1. บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย

แผ่นแป้งแหนมเนือง (rice paper) หรือที่เรียกว่าแป้งแผ่น ใบเมี่ยง หรือใบกระยอเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากข้าวโดยทำมาจากข้าวเจ้าที่นำมาโม่ หรือแป้งข้าวเจ้าซึ่งอาจมีแป้งอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุกและทำให้แห้ง แล้วนำมาตัดให้ได้รูปและขนาดตามที่ต้องการ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) ข้าวเจ้าที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองควรเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ระหว่าง 27-33 %) (งามชื่น คงเสรี, 2536) เนื่องจากอะไมโลสมีบทบาทสำคัญในการสร้าง gel network หลังจากที่แป้งเกิดการเจลาติไนซ์จากการให้ความร้อนการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลสและอะไมโลสกับอะไมโล- เพคตินจะทำให้เจลแป้งที่ได้มีความแข็งแรง เมื่อผ่านการทำให้แห้งแผ่นแป้งจะมีความคงรูป เหนียวไม่ขาดง่าย นอกจากปริมาณอะไมโลสแล้วปริมาณโปรตีนที่เหลือในแป้งโม่ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนสำคัญต่อสมบัติของแผ่นแป้ง เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวจะไปห่อหุ้มเม็ดแป้งไว้ทำให้แป้งดูดซึมน้ำได้น้อยลง การพองตัวไม่ดี ส่งผลให้การแตกตัวของเม็ดแป้งลดลง (อำพร ทับปลา, 2544) เมล็ดข้าวที่มีโปรตีนน้อย แป้งจะมีความนุ่มไม่กระด้าง เนื่องจากโปรตีนที่หุ้มรอบ ๆ เม็ดแป้งเกิดการสลายตัวขณะการหมักข้าวหรือแช่ข้าว อำพร ทับปลา (2544) รายงานว่าแผ่นแป้งที่ผลิตจากแป้งที่สกัดโปรตีนออกบางส่วนด้วยด่างหรือเกลือจะมีความเหนียวและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

วิธีการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองจะคล้ายกับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำได้โดยการละเลงน้ำแป้งให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุกและทำให้แห้ง แล้วนำมาตัดให้มีรูปทรงและขนาดตามต้องการ แผ่นแป้งที่ได้มีลักษณะแผ่นบางใส สีขาว เมื่อนำมาแช่น้ำหมาดๆจะมีลักษณะเหนียวนุ่ม (อรพิน ภูมิภมร, 2533) สำหรับการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองในประเทศไทยมีมานานแล้วโดยเริ่มจากชาวเวียดนามที่อพยพเข้ามาอาศัยในประเทศไทย ข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรมรายงานว่าในปีพ.ศ.2548 ประเทศไทยมีการผลิตแผ่นแป้ง 768 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 63.9 ล้านบาท (กระทรวงพานิชย์, 2548) โดยส่วนใหญ่ส่งออกไปยังประเทศแถบยุโรปและแถบอเมริกาที่มีชาวเวียดนามอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ, 2537)

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นแป้งแหนมเนืองพบว่ามีค่อนข้างน้อยโดย Phothiset และ Charoenrein (2006) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า (rice

flour) ในกระบวนการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนือง พบว่าการหมักแป้งโม่ในน้ำเกลือเข้มข้น 5% นาน 48 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณไขมัน โปรตีนและอะไมโลสในแป้งโม่ลดลง ผิวของเม็ดแป้งมีลักษณะที่ขรุขระมากขึ้นและพบรูพรุนที่ผิวแป้งหมักมีความหนืดลดลงและมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงขึ้น

อำพร ทับปลา (2544) ศึกษาวิธีการสกัดโปรตีนออกจากแป้งข้าวเจ้า วิธีการผลิตและการเปลี่ยนแปลงของแผ่นแป้งระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 N สามารถสกัดโปรตีนได้มีประสิทธิภาพ ส่วนวิธีการผลิตแผ่นแป้งที่เหมาะสมคือ โม่เปียกแป้งข้าวเจ้าแล้วปรับความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.15 ผสมเกลือ 3% ของน้ำหนักแป้งหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ละเลงบนหม้อนึ่งเป็นเวลา 1 นาที ลอกออกตากแดดและลม ผู้บริโภคยอมรับแผ่นแป้งที่ผลิตด้วยกระบวนการดังกล่าวและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาแผ่นแป้งได้นานถึง 6 เดือน

มันตา โอมะคุปต์ (2538) สำรวจและเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนืองจากแหล่งผลิตมาตรวจสอบสมบัติด้านต่างๆโดย พบว่าปัญหาสำคัญในด้านคุณภาพของแผ่นแป้งคือ แตกร้าวได้ง่ายซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการเก็บและการขนส่ง เนื้อสัมผัสของแผ่นแป้งเละและติดกันเมื่อจุ่มน้ำเพื่อเตรียมบริโภค จึงได้ออกแบบควบคุมการผลิตให้มีมาตรฐานโดยควบคุมขั้นตอนการผลิต ตรวจสอบคุณภาพของแผ่นแป้งระหว่างการผลิต และควบคุมสุขลักษณะในการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองพบว่าปริมาณจุลินทรีย์และกรดเพิ่มขึ้นเมื่อหมักน้ำแป้งไว้ 24 ชั่วโมง คะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ดี อายุการเก็บรักษา 12 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง

อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์ (2546) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตข้าวแผ่นเพื่อการอุตสาหกรรมขนาดย่อมใน 5 จังหวัด คือ จังหวัดหนองคาย อุดรธานี สกลนคร มุกดาหาร และอุบลราชธานี โดยศึกษาสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปข้าวแผ่น เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเทคโนโลยีการเก็บรักษาข้าวแผ่นให้มีคุณภาพรวมถึงโครงสร้างทางการตลาดของแผ่นแป้งด้วย โดยพบว่าควรใช้ข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 27 เป็นข้าวที่มีอายุการเก็บไม่ต่ำกว่า 3-4 เดือนข้าวเจ้าพันธุ์แดง ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง มีศักยภาพสามารถนำมาแปรรูปเป็นข้าวแผ่นได้ดีมาก ด้านการตลาดผู้ผลิตขาดความมั่นใจทำในการทำตลาดด้วยตนเองให้การขยายตัวของการผลิตและการตลาดข้าวแผ่นเป็นไปอย่างช้ามากและมีแนวโน้มลดลง

จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในด้านคุณภาพของแผ่นแป้งก็คือ แผ่นแป้งที่ได้บางส่วนมีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีรอยแตกในแผ่น ซึ่งจะทำให้แตกร้าวได้ง่ายในขณะเก็บ

