

## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 การศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

5.1.1.1) คุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

1) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตแบบสด (FMDF) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 2.99 1.04 และ 1.14 ตามลำดับ และเส้นใยอาหารจากฝรั่ง เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตแบบสด (FGDF) มีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 5.51 และ 1.03 ตามลำดับ เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีปริมาณแป้งทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 46.15 - 58.93 และ 0.44 - 0.97 ตามลำดับ กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารที่มีปริมาณแป้งทั้งหมดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ทั้งในกรณีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง (AMDF) และฝรั่ง (AGDF)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารของมะม่วงและฝรั่ง

ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารของมะม่วงแก้ว พบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตแบบสด (FMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอีก 3 วิธี โดย FMDF มี TDF สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 37.02 ส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) พบว่า FMDF และเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้ (AMDF) มีปริมาณ IDF ไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 27.44 และ 26.48 ตามลำดับ ในขณะที่พบว่ามีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) ต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 2.81 ส่วนเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตแบบสด (FGDF) มี TDF และ IDF สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 94.73 และ 81.88 ตามลำดับ เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้ (AGDF) มี SDF ต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอื่นอีก 3 วิธี โดยมีปริมาณ SDF เป็นร้อยละ 8.90

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activities) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้แบบแช่เยือกแข็ง (FDMD) มี TPC สูงที่สุด และมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดด้วยเช่นกัน โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 10.78  $IC_{50}$  mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริก เท่ากับ 104.01 mM Fe (III)/g และเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้ด้วยตู้อบลมร้อนแบบลาด (TGDF) ให้ปริมาณ TPC มากกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.74 g GAE/100g และมีความสามารถ

ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตจากวิธีอื่นๆ โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 11.40 mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอริก เท่ากับ 130.15 mM Fe (III)/g

#### 5.1.1.2) คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตแบบสด (FMDF) มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) สูงกว่ากรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ (9.45 g water/g dietary fiber และ 7.33 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ) และเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตแบบสด FGDF มีค่า มีค่า WHC และ OHC สูงกว่ากรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ด้วยเช่นเดียวกัน (16.67 g water/g dietary fiber และ 12.40 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ)

#### 5.1.2 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

5.1.2.1) ผลต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้า (Pasting properties)

แป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารมีความหนืดสูงสุด (PV) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (BD) และความหนืดสุดท้าย (FV) เป็น 358.95 163.14 และ 295.26 RVU ตามลำดับ การเติมเส้นใยอาหารของมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากการผลิตทั้ง 4 วิธี ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ส่งผลให้ความหนืด (PV) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (BD) และความหนืดสุดท้าย (FV) ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น

#### 5.1.2.2) ผลต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheology properties) ของเจลแป้งข้าวเจ้า

การทดสอบแบบ Frequency sweep test ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 พบว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม และไม่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธี และในทุกความเข้มข้นมีค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus,  $G'$ ) สูงกว่าโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus,  $G''$ ) แสดงให้เห็นว่าเจลเหล่านี้มีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง (Solid-like behavior) และเจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า  $G'$  และ  $G''$  เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น โดยเจลของแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (AMDF และ AGDF ตามลำดับ) มีค่า  $G'$  และ  $G''$  สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารชนิดอื่น ในการทดสอบแบบ Amplitude sweep test เมื่อกำหนดความเครียดเป็นร้อยละ 2 ความถี่ในการวิเคราะห์เป็น 1 Hz และ อุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส เจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ทำให้เจลมีค่า  $G'$  สูงกว่า  $G''$  ที่ความเข้มข้นเดียวกันในทุกตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าเจลมีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง มากกว่าของเหลว และพบว่าค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้แป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีค่าอัตราส่วนของโมดูลัสที่สูญเสียต่อโมดูลัสสะสม ( $G''/G'$ ) หรือค่า  $\tan \delta$  อยู่ระหว่าง 0.14-0.32 และ 0.15-0.25 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลของแป้งข้าวเจ้า แสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็ง

