บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าว 5 พันธุ์ คือ ข้าวเจ้าญี่ปุ่น พันธุ์ ก.วก. 1 ข้าวเจ้าอินดิก้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 และข้าวเหนียวอินดิก้าพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และเหนียวสันป่าตอง โดยนำเมล็ดข้าวสารมาผ่านการโม่แห้งให้เป็นแป้งข้าว จากนั้นนำแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแล้วมาผลิตเป็นมอลโทเดกซ์ทรินในช่วง DE 15-20 โดยควบคุมสภาวะการผลิตเดียวกัน และแปรเวลาที่ใช้ในการย่อยเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 15-20 หลังจากได้ภาวะที่ใช้ในการผลิตของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์แล้ว ทำการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินที่มีช่วง DE 15-20 เพื่อนำมาศึกษาองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP 1-7) ในผลิตภัณฑ์ โดยทำการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพ โดยใช้เปเปอร์โครมาโตกราฟี และวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ โดยใช้เครื่อง HPLC สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การผลิตแป้งข้าวและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าว

6.1 การผลิตแป้งข้าวโดยวิธีโม่แห้ง

แป้งข้าวที่ได้จากการโม่แห้งจะมีความบริสุทธิ์ของสตาร์ชต่ำ มีองค์ประกอบเคมีของโปรตีนและไขมันปะปนอยู่สูง ผลผลิตแป้งข้าวที่ได้ขึ้นกับพันธุ์ข้าวเป็นสำคัญ ข้าวต่างพันธุ์จะให้ผลผลิตแป้งข้าวต่างกัน ในที่นี้พบว่าข้าวเหนียวสันป่าตองให้ผลผลิตแป้งข้าวสูงสุด คือ 82.46 รองลงมาเป็นข้าวก่ำดอยสะเก็ด ข้าว ก.วก. 1 ข้าวชัยนาท 1 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยมีผลผลิตแป้งข้าวเท่ากับร้อยละ 79.15 74.87 68.84 และ 65.25 ตามลำดับ

นอกจากพันธุ์ข้าวซึ่งถือเป็นปัจจัยหลัก พบว่าความแกร่งของเมล็ดเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตแป้งข้าว ความแกร่งของเมล็ดเป็นผลมาจากความชื้น และองค์ประกอบเคมีเป็นสำคัญ พบว่าความชื้นและอมัยโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตแป้งข้าว 5 พันธุ์ โดยมีค่า $r = 0.4683$ ($p<0.05$) และ $r = 0.8013$ ($p<0.01$) ตามลำดับ ในขณะที่อมัยโลสและไขมันให้ความสัมพันธ์ทางลบกับผลผลิตแป้งข้าว 5 พันธุ์ โดยมีค่า $r = -0.8013$ และ -0.8712 ($p<0.01$) ตามลำดับ สำหรับแป้งข้าวเจ้าพบว่าไขมันมีความสัมพันธ์กับผลผลิตแป้งข้าวเจ้า โดยมีค่า $r = -0.6324$ ($p<0.05$) สำหรับแป้งข้าวเหนียวพบความสัมพันธ์ของอมัยโลสและโปรตีนในทางลบ

โดยมีค่า r = -0.8455 และ –0.8403 ($p<0.01$) ตามลำดับ ในขณะที่อมัยโลเพคตินมีความสัมพันธ์ทางบวก (r = 0.8455, $p<0.01$) จึงกล่าวโดยสรุปว่า อมัยโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณผลผลิต ในขณะที่อมัยโลส ไขมัน และโปรตีนให้ความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณผลผลิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.2 องค์ประกอบเคมีและความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี

พันธุ์ข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวแตกต่างกัน โดยแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ให้คาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 89.10-89.91 โปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 6.67-10.17 พบว่าแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดมีปริมาณโปรตีนสูงสุด ในขณะที่แป้งข้าวอีก 4 พันธุ์ มีโปรตีนในช่วงร้อยละ 6.67-8.55 ไขมันพบอยู่ในช่วงร้อยละ 0.89-2.63 โดยแป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ 0.89-1.07) มีไขมันต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 1.41-2.63) ปริมาณเส้นใยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.33-0.67 และปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.28-0.59 ใช้ปริมาณอมัยโลสแบ่งแป้งข้าวออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ แป้งข้าวอมัยโลสสูง ได้แก่ แป้งชัยนาท 1 (ร้อยละ 29.64) แป้งข้าวอมัยโลสต่ำ ได้แก่ แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ร้อยละ 18.70) และแป้งข้าว ก.วก. 1 (ร้อยละ 18.50) และแป้งข้าวอมัยโลสต่ำมากหรือแป้งข้าวเหนียว ได้แก่ แป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ด (ร้อยละ 5.25) และแป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง (ร้อยละ 3.70)