และขนส่ง เนื้อสัมผัสของแผ่นแป้งเละและติดกันเมื่อจุ่มน้ำ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะดังกล่าวก็คือ คุณภาพของข้าวเจ้าที่นำมาใช้ ซึ่งในส่วนนี้สิ่งที่น่าจะพัฒนาต่อไปได้คือการศึกษาหาสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบ อีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจที่น่าจะนำมาพัฒนาวัตถุดิบได้ก็คือการผสมแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นๆ เพื่อปรับคุณลักษณะของเจลแป้ง เทคนิคการใช้แป้งผสมเป็นภูมิปัญญาไทยที่ใช้กันมานาน สังเกตได้จากสูตรขนมไทยชนิดต่างๆ ที่มักจะไม่ใช้แป้งชนิดเดียว แต่จะผสมแป้งอื่นๆ เข้าไปด้วยในสัดส่วนต่างๆ ขึ้นกับว่าต้องการเนื้อสัมผัสของขนมเป็นแบบใด ด้วยแนวคิดนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นที่จะส่งผลที่ดีต่อคุณภาพของแผ่นแป้งแหนมเนือง

พุทธรักษากินได้ (edible canna) หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Canna edulis* มีลักษณะคล้ายกับพุทธรักษาประดับทั่วไปแต่มีดอกที่เล็กกว่า มีส่วนหัวใต้ดินที่มีขนาดใหญ่และสะสมแป้งไว้มาก ในแถบเอเชียพบในประเทศจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น เวียดนามและไทย การบริโภคส่วนใหญ่จะนำเอาหัวมาสกัดแป้งแล้วนำมาผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวหรือใบเมี่ยง เป็นต้น ด้วยสมบัติของแป้งพุทธรักษาที่มีปริมาณอะไมโลส ปรากฏในช่วง 21-28 % (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เหมาะกับการเกิดเจลของแป้ง มีการคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชันซึ่งวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) อยู่ในช่วง 67-82 % (Thitipraphunkul et al., 2003) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงมีผลดีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความเหนียวของแผ่นแป้ง และจากการศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มจากแป้งพุทธรักษาโดยสายตะวัน เลียววสุต (2547) พบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะแข็ง ใส มีความแข็งแรงสูง ดังนั้นการนำแป้งพุทธรักษามาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองน่าจะช่วยให้แผ่นแป้งมีความแข็งแรง ไม่แตกร้าวหรือหักง่ายและอาจช่วยให้แผ่นแป้งมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วน (10-40%) ในผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนืองเพื่อปรับปรุงคุณภาพและสมบัติบางประการของแผ่นแป้งแหนมเนือง โดยจะทำการวิเคราะห์คุณภาพของแผ่นแป้งที่ได้ทั้งทางด้านลักษณะปรากฏ องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางกลและการทดสอบทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งในการผลิตแผ่นแป้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งข้าวเจ้าในระหว่างขั้นตอนการผลิตอาจส่งผลต่อคุณภาพของแผ่นแป้งแหนมเนืองด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้าในระหว่างการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองและปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของแผ่นแป้งแหนมเนืองโดยใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้าในระหว่างการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนือง

1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2002)

1.1.2 ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (2002)

1.1.3 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (2002)

1.1.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2002)

1.1.5 ปริมาณอะไมโลส ตามวิธีการของ Ratnayake et al. (2001)

1.1.6 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ตามวิธีการของ AOAC (1972)

1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) Puncha-arnon et al. (2007)

1.3 ศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

1.3.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA) Thitipraphunkul et al. (2003a)

1.3.2 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งด้วยเครื่อง diffrrential scanning calorimeter (DSC) Puncha-arnon et al. (2007)

2. ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของแผ่นแป้งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดกับแผ่นแป้งที่ได้จากการทดลอง

ปัจจัยที่ศึกษา คือ ระดับส่วนผสมของแป้งพุทธรักษากินได้ 4 ระดับคือ 10%, 20%, 30% และ 40% ของส่วนผสมทั้งหมดของแป้งข้าวเจ้า โดยทำการศึกษาสมบัติของแผ่นแป้งดังนี้

2.1 ลักษณะปรากฏของแผ่นแป้ง สี ความขุ่นใส และความหนาสม่ำเสมอของแผ่นแป้ง

2.2 ความสามารถต้านทานการแตกหักของแผ่นแป้งขณะแห้ง (breaking strength)

2.3 ความสามารถต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นแป้งขณะเปียก (tensile strength)

2.4 ความสามารถในการยืดตัวของแผ่นแป้งขณะเปียก (elongation)

2.5 ความสามารถทนแรงตัดขาดของแผ่นแป้งขณะเปียก (cutting force)

2.6 ความสามารถในการละลายได้ของแผ่นแป้งในน้ำ

2.7 โครงสร้างพื้นผิวของแผ่นแป้งโดยใช้ scanning electron microscope (SEM)

2.8 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้ง โดยใช้ stereo microscope

2.9 สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA)

2.10 วิเคราะห์ค่า water activity

3. ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

โดยพิจารณาลักษณะทางเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความเหนียว-นุ่ม ความขุ่นใสและความชอบโดยรวมโดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำแป้งพุทธรักษามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นแป้งแหนมเนือง

2. ได้ข้อมูลระดับการทดแทนที่เหมาะสมซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองในระดับการค้าต่อไป

3. ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำแป้งพุทธรักษาไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป

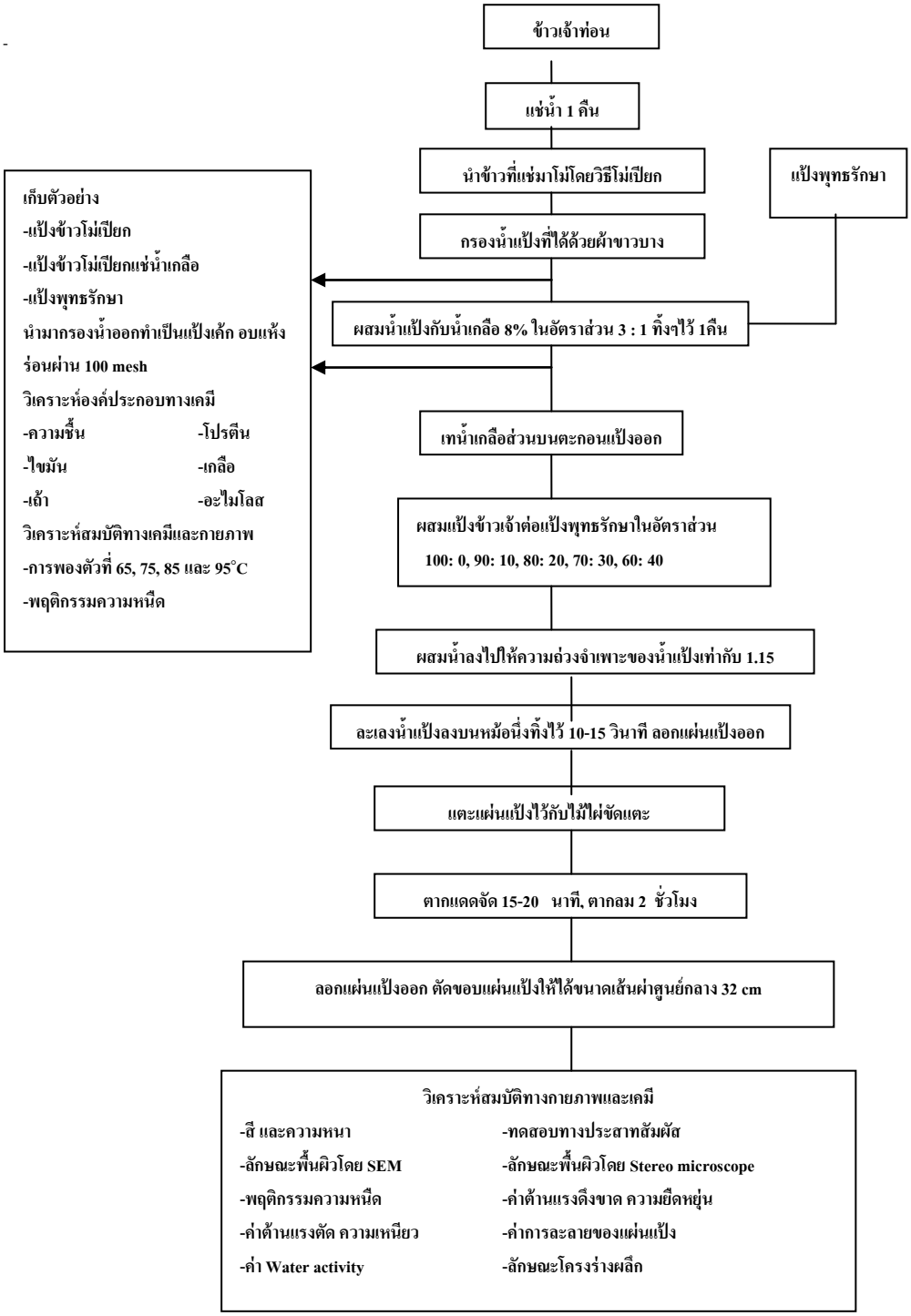
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปเป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.1 โดยได้นำข้าวเจ้าท่อนมาทำความสะอาดและแช่น้ำเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปโม่ในเครื่องโม่ด้วยวิธีโม่เปียก แล้วกรองน้ำแป้งด้วยผ้าขาวบาง (ในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าไปอบแห้งและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 100 mesh) จากนั้นผสมน้ำเกลือความเข้มข้น 8 % ลงไปในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเกลือเท่ากับ 3:1 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ในขณะเดียวกันจะนำแป้งพุทธรักษามาผสมกับน้ำเกลือความเข้มข้น 8 % ในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเกลือเท่ากับ 3:1 และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้า เมื่อครบกำหนดเวลาจะเทน้ำเกลือส่วนบนออก (เก็บตัวอย่างแป้งข้าวโม่ที่ผ่านการแช่น้ำเกลือไปอบแห้งและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 100 mesh) และนำแป้งข้าวเจ้ามาผสมกับแป้งพุทธรักษาในอัตราส่วน 100: 0, 90: 10, 80: 20, 70: 30, 60: 40 ตามลำดับ ปรับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแป้งทุกตัวอย่างให้มีค่าเท่ากับ 1.15 ละเลงน้ำแป้งแต่ละตัวอย่างลงบนหม้อนึ่ง 10-15 วินาที จากนั้นลอกออกด้วยม้วนฟองน้ำ นำลงแตะบนไม้ไผ่ขัดสาน ตากแดดจัดเป็นเวลา 15-20 นาที และเข้าห้องตากลมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงลอกแผ่นแป้งออกเข้าเครื่องตัดขอบ (เก็บตัวอย่างแผ่นแป้งทั้ง 5 ตัวอย่าง)

นำตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าโม่เปียก แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่เกลือและแป้งพุทธรักษาไปวิเคราะห์องค์ประ กอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพ ส่วนตัวอย่างแผ่นแป้งแหนมเนืองทั้ง 5 ตัวอย่าง จะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี เคมีกายภาพ สมบัติทางกลและการทดสอบทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับแผ่นแป้งทางการค้า 2 ยี่ห้อ

2.1 วัตถุดิบ

- ข้าวเจ้า (ข้าวท่อน) ได้จากโรงงานผลิตแผ่นแป้งที่ จ. หนองคาย
- แป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีน ทำการเพาะปลูกที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง จังหวัดระยอง และเก็บเกี่ยวเหง้าหลังจากเพาะปลูกประมาณ 10 เดือน นำมาสกัดแป้งตามวิธีการของ Thitipraphunkul et al. (2003a)
- แป้งข้าวเจ้า แปรรูปจากข้าวท่อนที่จำหน่ายใน จ. หนองคาย เป็นข้าวเก่าที่เก็บมาประมาณ 3-4 เดือน สายพันธุ์ไม่ทราบแน่นอน
- แผ่นแป้งทางการค้าที่ขายตามท้องตลาดยี่ห้อ A และ B



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

- ปิโตรเลียมอีเทอร์

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- กรดซัลฟุริกเข้มข้น (sulfuric acid; H_2SO_4)
- สารละลายมาตรฐานกรดเกลือเข้มข้น 0.01 N (hydrochloric acid; HCl)
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% (sodium hydroxide; NaOH)
- สารละลายกรดบอริคเข้มข้น 4% (boric acid; H_3BO_3)
- สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst mix)
- แมทธิลเรด-โบรโมครีซอล กรีนอินดิเคเตอร์ (methyl red-bromocresol green)

การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์

- สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 N (silver nitrate; $AgNo_3$)
- สารละลายโปแตสเซียมโครเมต 5% (potassium chromate; K_2CrO_4)

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

- ไดเมททิลซัลฟอคไซด์ 90% (dimethly sulfoxide; DMSO 90%)
- สารละลายไอโอดีน (0.025 M I_2/0.0065 M KI)

2.3 อุปกรณ์

2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

- ถ้วยอลูมิเนียม (aluminium dish)

- ตู้อบความร้อน (hot- air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM200 ประเทศ Germany
- เดซิเคเตอร์ (desicator)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น A200S ประเทศ Germany

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

- ชุดเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet) ยี่ห้อ T-tetator รุ่น 1043

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- ชุดเครื่องย่อยโปรตีน (digestion unit) ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น KBL-20 ประเทศ Germany
- ชุดเครื่องกลั่น (distillation unit) ยี่ห้อ T-tetator รุ่น 1026

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าและปริมาณโซเดียมคลอไรด์

- ถ้วยเผา (crucible)
- เตาเผา (furnace)

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

- เครื่อง UV-Visible spectrophotometer ยี่ห้อ Labomed รุ่น Spectro 22 ประเทศ U.S.A.

