60a±1.32	3.04a±1.24	2.92a±1.12	1.88b±1.36
การเกาะตัว	100:0	2.72a±1.70	2.76a±1.27	2.92a±1.15	3.04a±1.17	3.56a±1.66
	70:30	3.72a±1.34	3.12ab±1.24	2.84b±1.34	2.80b±1.50	3.00ab±1.44
	50:50	1.80c±1.00	2.40b±1.38	2.20bc±0.41	4.20a±0.76	4.40a±0.82
	30:70	3.36a±1.68	3.24a±1.09	2.68a±0.90	2.64a±1.47	3.08a±1.73
	0:100	3.60a±1.32	3.60a±1.26	3.08ab±1.22	2.48bc±1.30	2.24c±1.51

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

** คะแนน 1 = ชอบมาก ถึง คะแนน 5 = ไม่ชอบมาก

6.4 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ จะเตรียมข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพ 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดง และสูตรที่ 2 ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 ที่มีอัตราส่วนการผสม 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) จากนั้นนำมาหุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับหุงสุก (จากการทดลองข้างต้น) และนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านสี, กลิ่น, ความนุ่ม ความเหนียว และการเกาะตัว เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนการผสมของข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

ผู้บริโภคให้การยอมรับข้าวกล้องผสมหุงสุกสูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างขาวดอกมะลิ 105 กับ หอมมะลิแดง อัตราส่วนการผสม 70:30 (หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:1.7) โดยมีความชอบด้านความนุ่มและความเหนียวมากที่สุด ทั้งนี้การเพิ่มอัตราส่วนข้าวกล้องหอมมะลิแดง ไม่ทำให้คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวกล้องผสมหุงสุกแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่ผู้บริโภคมีแนวโน้มให้คะแนนการยอมรับด้านความเหนียวลดลงเมื่ออัตราส่วนข้าวกล้องหอมมะลิแดงมากขึ้น (ตารางที่ 6.19)

ผู้บริโภคให้การยอมรับข้าวกล้องผสมหุงสุกสูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมระหว่างขาวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 อัตราส่วนการผสม 50:50 (หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2.0) โดยมีความชอบด้านความนุ่มและความเหนียวมากที่สุด และไม่แตกต่างจากข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามผู้ชิมให้คะแนนการยอมรับทุกด้านต่อข้าวกล้องผสมหุงสุกลดลง ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผสมข้าวกล้อง กข 31 (ตารางที่ 6.19)

ตารางที่ 6.19 การยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องผสมที่หุงด้วยอัตราส่วนข้าว: น้ำ ที่เหมาะสม

ข้าวกล้องผสม	คะแนนความชอบ**				
	สี	กลิ่น	ความนุ่ม	ความเหนียว	การเกาะตัว
ข้าวดอกมะลิ 105 : หอมมะลิแดง					
100:0	6.60a±1.85	6.24a±1.13	7.04b±1.17	6.44a±1.26	6.20a±1.78
70:30	5.60a±1.78	5.64a±1.73	5.88a±1.72	5.96a±1.90	6.08a±1.63
50:50	5.88a±1.54	5.52a±1.39	5.80a±1.71	5.96a±1.62	6.16a±1.38
30:70	6.52a±1.58	5.52a±1.81	5.88a±2.19	5.64a±2.10	6.28a±1.77
0:100	5.84a±2.39	5.64a±1.47	5.64a±1.60	5.44a±1.87	5.84a±1.65
ข้าวดอกมะลิ 105 : กข31					
100:0	6.60a±1.85	6.24a±1.13	7.04a±1.17	6.44a±1.26	6.20a±1.78
70:30	6.40a±1.61	5.48ab±1.23	6.24ab±1.43	5.68a±1.35	6.16a±1.34
50:50	6.24a±1.45	5.80ab±1.38	6.24ab±1.62	6.00a±1.41	5.68ab±1.31
30:70	6.12a±1.67	5.24b±1.30	5.88b±1.33	5.72a±1.37	5.56ab±1.00
0:100	5.60a±1.89	5.16b±1.55	5.36b±1.87	4.80b±1.53	4.92b±1.44

*สำหรับข้าวกล้องผสมแต่ละสูตร ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** คะแนน 1 = ไม่ชอบมาก ถึง คะแนน 9 = ชอบมาก