### 5.1.2.3) ผลต่อคุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal properties) ของแป้งข้าวเจ้า

คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้าที่เติมและไม่เติมเส้นใยอาหารพบการเปลี่ยนแปลง Endothermic สองช่วงคือ Endothermic ที่หนึ่งซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้าซึ่งพบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลิตีโนเซชัน ( $T_o$ ) อุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีโนเซชันสูงสุด ( $T_p$ ) และค่าพลังงานความร้อน (Enthalpy) ที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีโนเซชัน ( $\Delta H$ ) ของแป้งข้าวเจ้า ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDf) ไม่มีผลต่อค่า  $T_p$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า และผลของการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่า แป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ไม่มีผลต่อ  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า และเส้นใยอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ไม่มีผลต่อ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า

ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและลิพิด (Amylose-lipid complex) นั้นพบที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง ได้แก่ การเติม TMDF ทำให้ค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และการเติม FDMDf ไม่มีผลต่อค่า  $T_o$  และ  $T_p$  ของแป้งข้าวเจ้า ส่วนการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งพบว่า การเติม TGDF ไม่มีผลต่อค่า  $T_o$  และ  $T_p$  ของแป้งข้าวเจ้า ขณะเดียวกันพบว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีผลต่อ  $T_c$  ของแป้งข้าวเจ้า และการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีผลต่อค่า  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้าไม่แตกต่างกัน และการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 ไม่มีผลต่อ  $T_o$  และ  $T_p$  ของแป้งข้าวเจ้า ขณะเดียวกันพบว่ามีผลให้ค่า  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มสูงขึ้น

### 5.1.3 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม และเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDf) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างรวดเร็ว (RDS) แป้งส่วนที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ (SDS) แป้งส่วนที่ทนต่อการย่อย (RS) และดัชนีการย่อยได้ของแป้ง (SDI) แตกต่างกัน โดยเมื่อมีการเติม FDMDf ร้อยละ 7.5 ลงในแป้งข้าวเจ้ามีผลให้ปริมาณ RDS ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4.45 และทำให้ SDS เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95.02 นอกจากนี้ยังลด SDI ให้ต่ำลงมาเป็น 4.45 ในส่วนแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีปริมาณ RDS, SDS รวมทั้ง SDI ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง แต่มีผลทำให้ RS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ทำให้ปริมาณของ RS เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 2.76

จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งเป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการและมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อพิจารณาตามนิยามของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber; AODF) ตามรายงานของ Saura-Calixto, 1998 แล้วพบว่า เส้นใยอาหารจากมะม่วงมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เพียงพอต่อการเป็น AODF เนื่องจากต้องมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดใน 1 กรัม

ของเส้นใยอาหาร มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนเส้นใยอาหารจากฝรั่งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพียงพอต่อการนิยามว่าเป็น AODF เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดใน 1 กรัม มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามในส่วนของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ เส้นใยอาหารจากมะม่วงมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับเส้นใยอาหารจากฝรั่ง นอกจากนี้ ผลการศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และการย่อยได้ของแป้งยังแสดงให้เห็นว่าต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเช่นเดียวกับเส้นใยอาหารจากฝรั่ง และแม้ว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดต่ำกว่าฝรั่ง แต่เส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) สามารถลดการถูกย่อยได้ของแป้งลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการเติม FDMDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 สามารถลดค่า SDI ของแป้งข้าวเจ้าได้ถึง 2.4 เท่า ดังนั้นแม้ว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงไม่อาจจัดให้เป็น AODF ได้เช่นในกรณีของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง แต่เส้นใยอาหารจากมะม่วงมีแนวโน้มในการเป็นส่วนประกอบอาหารซึ่งช่วยให้แป้งถูกย่อยได้ช้าลง มีผลให้เกิดการปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงอาจช่วยให้ร่างกายควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ดี เป็นผลดีต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะผู้บริโภคที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงจะเพิ่มขึ้น เมื่อเส้นใยอาหารจากมะม่วงผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ในขณะที่เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยทำแห้งแบบอบด้วยตู้อบลมร้อนส่งผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากฝรั่งเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

ในการศึกษาครั้งต่อไปสามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากผลไม้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค และนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องกับแป้งที่ต้องการเพิ่มคุณค่าและประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ต่อไป