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพของแป้ง

การศึกษาพฤติกรรมความหนืด

- เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (RVA-4 SA, Newport Scientific PYT Ltd., NSW, Australia)
- เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Perkin Elmer Corp., Norwalk, CT)

2.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติแผ่นแป้งแหนมเนือง

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- เครื่องวัดความหนา (micrometer) ยี่ห้อ E.J. CADY & CO รุ่น T.T. ประเทศ U.S.A.
- เครื่องวัดสี (colorimeter) ยี่ห้อ Minolta Chroma Meter CR-300
- เครื่อง scanning electron microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800 ประเทศ Japan

การวิเคราะห์สมบัติทางกล

- เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (texture analyzer) (รุ่น TA-XT2, England) หัวทดสอบแบบ Spaghetti/Noodle tensile rig
- เครื่องทดสอบความต้านทานแรงตัดขาด (texture analyzer) (รุ่น TA-XT2, England) หัวทดสอบแบบ Warner-bratzler blade
- เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (texture analyzer) (รุ่น TA-XT2i, England) หัวทดสอบแบบ Small cylinder probe

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 วิธีการเตรียมแผ่นแป้งแหนมเนือง

แผ่นแป้งในงานวิจัยนี้เตรียมที่ตำบลท่าบ่อ อำเภอศรีเชียงใหม่ จังหวัดหนองคาย ตามวิธีการที่ใช้โดยผู้ผลิตแผ่นแป้งรายย่อยในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน (วิธีของวิไล โผนสะอาด) โดยมีวิธีการผลิตดังนี้ นำปลายข้าวหักมาล้างทำความสะอาดและแช่ในน้ำเป็นเวลา 18 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวอ่อนตัวลง จากนั้นนำเข้าเครื่องโม่โดยใช้การโม่เปียก แป้งที่ได้จากการโม่นำมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อให้ได้แป้งเนื้อละเอียด จากนั้นเทน้ำเกลือความเข้มข้น 8% ลงไปแช่ไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ส่วนขั้นตอนการเตรียมแป้งพุทธรักษาก็เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าคือ นำแป้งพุทธรักษาแช่น้ำเกลือความเข้มข้น 8% เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หลังจากขั้นตอนในการแช่น้ำเกลือแล้วจะนำแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการแช่น้ำเกลือมาผสมกันในอัตราส่วนแป้งพุทธรักษาต่อแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 0:100 โดยน้ำหนัก แล้วจึงผสมน้ำประปาลงไปให้ได้ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.15 นำน้ำแป้งที่เตรียมได้ไปละเลงบนหม้อนึ่งไอน้ำที่มีผ้าขาวบางขึงอยู่บนปากหม้อ ใช้เวลาเกลี่ยและทิ้งไว้ประมาณ 15 วินาที ทำการลอกแป้งออกจากปากหม้อด้วยไม้พันฟองน้ำแผ่นแป้งจะถูกดูดติดออกมา นำไปแตะลงบนไม้ไผ่ขัดสาน จากนั้นนำออกตากแดดจัดๆเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำเข้าผึ่งลมในที่ร่มเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงขณะที่ตากในห้องจะต้องทำการกลับตะแกรงตากเพื่อให้แผ่นแป้งแหนมเนืองมีความชื้นสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น เมื่อตรวจสอบว่าแห้งสนิทดีแล้วจะลอกแผ่นแป้งออก จากนั้นนำแผ่นแป้งเข้าเครื่องตัดขอบกลมและนำไปบรรจุในถุงพลาสติก

ในระหว่างการเตรียมแผ่นแป้งจะทำการเก็บตัวอย่างแป้งดังนี้ แป้งข้าวเจ้าโม่เปียก แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกและแป้งพุทธรักษาหลังการหมักในน้ำเกลือ นำตัวอย่างแป้งมาดูดน้ำออก (suction) โดยใช้

กระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วเกลี่ยแป้งที่ได้ลงบนถาด นำออกตากแดดเพื่อลดความชื้น แล้วไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ทำการบดแห้ง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แป้งที่ได้จะเก็บในถุงซิบป้องกันความชื้นก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง (proximate analysis)

2.4.2.1 ปริมาณความชื้น (moisture content) วิเคราะห์โดยวิธี Direct Heating Method (AOAC, 2002)

วิธีวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

1. นำ aluminium dish พร้อมฝาปิดมาอบใน hot-air oven ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน ประมาณ 20 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นใน Desiccators แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 2 g ใส่ใน aluminium dish บันทึกน้ำหนักของ aluminium dish พร้อมฝาปิดและตัวอย่าง (W_1)
3. นำไปอบใน Hot-Air oven ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C โดยเปิดฝา aluminium dish ไว้เล็กน้อย นาน 1 ชั่วโมง ปิดฝาแล้วนำมาทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักของ aluminium dish พร้อมฝาปิดและตัวอย่างหลังอบแห้งแล้ว
4. อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่หรือต่างกันไม่เกิน 0.1% (ทศนิยมตำแหน่งที่ 3) น้ำหนักที่น้อยที่สุดถือเป็นน้ำหนักของ aluminium dish และตัวอย่างหลังอบแห้งแล้ว (W_2)

$$\text{Moisture Content (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักของ aluminium dish และตัวอย่างก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักของ aluminium dish และตัวอย่างหลังอบแห้งแล้ว

2.4.2.2 ปริมาณไขมันรวม (AOAC, 2002)

วิธีการวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

1. ชั่งแป้ง 3-4 g (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่กระดาษกรองและห่อตัวอย่างใส่ลงในทิมเบิล (thimble)

2. นำทิมเบิลใส่ในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxtec HT)

3. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในถ้วยสกัด (extraction cup) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนปริมาตร 40 ml

4. นำไปใส่ในเครื่องวิเคราะห์ไขมันทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยนำทิมเบิลแช่ลงในตัวทำละลาย 20 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้นให้ตัวทำละลายชะน้ำมันในตัวอย่างอีก 40 นาที

5. เมื่อครบระยะเวลาระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก แล้วทำการระเหยส่วนที่เหลือในตู้อบที่อุณหภูมิ 100^0C เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักของไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมัน (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

2.4.2.3 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2002)

วิธีการวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

1. ชั่งแป้ง 2 g ใส่ใน Kjeldahl tube

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 1 เม็ดและเติม H_2SO_4 เข้มข้น 7 ml