6.5 ความทนทานต่อการย่อยของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

นำข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพทั้ง 2 สูตร ที่มีอัตราส่วนการผสมที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด มาหุงสุก ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม ได้แก่ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับหอมมะลิแดง อัตราส่วนการผสม 70:30 (หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:1.7) และสูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 อัตราส่วนการผสม 50:50 (หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2.0) จากนั้น วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (resistant starch content) และการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคส ภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกาย (ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการย่อย) โดยเปรียบเทียบกับข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant starch, RS) ของข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 > ข้าวกล้องหอมมะลิแดง > ข้าวกล้อง กข 31 สำหรับข้าวกล้องผสม พบว่า สูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 มีปริมาณ RS มากกว่า สูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ หอมมะลิแดง แต่ข้าวกล้องผสมสูตรที่ 2 มีปริมาณ RS น้อยกว่าข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ผสม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาว พบว่าข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 จะมีปริมาณ RS มากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 6.20)

ปริมาณใยอาหาร (Total dietary fiber) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย โดยปริมาณใยอาหารของข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 > ข้าวกล้องหอมมะลิแดง > ข้าวกล้อง กข 31 สำหรับข้าวกล้องผสม พบว่า สูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 มีปริมาณใยอาหารใกล้เคียงกับ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ หอมมะลิแดง (ตารางที่ 6.21)

เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยกลูโคสภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกายของข้าวกล้องแต่ละชนิด (รูปที่ 6.2) พบว่า แม้ว่าข้าวกล้อง กข 31 จะมีปริมาณ RS น้อยที่สุด แต่ที่ระยะเวลาย่อยนาน 120 นาที ข้าวกล้อง กข 31 มีการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสน้อยที่สุด (144 mg/g) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมมะลิแดง ที่มีการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 208.27 และ 206.25 mg/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการปลดปล่อยกลูโคสออกจากโครงสร้างของข้าวสุกขณะถูกย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส ไม่ได้สัมพันธ์กับปริมาณ RS ในข้าวเพียงปัจจัยเดียว ข้าวกล้อง กข 31 ที่มีปริมาณ RS ต่ำ จึงมีปริมาณกลูโคสที่ถูกปล่อยภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกายน้อยกว่าข้าวกล้องชนิดอื่นที่มีปริมาณ RS มากกว่า

สำหรับข้าวกล้องผสม สูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 อัตราส่วน 50:50 จะมีการปลดปล่อยกลูโคสระหว่างการย่อยน้อยกว่าข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขณะที่ สูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 กับ หอมมะลิแดง อัตราส่วน 70:30 มีการปลดปล่อยกลูโคสระหว่างการย่อยใกล้เคียงกับข้าวกล้องข้าวดอกมะลิ 105 หุงสุก (รูปที่ 6.3)

ตารางที่ 6.20 ปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อยของข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องผสมหุงสุก

ข้าวกล้อง**	ปริมาณ Resistant starch (%)
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	0.46bc*±0.04
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105	0.54a± 0.01
ข้าวกล้อง กข31	0.40d±0.01
ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	0.48b±0.02
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	0.42cd± 0.00
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องกข31	0.46bc±0.01

