

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

1. สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकुพบว่าแป้งทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ A โดยที่แป้งมันสำปะหลังมีขนาดของเม็ดแป้งเล็กกว่าแป้งสาकु และปริมาณอะมิโลสมีค่าเท่ากับร้อยละ 17.44 และ 22.86 ตามลำดับ สำหรับแป้งผสมระหว่างแป้งทั้งสองชนิด มีปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาकुเพิ่มขึ้น พฤติกรรมการพองตัวของแป้งผสม ในช่วงอุณหภูมิ 55-95<sup>o</sup>ซ มีลักษณะใกล้เคียงกับพฤติกรรมการพองตัวของแป้งมันสำปะหลัง เช่นเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่อง RVA และอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งผสมอยู่ในช่วงที่ครอบคลุมอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकु มีผลให้ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันกว้างกว่าแป้งเดี่ยวๆ และอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาकुเพิ่มขึ้น โดยปริมาณอะมิโลสของแป้งมีผลต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้ง ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำลายพันธะไฮโดรเจน ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังการพองตัวและการละลาย อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดและอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งสาकुมีค่าสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่กว่าจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำและจับโมเลกุลของน้ำในระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชันมากกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กในสภาวะที่มีน้ำมากเกินไป ส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวและความหนืดของแป้งสาकुมีค่าสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสมเป็นสมบัติที่จำเพาะของแป้งทั้งสองชนิดที่แสดงออกพร้อมกัน ซึ่งมีผลให้สมบัติดังกล่าวต่างไปจากแป้งเดี่ยว

2. การศึกษาสมบัติของข้าวเกรียบแป้งผสมก่อนทอดระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकु ที่ปริมาณแป้งสาکور้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 ภายหลังจากการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100<sup>o</sup>ซ ระยะเวลาหนึ่งเป็นระยะเวลา 25-120 นาที พบว่าข้าวเกรียบแป้งผสมก่อนการทอดไม่สามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้โดยสมบูรณ์ โดยปรากฏลักษณะมอลดีสโครอสที่แสดงถึงคุณสมบัติในการเบี่ยงเบนระนาบแสงโพลาไรซ์ของตัวอย่างโดข้าวเกรียบแป้งผสมในทุกชุดการทดลอง บ่งชี้ให้เห็นว่าเจลของโดข้าวเกรียบยังมีโครงสร้างที่เป็นผลึกเหลืออยู่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณแป้งสาकुในแป้งผสมเพิ่มขึ้น และแม้ให้ระยะเวลาหนึ่งนานถึง 120 นาที ก็ยังสามารถมองเห็น

ลักษณะดังกล่าวอยู่ ซึ่งเมื่อตรวจวิเคราะห์การเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเกรียบด้วยเครื่อง DSC จากเทอร์โมแกรมของข้าวเกรียบแป้งผสมในทุกชุดการทดลอง พบว่าจะปรากฏพีคของการเกิดเจลลิตีในเซชันปรากฏอยู่ แสดงให้เห็นว่ายังมีโครงสร้างผลึกบางส่วนที่ไม่ถูกทำลาย ซึ่งเมื่อพิจารณาระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเกรียบแป้งผสม พบว่าปริมาณแป้งสาคูและระยะเวลาการนึ่งมีผลต่อระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเกรียบแป้งผสมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 55.46-83.12 ซึ่งระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเกรียบแป้งผสมมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณแป้งสาคูเพิ่มขึ้น และระยะเวลาการนึ่งนานขึ้นมีผลให้ระดับของการเกิดเจลลิตีในเซชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยข้าวเกรียบทุกชุดการทดลองที่ระยะเวลาหนึ่ง 60 นาที มีระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันแตกต่างกับที่ระยะเวลาหนึ่ง 45 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่พบว่าในช่วงที่ระยะเวลาการนึ่งนาน 60-120 นาที ระดับการสุกของข้าวเกรียบแป้งผสมไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ระดับของการเกิดเจลลิตีในเซชันเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะเมื่อเพิ่มระยะเวลาหนึ่งนานขึ้น ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้งถูกทำลายมากขึ้น ส่งผลให้ข้าวเกรียบแป้งผสมมีระดับของการสุกเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าปริมาณแป้งสาคูและระยะเวลาหนึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของแผ่นข้าวเกรียบแป้งผสมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำลดลง เมื่อปริมาณแป้งสาคูเพิ่มขึ้น ขณะที่ระยะเวลาหนึ่งเพิ่มขึ้นมีผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของข้าวเกรียบแป้งผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำของแผ่นข้าวเกรียบแห้งที่ระยะเวลาหนึ่ง 60-120 นาที ความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของชุดการทดลองที่มีปริมาณแป้งสาคูร้อยละ 0 และ 6 ที่ระยะเวลาหนึ่งนาน 105 และ 120 นาที มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีระยะเวลาการนึ่งสั้นกว่า ทั้งนี้อาจเพราะแป้งมันสำปะหลังมีอุณหภูมิของการเกิดเจลลิตีในเซชันต่ำกว่าแป้งสาคู และเมื่อให้ระยะเวลาหนึ่งนานขึ้น ทำให้โมเลกุลของแป้งที่หลุดออกจากเม็ดแป้งระหว่างกระบวนการเกิดเจลลิตีในเซชันและเกิดการแตกหักจนสูญเสียความสามารถในการดูดซับน้ำและเป็นผลให้การละลายเพิ่มขึ้น