3. ย่อยด้วยเครื่อง Digestion unit เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนตัวอย่างใสเป็นสีฟ้าอ่อน

4. ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็นแล้วจึงประกอบเข้ากับเครื่อง Digestion unit

5. เตรียมสารละลายกรดบอริคความเข้มข้น 4% ใส่ flask ขนาด 250 ml ปริมาตร 25 ml และหยดอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด เพื่อรองรับสารที่กลั่นได้

6. ตั้งโปรแกรมให้เครื่องเติมน้ำกลั่น 20 ml และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น40% ปริมาตร 60 ml หรือเติมสารละลาย NaOH จนสารละลายตัวอย่างเป็นสีน้ำตาล

7. ทำการกลั่นตัวอย่างนาน 3.5 นาที เสร็จแล้วจึงนำ flask ที่มีสารรองรับมาไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ 0.01 N จนสารละลายถึงจุดยุติเป็นสีม่วง

ปริมาณโปรตีนในแป้ง (%) = ปริมาณไนโตรเจน (%) x 6.25

ปริมาณไนโตรเจน(%) =

$$\frac{\text{(ปริมาตร HCl ที่ใช้กับตัวอย่าง – ปริมาตร HCl ที่ใช้กับ Blank) x N ของ HCl x 14 x 100}}{\text{(น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่าง) x 1,000}}$$

2.4.2.4 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) (AOAC, 1970)

วิธีการวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแป้งปริมาณ 2 กรัม ใส่ลงใน crucible จากนั้นนำเข้าเผาในเตาเผา (furnace) ที่อุณหภูมิ 550 ^{0}C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา
2. นำเถ้าที่ได้จากการเผามาละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 30 ml
3. เติม 1 ml 5 % Potassium Chromate (K_2CrO_4) เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์
4. นำสารละลายที่ได้มาไตเตรตกับ 0.1 N ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) จนถึงจุดยุติซึ่งมีสีน้ำตาลแดง

1 ml 0.1 N $AgNO_3$ = 0.005844 g NaCl

2.4.2.5 ปริมาณเถ้า (Ash) (AOAC, 2002)

วิธีการวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2-4 g (W_1) ใส่ใน crucible ที่อบแล้ว
2. นำวางบน hot plate จนแป้งกลายเป็นสีดำ
3. นำไปเผาในเตาเผา (furnace) ที่อุณหภูมิ 550 ^{0}C 4-5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (W_2)

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

2.4.2.6 ปริมาณอะไมโลส (amylose content) (Ratnayake et al., 2001)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งแป้ง 0.020 g (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในหลอดฝาเกลียว

2. เติม 90% DMSO ปริมาตร 8 ml ลงในหลอดแล้วผสมให้เข้ากันโดยใช้ vortex เป็นเวลา 2 นาที

3. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85^0C โดยใช้ water bath เป็นเวลา 30 นาที และทำการเขย่าในขณะให้ความร้อน

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที

5. ทำการเจือจางสารละลายโดยเติมน้ำกลั่น 17 ml เพื่อปรับให้สารละลายมีปริมาตร 25 ml

6. เมื่อทำการเจือจางเรียบร้อยแล้วนำสารละลายมา 1 ml เติมน้ำกลั่น 40 ml และ I_2/KI 5 ml ตามลำดับ

7. ปรับปริมาตรให้ได้ 50 ml ด้วยน้ำกลั่น แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที

8. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

หมายเหตุ ในการเตรียมกราฟมาตรฐานจะเตรียมตัวอย่างสารละลายมาตรฐานโดยทำการผสมระหว่าง อะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่บริสุทธิ์จากแป้งพุทธรักษา ในอัตราส่วนอะไมโลส 0,10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90,100% และอะไมโลเพคติน 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 0% และดำเนินการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างแป้ง (กราฟมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ก.)

2.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง

2.4.3.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง (ตามวิธีของ Thitipraphunkul et al., 2003a)

ตัวอย่างแป้ง

1. แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือซึ่งเก็บตัวอย่างมาจากโรงงานผลิตแผ่นแป้ง
2. แป้งพุทธรักษาที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือ เตรียมโดยนำแป้งมาแช่ในน้ำเกลือความเข้มข้น 8% เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างและทำให้แห้ง

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA พร้อม can อะลูมิเนียมและใบพัด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA

วิธีการวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้นาน 30 นาที เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรันซอฟต์แวร์ควบคุม RVA ให้เลือกเงื่อนไขใน Profile ป้อนลงในคอมพิวเตอร์ ตั้งชื่อไฟล์แล้วเซฟไว้ ความเร็วในการกวน 10 วินาทีแรก 960 รอบต่อวินาที หลังจากนั้นลดลงมาอยู่ที่ 160 รอบต่อวินาที จนสิ้นสุดการทดลอง
2. ชั่งน้ำกลั่น 26.32 กรัมใส่ลงใน can และชั่งตัวอย่างแป้งมา 1.68 กรัมใส่ลงใน can ที่เตรียมไว้ (จะได้สารละลายแป้งเข้มข้น 6% สำหรับแป้งที่มีความชื้น 10%)
3. ใส่พาย (paddle) ลงใน can หมุนพายไปมาแรงๆเพื่อป้องกันการจับกันเป็นก้อนของแป้ง นำ can ที่ใส่พายไว้แล้วติดตั้งเข้ากับเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลง ปล่อยให้เครื่องทำงานจนถึงระยะเวลาที่กำหนดเอาไว้

2.4.3.2 ผลของความเข้มข้นเกลือต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง

1. เตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าโดยนำข้าวเจ้า (ข้าวท่อน) ที่เก็บจากโรงงานผลิตแผ่นแป้งซึ่งเป็นตัวอย่างเดียวกับที่ใช้ในการผลิตแผ่นแป้งมาแช่ในน้ำประปาเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
2. นำเข้าเครื่องปั่นโดยมีการเติมน้ำเป็นระยะๆ กรองน้ำแป้งที่ได้ด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมออก
3. ทิ้งน้ำแป้งที่ได้ไว้ให้ตกตะกอนแป้งแล้วค่อยๆ รินน้ำส่วนบนออก
4. ผสมน้ำเกลือความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 7 % (ใช้เกลือแกงในการเตรียมน้ำเกลือ) ทั้งหมด 4 ตัวอย่างลงในน้ำแป้งโดยอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเกลือเท่ากับ 3:1 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
5. เทน้ำเกลือส่วนบนทิ้ง นำแป้งที่ได้ดูดน้ำออกด้วย suction โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1
6. นำแป้งชิ้นเข้าอบในตู้ที่อุณหภูมิ 40 ˚C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh
7. บรรจุในถุงซิบเพื่อป้องกันความชื้น
8. นำตัวอย่างแป้งหลังการโม่เปียก (ไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือ) และแป้งที่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA โดยวิธีการในข้อ 3.4.3.1

