บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพการหุงต้ม การแปรรูป และการรับประทานของข้าวมีสีพื้นเมืองที่พบในภาคใต้ของประเทศไทยจำนวน 8 พันธุ์ เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้มาพัฒนาการใช้ประโยชน์จากข้าวเหล่านี้ และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการต่อยอดงานวิจัยและการใช้ประโยชน์จากข้าวมีสี ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว

ข้าวมีสีที่ใช้ในการศึกษา 8 พันธุ์ เป็นข้าวเจ้า 3 พันธุ์คือ HK KN และ SY เป็นข้าวเหนียว 5 พันธุ์คือ RWR-96960 BWR-96025 CMP KR และ BWR-96044 หลังการกะเทาะเปลือกสามารถจัดกลุ่มข้าวกล้องตามสีของเมล็ดได้เป็น 2 กลุ่มคือ ข้าวกล้องที่มีรงควัตถุสีแดง คือ HK KN SY RWR-96060 และ KR ส่วนอีกกลุ่มคือข้าวกล้องที่มีรงควัตถุสีม่วงคือ BWR-96025 BWR-96044 และ CMP ข้าวเปลือกส่วนใหญ่มีรูปร่างเมล็ดเรียว ยกเว้นพันธุ์ KR และ BWR-96044 ที่มีรูปร่างปานกลาง แต่เมื่อผ่านการกะเทาะเปลือกและขัดสีความยาวของเมล็ดจะลดลง ดังนั้นรูปร่างของเมล็ดข้าวขัดขาวมี 2 แบบคือ ข้าวเมล็ดเรียว ประกอบด้วยพันธุ์ KN SY BWR-96025 และ BWR-96044 อีกกลุ่มคือข้าวเมล็ดปานกลาง ประกอบด้วยพันธุ์ HK RWR-96060 CMP และ KR น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกจะมากกว่าข้าวกล้องและข้าวขัดขาว เนื่องจากการกะเทาะเปลือกและการขัดสีเป็นปัจจัยที่ทำให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวลดลง

5.2 คุณภาพทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

ข้าวกล้องมีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าข้าวขัดขาว ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการขัดสีเอาเยื่อหุ้มเมล็ดออกทำให้องค์ประกอบทางเคมีของข้าวลดน้อยลง โดยเฉพาะโปรตีน ไขมัน และเยื่อใย จากการศึกษาปริมาณธาตุเหล็กและวิตามินพบว่าข้าวกล้อง BWR-96044 มีปริมาณธาตุเหล็กสูงที่สุด ในขณะที่ข้าวกล้อง CMP มีปริมาณวิตามินบีหนึ่งและวิตามินอีมากที่สุด การขัดสีข้าวกล้องมีผลให้ปริมาณของวิตามินบีหนึ่ง วิตามินอีและธาตุเหล็กลดลงอย่างมากจนตรวจไม่พบวิตามินอีในตัวอย่างข้าวขัดขาวทุกชนิด จากการศึกษาปริมาณสารโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า ข้าวกล้อง BWR-96044 BWR-96025 และ CMP มีปริมาณของสารโพ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงเป็นสามลำดับแรก ดังนั้นข้าวกล้องมีสีกลุ่มที่มีรงควัตถุสีม่วงมีปริมาณธาตุเหล็ก วิตามิน โพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มข้าวกล้องมีสีที่มีรงควัตถุสีแดง

5.3 สมบัติของสตาร์ชข้าว

5.3.1 สมบัติด้านโครงสร้างของสตาร์ชข้าว

รูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวทั้ง 8 พันธุ์เป็นแบบ A และมีรูปร่างเม็ดสตาร์ชที่ไม่แตกต่างกันคือมีลักษณะหลายเหลี่ยม และสตาร์ชข้าว SY มีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่ที่สุด สตาร์ชข้าวเจ้ามีค่าความหนืดอินทรินสิค ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวอาจมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าสตาร์ชข้าวเจ้า

5.3.2 สมบัติทางเคมีของสตาร์ชข้าว

สตาร์ชข้าวมีสีทั้ง 8 ชนิดมีปริมาณเยื่อใย โปรตีน ไขมันและเถ้าต่ำมากและมีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องและข้าวขัดขาว ยกเว้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงถึง 90-92 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสในช่วง 28.19-18.30 เปอร์เซ็นต์ และสตาร์ชข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 6.73-7.48 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำแนกกลุ่มข้าวตามปริมาณอะไมโลส พบว่าข้าว SY เป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสต่ำ และข้าว HK และ KN เป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสสูง และข้าวเหนียว 5 ชนิด คือ RWR-96060 BWR-96025 CMP KR และ BWR-96044