3. จากการศึกษาสมบัติของข้าวเกรียบแป้งผสมภายหลังการทอด พบว่าปริมาณแป้งสาคูมีผลต่ออัตราการพองตัว, ลักษณะและจำนวนโพรงอากาศต่อพื้นที่ปรากฏ และค่าแรงกดของข้าวเกรียบแป้งผสมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยอัตราการพองตัวของชุดการทดลองที่มีแป้งสาคูร้อยละ 0 (มีเฉพาะแป้งมันสำปะหลัง) มีอัตราการพองตัวสูงสุด และอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบลดลงเมื่อปริมาณของแป้งสาคูเพิ่มขึ้น โดยชุดการทดลองที่มีปริมาณแป้งสาคูสูงสุด (ร้อยละ 24) มีอัตราการพองตัวต่ำที่สุด และปริมาณแป้งสาคูที่เพิ่มขึ้น มีผลให้จำนวนโพรงอากาศเพิ่มขึ้นและมีขนาดเล็กลง และพบว่าเมื่อปริมาณของแป้งสาคูในข้าวเกรียบแป้งผสมเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าแรง

กคของเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบแป้งผสมมีแวนโนมสูงขึ้น โดยข้าวเกรียบแป้งผสมที่ปริมาณแป้งสาคร้อยละ 24 มีค่าแรงกดสูงสุด ขณะที่ข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าแรงกดน้อยที่สุด ระยะเวลาหนึ่งมีผลต่ออัตราการพองตัว, ลักษณะและจำนวนโพรงอากาศต่อพื้นที่ปรากฏ และค่าแรงกดของข้าวเกรียบแป้งผสมในทุกสัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวเกรียบมีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง 25-60 นาที แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาหนึ่งนานขึ้นเป็น 75-120 นาที มีผลให้อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบแป้งผสมลดลง โดยทุกสัดส่วนแป้งผสม (ปริมาณแป้งสาคร้อยละ 0-24) มีอัตราการพองตัวสูงสุดที่ระยะเวลาหนึ่งนาน 60 นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 187.15-182.04 และระยะเวลาหนึ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลให้โพรงอากาศขนาดใหญ่ขึ้นแต่มีจำนวนลดลง โดยชุดการทดลองที่ระยะเวลาหนึ่ง 60 นาที มีจำนวนโพรงอากาศน้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติจากชุดการทดลองที่ระยะเวลาหนึ่ง 45 นาที แต่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ระยะเวลาหนึ่งนานกว่า คือ 75-120 นาที ซึ่งจำนวนโพรงอากาศมีแวนโนมลดลง และระยะเวลาหนึ่งของข้าวเกรียบมีผลต่อค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยทุกชุดการทดลองที่ระยะเวลาหนึ่ง 25-60 นาที แรงกดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง 60-120 นาที ค่าแรงกดเฉลี่ยของข้าวเกรียบแป้งผสมหลังทอดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งระยะเวลาหนึ่ง 60 นาที เป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ข้าวเกรียบมีค่าแรงกดไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่มีระยะเวลาหนึ่งสูงกว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของข้าวเกรียบแป้งผสมหลังทอดมีความสัมพันธ์กับสมบัติของระดับการเกิดเจลลาติโนเซชันของเจลข้าวเกรียบแป้งผสม (ข้าวเกรียบก่อนทอด) โดยระดับการเกิดเจลลาติโนเซชันที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาหนึ่งนานขึ้น มีผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและโมเลกุลของน้ำถูกจับยึดไว้ภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งที่พองตัวมากขึ้น จากผลดังกล่าวจึงส่งผลให้เมื่อทอดข้าวเกรียบ แรงดันที่เกิดขึ้นจากการระเหยเป็นไอของน้ำสามารถดันให้แผ่นข้าวเกรียบมีการขยายตัวออกได้มาก อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบจึงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบจะมีค่าสูงสุด ณ จุดที่เม็ดแป้งมีการพองตัวเต็มที่ในการนึ่งโดยข้าวเกรียบ ข้าวเกรียบที่มีอัตราการพองตัวสูง มีผลให้โมเลกุลของแป้งที่ล้อมรอบช่องโพรงอากาศมีความหนาแน่นน้อย ข้าวเกรียบจึงแตกหักได้ง่าย ค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสที่วัดได้มีค่าน้อย ขณะที่ระยะเวลาหนึ่งนานมากกว่า 60 นาที มีผลให้โครงสร้างของแป้งถูกทำลายมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งเกิดการแตกตัวมากขึ้น หากเม็ดแป้งจำนวนหนึ่งเกิดแตกตัวไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้และโมเลกุลเกิดการแตกหักมากขึ้น ทำให้เจลข้าวเกรียบไม่แข็งแรง เมื่อได้รับความร้อนจากการทอดแรงดันไอน้ำที่เกิดขึ้น ดันเจลข้าวเกรียบได้โดยง่าย มีผลให้ผนังเจลบางไม่มีความแข็งแรงที่จะอุ้มน้ำไว้ได้ ทำให้โพรงอากาศเกิดการรวมตัวกันและขยายขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบและค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสจึงลดลง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะมิโลสในแป้งผสมอันเนื่องมาจากแป้งสาครมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า โดยอาจ