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวมีความสัมพันธ์กัน โดยศึกษาเป็นค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบเคมีจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ และแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ พบว่าอมัยโลสและไขมันมีความสัมพันธ์กันทางบวก โดยแป้งข้าว 5 พันธุ์ ให้ค่า r = 0.8970 ($p<0.01$) แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ ให้ค่า r = 0.6972 ($p<0.05$) และพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างอมัยโลสและโปรตีนในแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ และแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ โดยให้ค่า r = 0.9601 และ r = 0.9394 ($p<0.01$) ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างโปรตีนและไขมันในแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์และแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ มีค่า r = 0.8033 ($p<0.01$) และ r = 0.8128 ($p<0.05$) ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าอมัยโลสกับไขมัน อมัยโลสกับโปรตีน และไขมันกับโปรตีนให้ความสัมพันธ์ในทางบวกซึ่งกันและกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.3 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าว

6.3.1 กำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย และความสัมพันธ์ของสมบัติทั้งสองกับองค์ประกอบเคมี

พันธุ์ข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังการพองตัวและค่าร้อยละการละลายของแป้งข้าว พันธุ์ข้าวเหนียว คือ แป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดและแป้งข้าวเหนียวสันป่าตองให้กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายสูงกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า คือ แป้งข้าวก.วก. 1 ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท1 ในเกือบทุกอุณหภูมิ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสที่พบว่าแป้งข้าวเหนียวให้กำลังการพองตัวไม่ต่างจากแป้งข้าวเจ้า ในขณะที่ให้ค่าการละลายต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

รูปแบบกำลังการพองตัวและค่าร้อยละการละลายมี 2 รูปแบบคือ รูปแบบของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแป้งข้าวเจ้ามีกำลังการพองตัวและการละลายเพิ่มขึ้น โดยกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าเป็นกำลังการพองตัว 2 ขั้น สำหรับแป้งข้าวเหนียวพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียวทั้ง 2 พันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และพบว่าอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แป้งข้าวเหนียวมีกำลังการพองตัวสมบูรณ์ ทำให้ร้อยละการละลายมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยลงที่อุณหภูมิตั้งแต่ 75 องศาเซลเซียสขึ้นไป

กำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย ขึ้นกับความแข็งแรงของแรงยึดภายในโครงสร้างเม็ดสตาร์ช ความแข็งแรงนี้เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของอมัยโลสและอมัยโลเพคตินรวมทั้งปริมาณขององค์ประกอบเคมีภายในสตาร์ช ซึ่งได้แก่ อมัยโลเพคติน อมัยโลส โปรตีน และไขมัน พบว่าอมัยโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับกำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย ในขณะที่อมัยโลส โปรตีน และไขมันให้ความสัมพันธ์ทางลบ นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังการพองตัวมีความสัมพันธ์ทางบวกกับร้อยละการละลาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

6.3.2 pasting properties และความสัมพันธ์กับองค์ประกอบเคมี

พันธุ์ข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ pasting properties ของแป้งข้าวแตกต่างกัน พบว่าพันธุ์ข้าวเจ้าและพันธุ์ข้าวเหนียวให้ลักษณะ Brabender viscoamylogram ต่างกัน

ความแข็งแรงของแรงยึดภายในเม็ดสตาร์ชส่งผลต่อ pasting properties ของแป้งข้าว แป้งข้าวเหนียวมี pasting temperature, peak temperature และ setback ต่ำ ในขณะที่มี peak viscosity และ breakdown สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า เพราะมีแรงยึดภายในเม็ดสตาร์ชน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า ทั้งยังพบว่า pasting temperature ของแป้งข้าว 5 พันธุ์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอมัยโลสและไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) และพบว่าอมัยโลสและ setback ให้ความสัมพันธ์ทางบวก โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9487 ($p<0.01$)

แป้งข้าวเจ้าซึ่งมีแรงยึดภายในเม็ดสตาร์ชมาก เนื่องจากมีอมัยโลสมากกว่าข้าวเหนียวมาก อีกทั้งมีองค์ประกอบเคมีชนิดอื่นปนเปื้อนมากทำให้ไม่สามารถอ่านค่า peak temperature และ peak viscosity ได้อย่างชัดเจน

จะเห็นว่าความแข็งแรงของแรงยึดภายในเม็ดสตาร์ชมีความสำคัญกับกำลังการพองตัว ร้อยละการละลาย รวมถึง pasting properties ของแป้งข้าวมาก ซึ่งในที่นี้พบว่าองค์ประกอบเคมีที่ทำให้เม็ดสตาร์ชมีแรงยึดภายในมาก คือ อมัยโลส โปรตีน และไขมัน