2.4.3.3 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) (Puncha-arnon et al., 2007)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างแป้งที่ทราบค่าความชื้นแน่นอน ชั่งแป้ง 3 มิลลิกรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ลงใน aluminium pan ของเครื่อง DSC และเติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 6 มิลลิกรัม
2. ทำการปิด aluminium pan นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. เมื่อครบกำหนดนำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC-pyris 1 (Perkin Elmer Corp., Norwalk, CT) และวาง reference pan (pan เปล่า) ใส่ในช่อง reference
4. ให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-120 °C ที่อัตราเพิ่มของอุณหภูมิ 5°C/นาที คำนวณค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชัน ได้แก่

    - อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชัน (onset temperature,To, °C)
    - อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชันสูงสุด (peak temperature,Tp, °C)
    - อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซชัน (conclusion temperature,Tc, °C)
    - พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดเจลาติไนเซชัน (enthalpy, ΔH, J/g)

2.4.4 การวิเคราะห์สมบัติของแผ่นแป้งแหนมเนือง

2.4.4.1 สมบัติทางกายภาพ

-ความหนาของแผ่นแป้ง (มอก. 993-2533)

ชั่งตัวอย่างแป้งแผ่นจำนวน 5 แผ่น ขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ให้ทราบน้ำหนักแน่นอนถึง 0.01 กรัม (m_o) หาพื้นที่ของแป้งแผ่นทั้งหมด 5 แผ่น (A) แล้วคำนวณน้ำหนักตัวอย่างต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

สูตรคำนวณ $$m = \frac{m_o \times 100}{A}$$

- ความสม่ำเสมอของแผ่นแป้ง

วัดความหนาของแผ่นแป้งด้วยไมโครมิเตอร์ โดยทำการวัดแผ่นแป้งตัวอย่างละ 3 แผ่นที่ตำแหน่งต่างๆกัน 16 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

- สี/ความสว่าง

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง colorimeter แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยทำการบดแผ่นแป้งตัวอย่างละ 2 แผ่น แล้วใส่ลงในตลับใสให้เต็มจากนั้นวัดด้วยเครื่อง colorimeter โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 9 ซ้ำ

รูปที่ 2.2 เครื่องวัดสี (colorimeter) ยี่ห้อ Minolta Chroma Meter CR-300

- ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้ง (Scanning Electron Microscope, SEM) (Puncha-arnon et al., 2007)

วิเคราะห์โดยนำแผ่นแป้งติดบน bronze stub (ให้ด้านสัมผัสอากาศวางไว้ด้านบน)โดยใช้เทปกาวสองหน้าแล้วทำการเคลือบด้วยทองให้มีความหนา 40-50 nm แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

-ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้ง (Stereo Microscope)

วิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยทำการวัดแผ่นแป้งตัวอย่างละ 5 แผ่น ที่ตำแหน่งต่างๆกัน โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

รูปที่ 2.3 Stereo Microscope ยี่ห้อ Olympus รุ่น DP70

2.4.4.2 สมบัติทางกล

-ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (tensile strength and elongation) ดัดแปลงจาก ASTM D882-88 (ASTM, 1989a)

เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวเป็นเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i หัววัด Tensile grip ค่า Load cell เท่ากับ 25 kg

ชิ้นตัวอย่าง

ตัดตัวอย่างของแผ่นแป้งที่มีขอบเรียบและขนานกันจำนวน 10 ชิ้น ให้มีความกว้าง 50 mm และความยาว 50 mm โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 20 ซ้ำ

Mode :	Measure Force in Tension
Option :	Return to start
Pre-Test speed	10.0 mm / s
Test speed	10.0 mm / s
Post-Test speed	10.0 mm / s
Distance	60 mm
Trigger type	Auto-2 g
Data acquisition Rate	200 pps

วิธีทดสอบ

นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ติดเทปกาวเข้ากับตัวหนีบทั้งด้านบนและด้านล่างให้มีการจับยึดกับชิ้นตัวอย่างให้แน่น (โดยแผ่นแป้งไม่หลุดในระหว่างการวิเคราะห์) โดยให้มีระยะห่างระหว่างหัวหนีบเท่ากับ 50 mm และมีค่า cross-head เท่ากับ 50 mm/min หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์โดยการให้หัวหนีบด้านบนเคลื่อนที่ขึ้นและบันทึกแรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างขาดออกจากกัน

$$\text{ค่าความต้านทานแรงดึงขาด } (N/mm^2 = MPa) = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (N)}}{\text{ความกว้าง (mm) x ความหนาของฟิล์ม (mm)}}$$

$$\text{ค่าการยืดตัว (\%)} = \frac{\text{ระยะยืดตัวของชิ้นทดสอบ x 100}}{\text{ความยาวเดิมของชิ้นตัวอย่างระหว่างหัวทดสอบ (mm)}}$$

หมายเหตุ การวิเคราะห์ตัวอย่างฟิล์มเปียกทำโดยนำแผ่นแป้งจุ่มน้ำแล้วนำไปวิเคราะห์

-แรงต้านทานการตัดขาด (cutting force)

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงตัดขาดเป็นเครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT2i หัววัด Warner-bratzler blade

ชิ้นตัวอย่าง

ตัดตัวอย่างของแผ่นแป้งที่มีขอบเรียบและขนาดเท่ากัน ให้มีความกว้าง 50 mm และความยาว 50 mm โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 20 ซ้ำ

วิธีทดสอบ

นำแผ่นแป้งที่มีขนาดเท่าๆกันวางบนแท่น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์โดยการให้โพรบด้านบนเคลื่อนที่ลงมาตัดและบันทึกแรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างขาดออกจากกัน

Mode :	Compression
Option :	Return to start
Pre-Test speed	5.0 mm / s
Test speed	10.0 mm / s
Post-Test speed	10.0 mm / s
Distance	5 mm
Trigger type	Auto-5 g

-ความต้านทานการแตกหัก (breaking strength)

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบความต้านทานการแตกหักเป็นเครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT2i หัววัด small cylinder probe

ชิ้นตัวอย่าง

ตัดตัวอย่างของแผ่นแป้งที่มีขอบเรียบและขนาดเท่ากัน ให้มีความกว้าง 50 mm และความยาว 50 mm โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 20 ซ้ำ

วิธีทดสอบ

นำแผ่นแป้งที่มีขนาดเท่าๆกันวางบนแท่น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์โดยการให้โพรบด้านบนเคลื่อนที่ลงมากดและบันทึกแรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างแตกหัก

Mode :	Measure Force in Tension
Option :	Return to start
Pre-Test speed	1.0 mm / s
Test speed	2.0 mm / s
Post-Test speed	10.0 mm / s
Distance	5 mm
Trigger type	Auto-5 g