มีผลให้เกิดการกลับมาเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสในเจลของข้าวเกรียบหลังการนึ่ง หรือ เกิดรีโทรเกรเดชันสูงขึ้น มีผลให้โครงสร้างเจลข้าวเกรียบมีความแข็งแรงมากขึ้นและเกิดการขยายตัวได้ยากในระหว่างการทอด อัตราการพองตัวจึงต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณแป้งสาคุ (ปริมาณอะมิโลส) ต่ำ ทำให้เมื่อระยะเวลาหนึ่งนานขึ้น ข้าวเกรียบที่มีปริมาณแป้งสาคุสูง จึงมีค่าแรงกดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการผสมแป้งสาคุ ทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดเล็กและมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาคุเพิ่มขึ้น ซึ่งโพรงอากาศขนาดเล็กจะทำให้เกิดความสม่ำเสมอของโพรงอากาศในแผ่นข้าวเกรียบแป้งผสมภายหลังการทอด ซึ่งการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอของโพรงอากาศจะมีผลเสริมความแข็งแรงของให้กับโพรงอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบแป้งผสมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาคุเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะกรอบแข็ง ขณะที่ข้าวเกรียบแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการพองตัวสูงและลักษณะโพรงอากาศมีขนาดใหญ่ ดังนั้นข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังจะมีโพรงอากาศขนาดใหญ่ ทำให้ข้าวเกรียบมีความหนาแน่นต่ำและโพรงอากาศไม่แข็งแรง ข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังจึงแตกหักได้ง่าย ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะกรอบแต่เปราะส่งผลให้ค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าน้อยกว่า

4. จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของข้าวเกรียบแป้งผสม (ปริมาณแป้งสาคุร้อยละ 24) ภายหลังทอดเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบแป้งมันสำปะหลังที่ระยะเวลาหนึ่งนาน 60 นาที ในระหว่างการเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าแรงกดของเนื้อสัมผัส และปริมาณ TBARS ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวเกรียบที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนมีค่าสูงกว่าข้าวเกรียบที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมลามิเนต ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ขณะที่ชนิดของแป้งที่ใช้หรืออีกนัยหนึ่งคือ แป้งสาคุในแป้งผสมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้าวเกรียบในสมบัติต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ( $p > 0.05$ ) การเปลี่ยนแปลงจึงมีอิทธิพลมาจากชนิดของบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ถุงโพลีโพรพิลีนมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ออกซิเจน สูงกว่าถุงอะลูมิเนียมลามิเนตซึ่งเป็นถุงทึบแสงมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และออกซิเจนต่ำ และยังสามารถป้องกันการแสงแดด ปัจจัยเหล่านี้มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านค่าความชื้น และมีผลเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ข้าวเกรียบที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น ค่าแรงกด และค่าการเกิดการหืนสูงกว่าในถุงอะลูมิเนียมลามิเนต และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าข้าวเกรียบแป้งผสมที่มีปริมาณแป้งสาคุร้อยละ 24 ภายหลังการเก็บเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณแป้งสาคุในแป้งผสมมีผลให้อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบแป้งผสมลดลง ทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดเล็กและมีจำนวนมากขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาคุเพิ่มขึ้น ซึ่งโพรงอากาศขนาดเล็กที่เกิดขึ้นมีผลให้เกิดความสม่ำเสมอของโพรงอากาศในแผ่น

ข้าวเกรียบแป้งผสมหลังทอด ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบแป้งผสมมีความแข็งแรง จึงอาจทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบแป้งผสมเนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น มีอัตราการเปลี่ยนแปลงช้ากว่า จึงส่งผลให้ค่าแรงกดเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบแป้งผสมมีค่าน้อยกว่าข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ภายหลังจากเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่มีการผสมแป้งสาตุทดแทนแป้งมันสำปะหลังสามารถคงความกรอบได้นานกว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

Prince of Songkla University  
Pattani Campus