5.3.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวมีสี

กำลังการพองตัวของและการละลายของสตาร์ชเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และสตาร์ชข้าวเหนียวโดยเฉพาะสตาร์ชข้าว BWR-96044 KR และ BWR-96025 มีกำลังการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า แต่การละลายของสตาร์ชข้าวเจ้าดีกว่าสตาร์ชข้าวเหนียวโดยเฉพาะข้าว HK สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชข้าวพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวจะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว ซึ่งสตาร์ชข้าว KN มีค่า Peak viscosity และ Trough viscosity สูงที่สุดในกลุ่มข้าวเจ้าและข้าว BWR-96044 มีค่า Peak viscosity และ Final viscosity สูงที่สุดในกลุ่มข้าวเหนียว ซึ่งอาจเป็นเพราะมีองค์ประกอบของอะไมโลเพคตินสายยาวมาก ซึ่งขณะให้ความร้อนอาจเกิดการพันเกลียวกันเอง ทำให้มีความแข็งแรงของโครงสร้างมากขึ้นนอกจากนี้ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (พันธุ์ HK และ KN) จะสูงกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีส่งผลให้ ค่าความหนืดสูงสุด ค่าและความหนืดต่ำสุดของตาร์ชจากแป้งข้าวกล้องต่ำกว่าข้าวขัดขาวและสตาร์ช เพราะไขมันและโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของสตาร์ช นอกจากนี้พบว่าแป้งข้าวขัดขาวมีค่าการคืนตัวและความ

Prince of Songkla University Pattani Campus

หนืดสุดท้ายสูงกว่าสตาร์ชข้าว เพราะไขมันที่มีในแป้งข้าวขัดขาวอาจส่งเสริมให้เกิดรีโทรกราเดชันมากขึ้น

การศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชพบว่าข้าวเหนียวสุกเร็วกว่าข้าวเจ้า โดยฉพาะข้าว RWR-96060 (61.20-67.03 องศาเซลเซียส) ส่วนข้าว SY ซึ่งเป็นข้าวเจ้าจะสุกช้าที่สุด (70.76-81.33 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้พบว่าข้าว KN SY และ KR ใช้พลังงานความร้อนในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นสูงที่สุดและไม่แตกต่างกัน การศึกษาอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชพบว่าข้าว HK มีโอกาสที่จะเกิดรีโทรกราเดชั่นและการขับน้ำออกจากเจลสูงที่สุด ในขณะที่ข้าว BWR-96044 มีโอกาสที่จะเกิดรีโทรกราเดชั่นน้อย ซึ่งการเกิดรีโทรากราเดชันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอะไมโลส นอกจากนี้พบว่าข้าวที่มีรีโทรกราเดชั่นสูงเช่น HK จะมีค่าความแข็งและความคงตัวของเจลสูงที่สุด

5.4 คุณภาพในการหุงต้ม

ผลศึกษาอัตราการยืดตัวของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพบว่าข้าวพันธุ์ SY มีอัตราการยืดตัวสูงที่สุดในกลุ่มข้าวเจ้า และข้าวพันธุ์ KR มีอัตราการยืดตัวสูงที่สุดในกลุ่มข้าวเหนียว โดยรวมแล้วข้าวเจ้าในรูปของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวมีอัตราการยืดตัวต่ำกว่าข้าวเหนียว เพราะข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินสูงกว่า จึงกับกับน้ำและเกิดการยืดตัวมากกว่า นอกจากนี้เยื่อใย โปรตีน และไขมันที่พบในข้าวกล้องเป็นปัจจัยที่ยับยั้งการยืดตัวของเมล็ดข้าว

การขยายปริมาตรหลังการหุงของข้าวเจ้าพบว่าข้าว HK มีการขยายปริมาตรหลังการหุงมากที่สุด ส่วนข้าว BWR-96044 มีการขยายปริมาตรหลังการหุงมากที่สุดในกลุ่มข้าวเหนียว ข้าวกล้องทุกพันธุ์มีการขยายปริมาตรหลังการหุงต่ำกว่าข้าวขัดขาว เพราะข้าวกล้องมีปริมาณไขมัน โปรตีน และเยื่อใยที่ขัดขวางการขยายปริมาตร จากการศึกษาเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกพบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงมีความแข็งและแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ข้าว HK มีเนื้อสัมผัสที่แข็งที่สุดในกลุ่มข้าวเจ้าและข้าว RWR-96060 มีเนื้อสัมผัสที่แข็งที่สุดในกลุ่มข้าวเหนียว) เนื่องจากสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเกิดการคืนตัวได้ดีกว่า ส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมี คุณภาพในการหุงต้ม การแปรรูป และการรับประทานของข้าวพื้นเมืองมีสี