2.4.4.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

การละลายในน้ำ (solubility in water) (ดัดแปลงจาก Gontard et al., 1992)

ความสามารถในการละลายของแผ่นแป้งในน้ำ วัดค่าเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักแผ่นแป้งที่หายไปเมื่อแช่ในน้ำที่ 4 ระดับเวลาคือ 1,5,10 และ 15 นาที โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้; เริ่มต้นตัดแผ่นแป้งให้มีขนาด 50x50 mm^2 (แผ่นแป้งตัวอย่าง 1 แผ่นจะสุ่มตัดที่ตำแหน่งต่างๆ มา 3 ชิ้น) นำไปอบแห้งที่ 100^0C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกค่าเป็น DM_0 นำชิ้นทดสอบเหล่านี้ไปแช่ในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 40 ml ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อครบกำหนดนำแผ่นแป้งที่ไม่ละลายในน้ำมาทำให้แห้งที่ 100^0C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าเป็น DM_t โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 2 ซ้ำ

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{(DM_0 - DM_t)\ X\ 100}{DM_0}$$

เมื่อ

DM_0 = น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม

DM_t = น้ำหนักแห้งของฟิล์มที่ไม่ละลายในน้ำ

การวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตโดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งวัดออกมาในรูปค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ทำโดยนำแผ่นแป้งบดละเอียดใส่ลงในตลับทดสอบแล้วบรรจุลงในเครื่องวัด วัดค่าตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

รูปที่ 2.4 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

2.4.4.4 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เป็นนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกของสายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีซึ่งเคยผ่านการรับประทานอาหารที่มีแผ่นแป้งเป็นส่วนประกอบ โดยทดสอบแผ่นแป้งแหนมเนืองที่ผลิตขึ้นจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งพุทธรักษาบางส่วนทั้งหมดรวม 5 ตัวอย่าง ทำการตัดตัวอย่างแผ่นแป้งให้ได้ขนาด 5x5 เซนติเมตร แจกตัวอย่างพร้อมกันทั้ง 5 ตัวอย่าง ทดลองชิมเฉพาะแผ่นแป้งเปล่าไม่มีเครื่องเคียง ผู้ทดสอบเป็นผู้จุ่มแผ่นแป้งในน้ำเอง ใช้การทดลองแบบ 9-point hedonic scale test ทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบทางด้านความขุ่น-ใส ความเหนียว สี กลิ่น ความนุ่ม-กระด้างและความชอบโดยรวม วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ ANOVA และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้ Dancan New Multiple Range Tests

2.4.4.5 การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองทางสถิติ โดยวางแผนทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan‘s New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS for Windows)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้า

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งพุทธรักษากินได้พันธุ์จีนและแป้งข้าวเจ้า (แป้งโม่แห้ง แป้งโม่เปียก และแป้งแช่น้ำเกลือ 18 ชั่วโมง) แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งพุทธรักษา	แป้งข้าวเจ้าโม่แห้ง	แป้งข้าวเจ้าโม่เปียก	แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกและแช่น้ำเกลือ 18 ชั่วโมง
ไขมัน (%dwb)	nd	0.89 ± 0.02^{a}	0.53 ± 0.02^{b}	0.13 ± 0.01^{c}
โปรตีน (%dwb)	0.04 ± 0.00^{d}	6.20 ± 0.09^{a}	4.16 ± 0.00^{b}	0.74 ± 0.08^{c}
NaCl (%dwb)	-	-	0.15 ± 0.00^{b}	1.05 ± 0.04^{a}
เถ้า (%dwb)	0.27 ± 0.01^{d}	0.66 ± 0.02^{b}	0.50 ± 0.00^{c}	0.73 ± 0.01^{a}
อะไมโลส (%dwb)	33.20 ± 0.20^{a}	-	28.42 ± 0.50^{b}	26.64 ± 0.34^{c}
ความชื้น (%wwb)	8.12 ± 0.06^{c}	9.43 ± 0.07^{a}	8.42 ± 0.26^{c}	8.55 ± 0.22^{c}

nd = ตรวจไม่พบ

a, b, c……= ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

แป้งพุทธรักษามีโปรตีนและไขมันในปริมาณที่ต่ำมาก ปริมาณเถ้าต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า แต่มีปริมาณอะไมโลสที่สูงกว่า เมื่อนำข้าวเจ้าไปโม่แห้งพบว่าแป้งข้าวเจ้าที่ได้มีปริมาณโปรตีน 6.20% แต่เมื่อผ่านการโม่เปียกในน้ำปริมาณโปรตีนลดลงเป็น 4.16% การหมักแป้งข้าวโม่เปียกในน้ำเกลือเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะทำให้โปรตีนในแป้งข้าวเจ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด (0.74%) การลดลงของโปรตีนในขณะที่โม่เปียกในน้ำและการหมักในน้ำเกลือเนื่องจากมีการละลายออกมาของโปรตีนซึ่งมีอยู่ 4 ประเภทหลักในข้าวเจ้าคือ อัลบูมิน (albumin) กลอบบูลิน (globulin) โพรลามีน (prolamin) และกลูเต-ลิน (glutelin) ที่ละลายได้ดีในน้ำ สารละลายเกลือ แอลกอฮอล์และสารละลายด่างตามลำดับ โดยเฉพาะเมื่อผ่านการหมักในน้ำเกลือ เนื่องจากในระหว่างการหมักจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับข้าวเจ้าจะใช้สารอาหารในแป้งโม่ในการเจริญเติบโตทำให้เกิดกรด เอทานอลและ

คาร์บอนไดออกไซด์ (Chiang และ Yeh, 2002) ซึ่งจะช่วยให้โปรตีนละลายออกมาได้ง่ายขึ้น สำหรับปริมาณไขมันในแป้งข้าวพบว่ามีแนวโน้มที่จะลดลงตามลำดับเมื่อผ่านการโม่และการหมักเช่นกัน เนื่องการแรงกระทำจากการโม่และการถูกย่อยของแป้งบางส่วนในขณะหมักทำให้ไขมันที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่นกระจายตัวออกมากับน้ำได้ (Phothiset และ Charoenrein, 2006) ปริมาณเถ้าและปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในแป้งข้าวเจ้าหลังการแช่ในน้ำเกลือมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเม็ดแป้งมีการดูดซับ/ดูดซึมเกลือไว้บางส่วนขณะแช่แป้ง ส่วนปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้าพบว่ามีค่าลดลงหลังการหมักในน้ำเกลือ ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์จะเข้าไปย่อยในส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของเม็ดแป้งก่อน ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่มีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบมีอะไมโลสอยู่มากจึงมีผลทำให้อะไมโลสลดลง นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการหมักอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลสทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ลดลง การลดลงของอะไมโลสเมื่อผ่านการหมักนี้สอดคล้องกับรายงานของ Phothiset และ Charoenrein (2006)