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

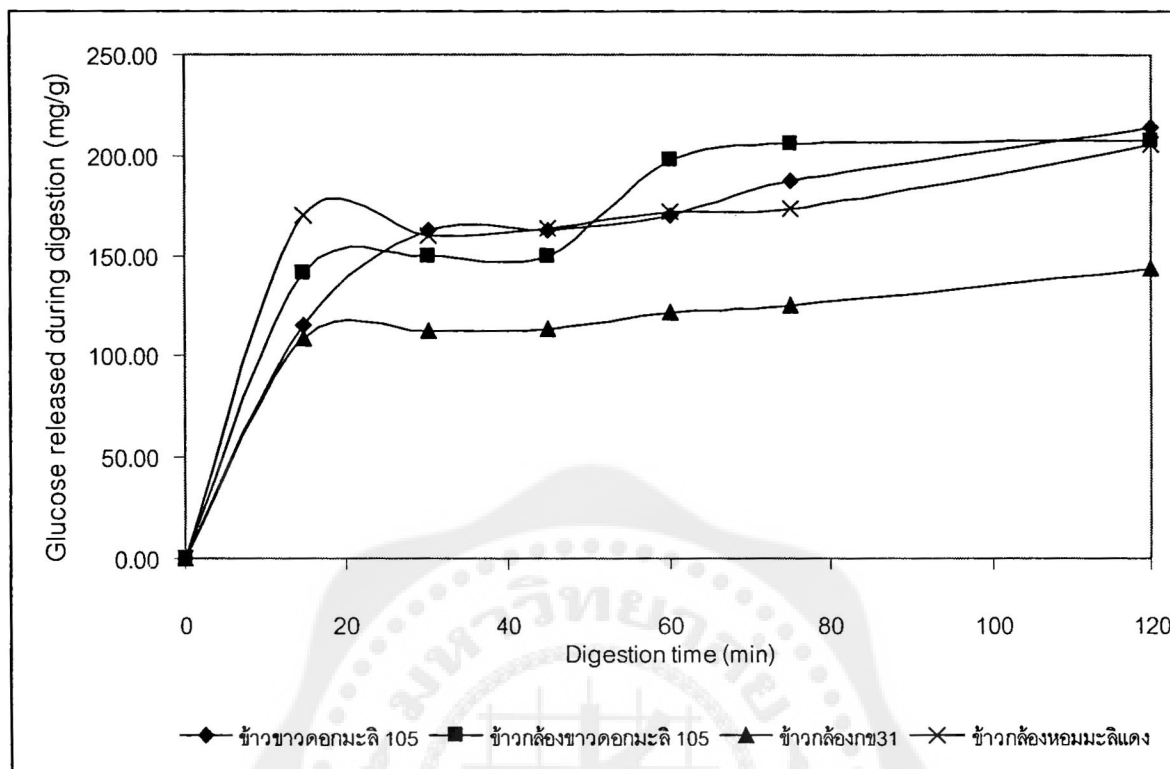
** ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องหอมมะลิแดง = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้องหอมมะลิแดง อัตราส่วน 70:30 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:1.7); ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องกข 31 = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้อง กข 31 อัตราส่วน 50:50 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:2.0)

ตารางที่ 6.21 ปริมาณใยอาหารของข้าวกล้องและข้าวกล้องผสม

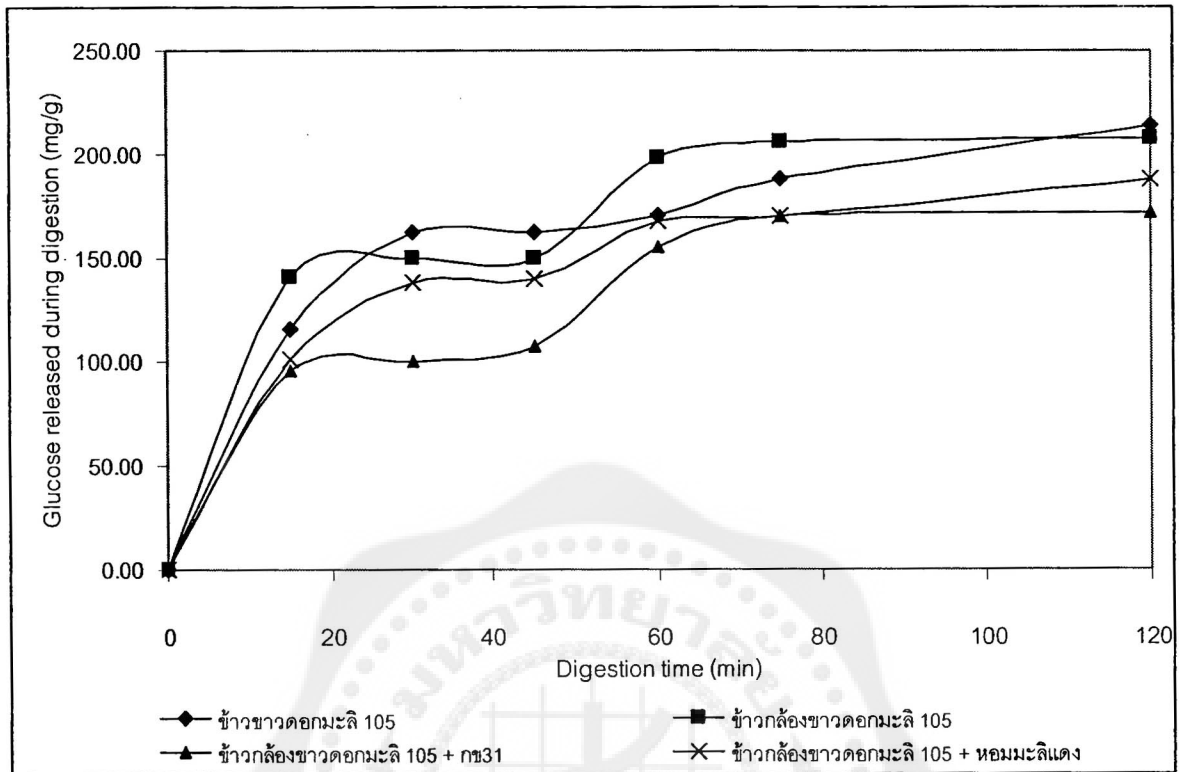
ข้าวกล้อง**	ปริมาณใยอาหาร (%)
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	-
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105	3.33
ข้าวกล้อง กข31	3.11
ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	3.17
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	3.28
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องกข31	3.22