ส่วนที่ 2 การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

ข้าวทุกพันธุ์สามารถนำมาผลิตมอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่มีค่า DE 15-20 ได้ โดยในที่นี้ใช้ภาวะ คือ น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง pH 6.5 และใช้เอนไซม์ Termamyl 120L® ร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักน้ำแป้ง ใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนช่วงแรก 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงแปรเวลาในการให้ความร้อนในช่วง 95 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งข้าว ก.วก. 1 ใช้เวลาในการย่อยเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่มีค่า DE 15-20 น้อยที่สุด คือ ประมาณ 10-20 นาที และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความใส ทั้งยังให้น้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำในปริมาณสูงกว่าแป้งข้าวทุกพันธุ์ ให้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลหลักคือ น้ำตาล DP 3, 5 และ 6 สำหรับแป้ง

ข้าวเหนียวสันป่าตองและแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดใช้เวลาในการย่อยช่วง 95 องศาเซลเซียส รองลงมา โดยใช้เวลาในช่วง 23.03-37.93 และ 24.65-39-76 นาที ตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์นี้มีความใส และมีองค์ประกอบของน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำ คือ น้ำตาล DP 3, 5 และ 6 เป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบว่ามอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวก่ำมีลักษณะพิเศษ คือ ให้สีชมพูอ่อน แป้งกลุ่มสุดท้ายที่ใช้เวลาในการผลิตสูงที่สุด คือ แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชัยนาท 1 โดยใช้เวลาในช่วง 39.76-58.22 และ 36.00-55.54 นาที ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี DP 5, 6 และ 7 เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำตาลโมเลกุลต่ำ มอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าว 2 พันธุ์นี้มีความขุ่นสูง

กล่าวโดยสรุปได้ว่าแป้งข้าวที่ต่างพันธุ์กัน มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบเคมีในแป้งนี้เอง ทำให้เม็ดสตาร์ชภายในแป้งข้าวมีแรงยึดต่างกัน จึงส่งผลให้สมบัติทางกายภาพต่างกัน อีกทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลวในช่วง DE 15-20 ที่ผลิตได้มีความต่างกัน แม้จะผลิตโดยใช้วิธีเดียวกันให้ได้ค่า DE ที่ใกล้เคียงกันก็ตาม

ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเรื่องของฟลาวร์ข้าว ในกรณีที่ต้องการศึกษาสตาร์ชข้าว ควรใช้การเตรียมโดยวิธีโม่น้ำ ซึ่งจะสามารถกำจัดองค์ประกอบปนเปื้อนพวก โปรตีนและไขมันออกได้มาก

2. ปัจจุบันนิยมผลิตมอลโทเดกซ์ทรินในรูปผง ดังนั้นควรมีการนำมอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปทำให้เป็นผง โดยอาจใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฉีด (sproy dry) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งถ้ามีการทำแห้งมอลโทเดกซ์ทรินเหลวแล้วนั้น ควรต้องมีการศึกษาถึงองค์ประกอบของน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำภายในผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินผงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลวก่อนให้ความร้อน เพื่อศึกษาว่าความร้อนทำให้องค์ประกอบของน้ำตาลเปลี่ยนแปลงหรือไม่

3. มอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่ได้จากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดมีสีชมพูอ่อน เนื่องจากรงควัตถุ (pigment) จากข้าวสารเริ่มต้น ซึ่งถ้าข้าวสารเริ่มต้นมีการขัดสีออกไปไม่มากนัก จะทำให้มีรงควัตถุอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่ได้มีสีชมพูเข้มขึ้น

4. มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตขึ้นนี้สามารถแปรรูปเป็นน้ำเชื่อมหรือกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูงขึ้นได้ โดยการเพิ่มปริมาณเอนไซม์ หรือเพิ่มเวลาที่ใช้ในการผลิตเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์กลูโคสไซรัปที่ได้จากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดน่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีสันน่ารับประทาน

5. ในกระบวนการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน จะได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by product) คือ แป้งข้าวซึ่งถูกย่อยไปบางส่วน ซึ่งแป้งข้าวส่วนที่เหลือนี้มีงานวิจัยหลายงานพบว่าเป็นแป้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูง ดังนั้นจึงน่าจะมีการพัฒนาหรือนำแป้งข้าวส่วนนี้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการการเสริมโปรตีน เช่น ในผลิตภัณฑ์อาหารเด็ก หรือขนมอบกรอบ เนื่องจากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดเป็นแป้งที่มีสีชมพูอมม่วง น่าจะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีสันสวยงามได้โดยไม่ต้องมีการเติมสีผสมอาหารเจือปน