สีของข้าวกล้องมีความสัมพันธ์กับคุณค่าทางโภชนาการ กล่าวคือค่า b* มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุเหล็กแบบสมการเส้นตรงในเชิงลบ กล่าวคือหากเมล็ดข้าวกล้องมีสีม่วงคล้ำมากขึ้น จะมีปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องยังมีความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงเชิงลบกับปริมาณสารโพลีฟีนอลกล่าวคือ เมล็ดข้าวกล้องที่มีค่า L* ลดลงและมีค่า a* และ b* หรือสีแดงและม่วงเพิ่มขึ้น จะพบปริมาณสารโพลีฟีนอลมากขึ้น ดังนั้นข้าวที่มีรงควัตถุสีม่วงคือ BWR-96044, BWR-96025 และ CMP จึงมีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูงกว่ากลุ่มข้าวที่มีสีแดง นอกจากนี้พบว่าค่า L* ของเมล็ดข้าวกล้องมีความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงเชิงลบกับความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีก็มีความสัมพันธ์กับสมบัติทางโครงสร้างของสตาร์ช กล่าวคือปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์กับความหนืดอินทรินสิคแบบสมการโพลิโนเมียล (Polynomials) ซึ่งมีสมการคือ $y = 0.41x^2 - 9.62x + 110.27$ (R^2 เท่ากับ 0.910) และปริมาณไขมัน มีความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้นกำลังสองในเชิงลบกับอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ($y = 2.14x^{-4.09}$ และ R^2 เท่ากับ 0.735) กล่าวคือ ปริมาณไขมันที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดลดลง

5.6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ข้าวมีสีพื้นเมืองของภาคใต้ทั้ง 8 ชนิด มีสมบัติและจุดเด่นทั้งที่คล้ายคลึงและแตกต่างกัน ผลการศึกษานี้จะมีประโยชน์ต่อการพิจารณาเลือกพันธุ์เพื่อส่งเสริมการปลูกหรือการนำข้าวดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ กลุ่มข้าวเหนียวที่มีสีม่วงได้แก่ข้าวพันธุ์ BWR-96044 BWR-96025 และ CMP เป็นข้าวที่มีปริมาณธาตุเหล็ก ปริมาณโพลีฟีนอลสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพหรือใช้เพื่อแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของประชากร นอกจากนี้ข้าวในกลุ่มข้าวเหนียวมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำ แป้งจากข้าวกลุ่มดังกล่าว จึงเหมาะกับการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งหรือใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดหรือให้ความคงตัว ขณะที่กลุ่มข้าวเจ้ามีสมบัติในการให้ความแข็งแรงของเจลสูงโดยเฉพาะข้าวพันธุ์ HK และ KN ซึ่งจะเหมาะสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลและต้องการความคงตัว เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว การใช้ประโยชน์จากข้าวมีสีในรูปของฟลาร์วจากข้าวกล้องนอกจากจะได้สารโพลีฟีนอลและธาตุเหล็กที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพแล้ว ยังได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีธรรมชาติจากข้าวด้วย อย่างไรก็ตามอาจจะไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการสีดังกล่าว

Prince of Songkla University Pattani Campus

การใช้ประโยชน์จากข้าวมีสีเหล่านี้ อาจจำเป็นต้องศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแปรรูปข้าวมีสีเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทพองกรอบ อาหารเด็กอ่อน และเครื่องดื่ม นอกจากนี้ผลของกระบวนการแปรรูปส่งผลต่อสี ปริมาณสารโพลีฟีนอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมีสี เพราะกระบวนการแปรรูปบางประเภท เช่นการใช้ความร้อนสูงส่งผลให้ปริมาณของสารโพลีฟีนอลโดยเฉพาะในกลุ่มของเอนโธไซยานินลดลง นอกจากนี้ สภาวะความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และโลหะไอออนก็มีผลต่อการสลายตัวของแอนโธไซยานินเช่นกัน แต่การแปรรูปด้วยความร้อนช่วยให้ร่างกายดูดซึมธาตุเหล็กจากข้าวมีสีได้มากขึ้น เนื่องจากความร้อนไปทำลายไฟเตทซึ่งเป็นสารที่ขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็กที่มีในเมล็ดข้าว ดังนั้นกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมจึงต้องมีการศึกษาต่อไป

Prince of Songkla University
Pattani Campus