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องหอมมะลิแดง = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้องหอมมะลิแดง อัตราส่วน 70:30 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:1.7); ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องกข 31 = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้อง กข 31 อัตราส่วน 50:50 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:2.0)



รูปที่ 6.2 การปลดปล่อยกลูโคสภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกายของข้าวกล้องแต่ละชนิดหุงสุก
เปรียบเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก



**รูปที่ 6.3 การปลดปล่อยกลูโคสภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกายของข้าวกล้องผสมหุงสุก
เปรียบเทียบกับข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก**

(* ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องกข 31 = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้อง กข 31 อัตราส่วน 50:50;
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องหอมมะลิแดง = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้องหอมมะลิแดง อัตราส่วน 70:30)

คุณสมบัติของสตาร์ชเป็นสิ่งสำคัญต่อความสามารถในการถูกย่อย โดยทั่วไปสตาร์ชจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ amylase, glucoamylase และ sucrase-isomaltase ในลำไส้เล็ก และได้กลูโคสซึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย สตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant Starch, RS) เป็นสตาร์ชที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์เป็น D-glucose ในลำไส้เล็ก ภายใน 120 นาทีภายหลังจากบริโภค แต่จะผ่านและถูกหมักในลำไส้ใหญ่ อาหารที่มีปริมาณ RS มากจะถูกย่อยอย่างช้าหรือไม่ถูกย่อยซึ่งช่วยควบคุมการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด ลดการตอบสนองของอินซูลิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน RS ทำหน้าที่เหมือนใยอาหาร ช่วยระบบขับถ่าย ทำให้รู้สึกอิ่ม สามารถควบคุมน้ำหนักและโรคอ้วน และ RS เป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ สร้างกรดไขมันสายสั้นที่ยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็ง ลดการเกิดมะเร็งลำไส้ (Fuentes-Zaragoza และคณะ, 2010)

ปริมาณ RS มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในข้าว โดยมีรายงานว่าสตาร์ชของข้าวเหนียวหุงสุก (ปริมาณอะมิโลส 0%) และข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ จะเกิดขึ้นเร็วและสมบูรณ์กว่าสตาร์ชจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางและสูง (Frei และคณะ, 2003; Hu และคณะ, 2004) หรือปริมาณ RS แปรผันโดยตรงกับปริมาณอะมิโลสในข้าว (Zhang และคณะ, 2007) ซึ่งขัดแย้งกับผลจากงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณ RS ในข้าวกล้องหุงสุก และพบว่าข้าวกล้อง กข 31 ที่มีปริมาณอะมิโลสสูง 23.85% กลับมีปริมาณ RS น้อยกว่าข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมมะลิแดง ที่มีปริมาณอะมิโลส 12.31% และ 13.08% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณอะมิโลสมีไข่ปัจจัยเดียวที่มีผลต่อปริมาณ RS แต่อาจเป็นผลจากปัจจัยอีกหลายประการ

Shu และคณะ (2007) รายงานว่าสตาร์ชจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสในระดับเดียวกันอาจมีค่า RS แตกต่างกัน โดยสตาร์ชจากข้าวที่มีสัดส่วนของอะมิโลเพกทินที่มีขนาดสายสั้น ($DP \leq 12$) ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ในขณะที่อะมิโลเพกทินขนาดสายปานกลาง ($13 \leq DP \leq 36$) และขนาดสายยาว ($DP \geq 37$) ลดลง จะมีปริมาณ RS สูงขึ้น

นอกจากนี้ Zhang และคณะ (2007) รายงานความสัมพันธ์เชิงบวกของปริมาณโปรตีนกับปริมาณ RS ในข้าวหุงสุก ซึ่งในการศึกษานี้ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีน (8.11%) มากกว่าข้าวกล้อง กข 31 (7.97%)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้าวกล้อง กข 31 จะมีปริมาณ RS และปริมาณใยอาหารน้อย แต่มีการปลดปล่อยกลูโคสภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกายช้าและน้อยกว่าข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมมะลิแดง

6.6 คุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

นำข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพทั้ง 2 สูตร ที่มีอัตราส่วนการผสมแตกต่างกัน มาประเมินปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดงเป็นแหล่งสารประกอบฟีนอลิกเมื่อผสมในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมและข้าวกล้องผสมมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) สำหรับข้าวกล้องผสมสูตรที่ 2 ข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อนำมาผสมทำให้ปริมาณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 6.22)

ตารางที่ 6.22 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและค่า EC50 ของข้าวกล้องผสม

ข้าวกล้องผสม	ฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE /100 g db)	ค่า EC50 (mgสารสกัด/100 ml)
ขาวดอกมะลิ 105 : หอมมะลิแดง		
100:0	73.33e± 3.78	5199.17a±238.90
70:30	97.73d±4.61	1009.84b±84.58
50:50	122.81c±2.65	380.56d±46.03
30:70	162.83b±4.52	472.48cd±21.25
0:100	287.12a±1.25	153.55d±23.32
ขาวดอกมะลิ 105 : กข31		
100:0	73.33e± 3.7	5199.17a±238.90
70:30	99.91d±2.21	834.94b±55.15
50:50	99.05d±3.51	773.02bc±28.78
30:70	77.65e±5.44	837.74b±7.55
0:100	124.59c±1.89	893.05b±15.15

*สำหรับข้าวกล้องผสมแต่ละสูตร ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อนำข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพทั้ง 2 สูตร ที่มีอัตราส่วนการผสมที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด มาหุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก (ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุถุงที่มีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระ) โดยเปรียบเทียบกับข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 ข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 และข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง (อัตราส่วนการผสม 70:30) และข้าวกล้องผสมสูตรที่ 2 ข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105และข้าวกล้องกข31 (อัตราส่วนการผสม 50:50) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 แต่ข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดหลังหุงสุกมากกว่า (ตารางที่ 6.23-6.24)



ตารางที่ 6.23 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องและข้าวกล้องผสมหุงสุก

ข้าวกล้อง**	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE /100g db)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหุงสุก
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105	73.33d± 3.78	22.00b±1.30
ข้าวกล้อง กข31	124.59b±1.89	2.94c±0.84
ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	287.12a±1.25	24.86a±0.13
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	97.73c±4.61	26.54a±1.32
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องกข31	99.05c±3.51	22.34b±1.76

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องหอมมะลิแดง = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้องหอมมะลิแดง อัตราส่วน 70:30 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:1.7); ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องกข 31 = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้อง กข 31 อัตราส่วน 50:50 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:2.0)

ตารางที่ 6.24 ค่า EC 50 ของข้าวกล้องและข้าวกล้องผสมหุงสุก

ข้าวกล้อง**	ค่า EC50 (mgสารสกัด/100 ml)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องหุงสุก
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105	5199.17a±238.90	7985.5a±390.62
ข้าวกล้อง กข31	893.05c±15.15	5298.7b±362.72
ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	120.25d±49.24	8171.40a±626.18
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	1009.84b±84.58	1757.22c±271.02
ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105+ข้าวกล้องกข31	773.02c±28.78	8491.47a±1753.88

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องหอมมะลิแดง = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้องหอมมะลิแดง อัตราส่วน 70:30 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:1.7); ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 + ข้าวกล้องกข 31 = ข้าวกล้องขาวดอกมะลิผสมกับข้าวกล้อง กข 31 อัตราส่วน 50:50 (หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ 1:2.0)

7. สรุปผลการทดลอง

7.1 ปริมาณฟีนอลิก และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของข้าวกล้องจากจังหวัดสระแก้ว

ข้าวพันธุ์รับรองและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดสระแก้วที่มีปริมาณฟีนอลิก และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด 3 อันดับแรกคือ อิมิด เหลืองเกษตร และสายสมร ซึ่งทั้งหมดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (< 20 %) ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ พันธุ์หอมปราจีนบุรี ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (21-25%) ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดคือพันธุ์เหลืองเกษตร และข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (>25%) ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดคือพันธุ์อิมิด

ความร้อนจากการหุงทำให้ปริมาณฟีนอลิกลดลงหรือเพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว โดยพบว่าทำให้ข้าว 31 พันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกลดลงในช่วง 3.94-64.35% ในขณะที่ทำให้ข้าว 5 พันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นในช่วง 4.21-53.57% และความร้อนมีผลทำให้มีค่า EC_{50} ลดลง ในข้าว 16 สายพันธุ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นหลังจากหุงสุก ในขณะความร้อนทำให้มีค่า EC_{50} ลดลงในข้าวอีก 20 สายพันธุ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง

7.2 คุณสมบัติของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ที่นำมาผสม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสม 2 สูตร ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภค ได้แก่ (1) ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง และ (2) ข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31

ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้อง กข 31 มีความกว้างและความยาวของเมล็ดใกล้เคียงกัน และมีรูปร่างเมล็ดเรียวยาว แต่มีสีของชั้นรำแตกต่างกัน โดยข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดงมีชั้นรำที่มีสีแดง ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

ข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 7.29-8.11% ข้าวกล้องขาวดอกมะลิแดงและข้าวกล้องหอมมะลิแดง จัดเป็นข้าวในกลุ่มอะมิโลสต่ำ (10-19%) ในขณะที่ข้าวกล้องพันธุ์ กข 31 จัดเป็นข้าวในกลุ่มอะมิโลสปานกลาง (20-25%) และค่อนข้างสูง ความแข็งของข้าวกล้อง กข 31 หุงสุก > ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ และข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุก ทั้งนี้ความแข็งของข้าวหุงสุกแปรผันตามค่า Setback เมื่อวิเคราะห์ความหนืดน้ำแป้ง

7.3 คุณภาพการหุงและการบริโภคของข้าวกล้องผสม

สำหรับข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง เมื่อผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงในสัดส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาการหุงสุกนานขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่อัตราการดูดซับน้ำ และความแข็งข้าวสุกลดลง แต่ไม่พบผลของการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงต่อปริมาณของแป้งสูญเสียในน้ำหุงต้ม

สำหรับข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31 เมื่อผสมข้าวกล้อง กข 31 ในสัดส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาการหุงสุกนานขึ้นอย่างมาก ความแข็งของข้าวสุกเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อัตราการดูดซับน้ำ ปริมาณของแป้งสูญเสียในน้ำหุงต้มลดลง

7.4 อัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องผสมต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับหุงสุก

สำหรับข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง ความแข็งและความเหนียวของข้าวกล้อง หุงสุกลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนข้าวกล้องหอมมะลิแดง ทำให้ความแข็งของ ข้าวกล้องหุงสุกเพิ่มมากขึ้น ผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความนุ่ม ความเหนียว และการเกาะตัวของข้าวกล้อง ผสมขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิแดง อัตราส่วนผสม 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 มากที่สุด เมื่อหุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น 1:1.7, 1:1.7, 1:1.7, 1:2.0 และ 1:1.7 ตามลำดับ

สำหรับข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31 ความแข็งและความเหนียวของข้าวกล้องหุงสุก ลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ มากขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนข้าวกล้อง กข 31 ทำให้ความแข็งของข้าวกล้องหุงสุกเพิ่มมากขึ้น ผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความนุ่ม ความเหนียว และการเกาะตัวของข้าวกล้องผสมขาวดอกมะลิ 105 และกข 31 อัตราส่วนผสม 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0: 100 มากที่สุด เมื่อหุงด้วยอัตราส่วน ข้าว:น้ำ เป็น 1:1.7, 1:1.7, 1:2.0, 1:2.0 และ 1:2.0 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับให้ข้าวกล้องหุงสุก นิ่มลงด้วยการปรับอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและทำให้ผู้บริโภคยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส

7.5 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

ผู้บริโภคให้การยอมรับข้าวกล้องผสมหุงสุกสูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างขาวดอกมะลิ 105 กับหอมมะลิแดง อัตราส่วนการผสม 70:30 (หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:1.7) และข้าวกล้องผสมหุงสุกสูตรที่ 2 ข้าวกล้องผสมระหว่างขาวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 อัตราส่วนการผสม 50:50 (หุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2.0) โดยมีความชอบด้านความนุ่มและความเหนียวมากที่สุด

7.6 ความทนทานต่อการย่อยของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

ปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant starch, RS) ของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 > ข้าวกล้องหอมมะลิแดง > ข้าวกล้อง กข 31

ปริมาณใยอาหาร (Total dietary fiber) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย โดยปริมาณใยอาหารของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 > ข้าวกล้องหอมมะลิแดง > ข้าวกล้อง กข 31

ข้าวกล้องผสมสูตรที่ 2 ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ผสม กข 31 (อัตราส่วนการผสม 50:50 และหุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2.0) มีปริมาณ RS มากกว่า ข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ผสม ข้าวกล้องหอมมะลิแดง (อัตราส่วนการผสม 70:30 และหุงด้วยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:1.7)

เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยกลูโคสภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในร่างกายของข้าวกล้องแต่ละชนิด พบว่า ข้าวกล้อง กข 31 มีการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสน้อยกว่า ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมมะลิแดง สำหรับข้าวกล้องผสม ข้าวกล้องผสมระหว่างขาวดอกมะลิ 105 กับ กข 31 มีการปลดปล่อยกลูโคส < ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 < ข้าวกล้องหอมมะลิแดง ในขณะเดียวกัน สูตรที่ 1 ข้าวกล้องผสมระหว่างขาวดอกมะลิ 105 กับ หอมมะลิแดง มีการปลดปล่อยกลูโคสระหว่างการย่อยใกล้เคียงกับข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก

7.7 คุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมบรรจุถุงเพื่อสุขภาพ

การเพิ่มสัดส่วนการผสมข้าวกล้องหอมมะลิแดงในข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มสัดส่วนการผสมข้าวกล้อง กข 31 ในข้าวกล้องผสมสูตรที่ 2

เมื่อนำข้าวกล้องผสมเพื่อสุขภาพทั้ง 2 สูตร ที่มีอัตราส่วนการผสมที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด มาหุงสุก พบว่าข้าวกล้องผสมสูตรที่ 1 และข้าวกล้องผสมสูตรที่ 2 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2550. ข้าวโภชนาการสุขภาพ. สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว, กรมการข้าว, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 76 หน้า.
- ข้อมูลพื้นฐานทางการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 414
- เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2536. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ
- ดำเนิน กาละดี พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ ศันสนีย์ จำจด. 2543. รายงานการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงศธร ล้อสุวรรณ จิตศิริ ราชตะนันทน์ ศศิธร จันทนวางกูร. 2551. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชณี คงกาญจนาย ริญ เจริญศิริ อรรพรรณ กริ่งเกษมศรี อภิชาติ วรรณวิจิตร ศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์. 2551. ปริมาณธาตุเหล็ก สังกะสี ทองแดง วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และลูทีน ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 40 (2): 13-32.
- อังคณา เหลืองศิริโรจน์ เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2539. เรื่องของเมล็ดข้าว ข้าว:ความรู้สู่ชาวนา, เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี, ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis (14th ed.). Arlington: Association of Official Analytical.
- Ayres, N.M., McClung, A.M., Larkin, P.D., Bligh, H.F.J., Jones, C.A., and Park, W.D. 1997. Microsatellites and a single-nucleotide polymorphism differentiate apparent amylase classes in an extended pedigree of US rice germ plasm. Theoretical and Applied Genetics 94: 773-781.
- Asoaka, M., Okuno, K., Sugimoto, Y., Yano, M., Omura, T., and Fuwa, H. 1985. Structure and properties of endosperm starch and water-soluble polysaccharides from sugary mutant of rice (*Oryza sativa* L). Starch 37: 364-366.
- Bao, J., Corke, H., and Sun, M. 2004. Genetic diversity in the physicochemical properties of waxy rice starch. Journal of the Science of Food and Agriculture 84: 1299-1306.
- Bhattacharya, K.R., Sowbhagya, C.M. 1979. Pasting behavior of rice: a new method of viscometry. Journal of Food Science 44: 797.

- Brand-Miller, J., Pang, J., Bramall, L. 1992. Rice: A high or low glycemic index food?. *American Journal of Clinical Nutrition* 56: 1034-1036.
- Englyst, H.N., Kingman, S.M., Cummings, J.H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European journal of clinical nutrition* 46: S33-50.
- Frei, M., Siddhuraju, P., and Becker, K. 2003. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry* 83: 395-402.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sanchez-Zapata, E., Perez-Alvarez, J.A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International* 43: 931-942.
- Goni, L., Garcia-Dia Manas, E., Saura-Calixto, F. 1996. Analysis of resistant starch : A method for foods and food products. *Food Chemistry* 56: 455-459.
- Goni, L., Garia-Alonso, A., Saura-Calixto, F., 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research* 17: 427-437.
- Hertog, M.G.L., Fesrens, E.J.M., Hollman, P.C.H., Katan, M.B., Kromhout, D. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary hearth disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet.*, 342, 007-1011.
- Ho, C.T., Lee, C.Y., and Huang, M.T. 1992. Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health I: Analysis, Occurrence, and Chemistry, American Chemical Society, Washington, DC.
- Hoover, R., Ratnayake, W.S. 2005. Determination of total amylose content of starch. pp. 689–691. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns (eds.). *Handbook of food analytical chemistry – Water, protein, enzymes, lipids, and carbohydrates*, Wiley-Interscience, Hoboken
- Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z., Wu, D. 2004. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *Journal of Cereal Science* 40: 231-237.
- International Rice Research Institute. 01/18/2005. <http://www.riceweb.org/countries/thai.htm>.
- Isvilanonda, S. 2006. Rice consumption in Thailand: The slackening demand, *Proceedings of the JSPS Asian Science Seminar on “Development Strategy for Sustainable Food System”, 26th November – 5th December, 2006, Kanagawa, Japan*, p. 1-10.
- Juliano, B.O. 1985. *Rice Chemistry and Technology* (2nd edition). The American Association of Cereal Chemists, Inc., St Paul, Minnesota, 774 p.

- Kähkönen, M.P., Hopia, A.L., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S., and Heinonen, M. 1999. Antioxidant activities of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:3954-3962.
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N and Lertsatchayarn, T. 2008. The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). *LWT-Food Science and Technology* 40: 1934-1943.
- Menrad, K. 2003. Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering* 56: 181-188.
- Panlasigui LN, Thompson LU, Juliano BO, Perez CM, Yiu SH, Greenberg GR. 1991. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 54: 1-7.
- Patindol, J.A., Gonzalez, B.C., Wang, Y.J. and McClung, A.M. 2007. Starch fine structure and physicochemical properties of specialty rice for canning. *Journal of Cereal Science* 45: 209-218.
- Randhir, R., & Shetty, K. 2004. Microwave-induced stimulation of LDOPA, phenolics and antioxidant activity of fava bean (*Vicia faba*) for Parkinson's diet. *Process Biochemistry* 39: 1775-1784.
- Sagum, R., Arcot, J. 2000. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylase. *Food Chemistry* 70: 107-111.
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y., Bao, J. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science* 49: 106-111.
- Singh, J., and Singh, N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch from some Indian potato cultivars. *Food Chemistry* 75: 67-77.
- Singh, N., Sodhi, N.S., Kaur, M., and Saxena, S.K. 2003. Physicochemical, morphological, thermal, cooking and textural properties of chalky and translucent rice kernels. *Food Chemistry* 82: 433-439.
- Singh, N., Kaur, L., Sodhi, N.S. and Sekhon, K.S. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry* 89: 253-259.
- Singh, N., Kaur, L., Sandhu, K.S., Kaur, J. and Nishinari, K.. 2006. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids* 20: 532-542.

- Singleton, U.L., Rossi, J. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn S., Linsberger-Martin G., Berhofer E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry* 124:1-9.
- Sosulski, F., Krygier, K., and Hogge, L. 1982. Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. 3. Compositions of phenolic acids in cereal and potato flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 30: 337-340.
- Tester, R.F., and Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry* 67: 551-557.
- Wang, L., Xie, B., Shi, J., Deng, Q., Wei, Y. And Tian, B. 2010. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids* 24: 208-216.
- Zhang, W., Bi, J., Yan, X., Wang, H., Zhu, C., Wang, J., Wan, J. 2007. In vitro measurement of resistant starch of cooked milled rice and physio-chemical characteristics affecting its formation. *Food Chemistry* 105 (2): 462-468.