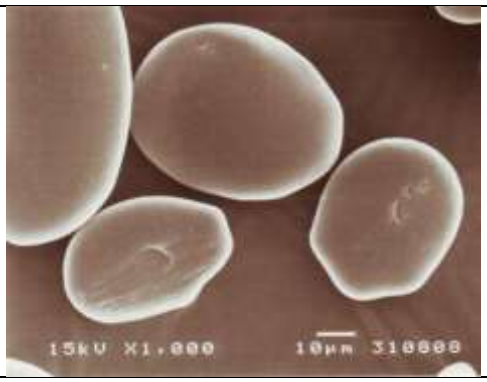
3.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพของแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้า

3.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้งศึกษาโดยใช้ scanning electron microscope (SEM)

จากการตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนด้วย scanning electron microscope (SEM) (รูปที่ 4.1 C) พบว่าเม็ดแป้งพุทธรักษามีขนาดใหญ่ (ขนาดของเม็ดแป้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40-50 μm) รูปทรงกลมแบน ผิวเรียบ เม็ดแป้งมีการกระจายตัวดีไม่จับกันเป็นกลุ่ม ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะคล้ายกับแป้งจากพุทธรักษาสายพันธุ์อื่น เช่น สายพันธุ์ไทยเขียวและสายพันธุ์ไทยม่วงที่รายงานโดย วัชรินทร์ จันทร์สุวรรณและคณะ (2544) ส่วนลักษณะของเม็ดแป้งข้าวเจ้าหลังโม่และแป้งข้าวเจ้าหลังโม่แช่เกลือแสดงดังรูปที่ 3.1 A, B จะเห็นได้ว่าเม็ดแป้งข้าวเจ้ามีขนาดที่เล็กกว่าแป้งพุทธรักษามาก (ขนาดของเม็ดแป้งประมาณ 3-7 μm) ลักษณะเป็นเหลี่ยมมักจับกันเป็นกลุ่มก้อน โดยพบว่าการแช่แป้งข้าวเจ้าในน้ำเกลือไม่มีผลกระทบต่อลักษณะพื้นผิวและรูปร่างของเม็ดแป้ง แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการโม่เปียกและที่แช่เกลือหลังการโม่นั้นมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Phothiset และ Charoenrein (2006) ที่ศึกษารูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งข้าวโม่เปียกและแป้งข้าวที่ผ่านการแช่น้ำเกลือ 24 ชั่วโมง พบว่าแป้งข้าวที่ผ่านการแช่น้ำเกลือมีพื้นผิวเม็ดแป้งที่ถูกทำลายไปแตกต่างจากก่อนการแช่เกลือ ผิวของเม็ดแป้งมีลักษณะที่ขรุขระมากขึ้นและพบรูพรุนที่ผิว ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ สภาวะและระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน โดย Phothiset Charoenrein (2006) หมักแป้งโม่ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่ำกว่า (5%) และใช้เวลาในการการหมักที่นานกว่า (24-48 ชั่วโมง)

A : แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

B : แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกและผ่านการแช่น้ำเกลือ 18 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



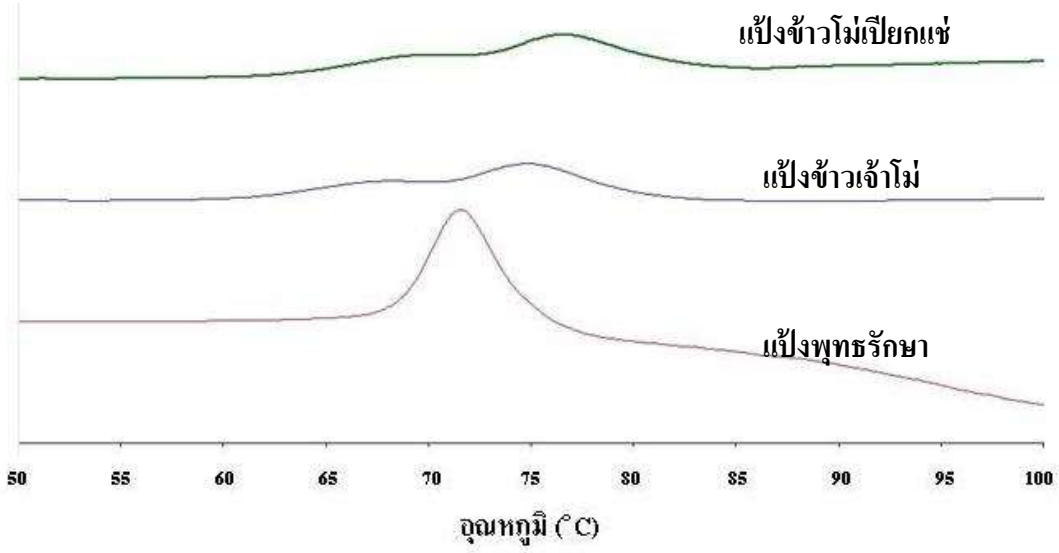
C : แป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนที่กำลังขยาย 200 และ1,000 เท่า

รูปที่ 3.1 ลักษณะของเม็ดแป้งพุทธรักษา แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกและแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่น้ำเกลือ

3.2.2 สมบัติทางความร้อนของแป้ง

เทอร์โมแกรม (thermogram) ในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งวิเคราะห์โดยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) แสดงดังรูปที่ 3.2 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางความร้อนที่อ่านได้จากเทอร์โมแกรมแสดงดังตารางที่ 3.2 จากเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวโม่เปียกทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือจะเห็นว่ามีพีคเกิดขึ้น 2 พีค โดยพีคแรกเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 65-68 °C เป็นพีกเล็กๆ ที่ไม่ชัดเจนนัก คาดว่าน่าจะเป็นพีคที่เกิดจากสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่มีอยู่ในฟลาวร์ข้าว เช่น โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ ส่วนพีคที่สองซึ่งชัดเจนมากกว่าเป็นพีคในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งซึ่งค่อนข้างกว้างมาก บ่งชี้ถึงความไม่สม่ำเสมอ (inhomogeneity) ของตัวอย่างแป้ง ซึ่งอาจเป็นความไม่สม่ำเสมอในระดับโครงสร้างผลึกหรือเป็นความไม่สม่ำเสมอในระดับอนุภาค (เม็ดแป้ง) แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซ

ชันเท่ากับ 68.6°C, 74.8°C และ 80.4°C ตามลำดับ ส่วนแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่น้ำเกลือเท่ากับ 70.7° C, 76.5°C และ 82.5°C ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการแช่เกลือจะส่งผลให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวสูงขึ้น อาจเนื่องจากในระหว่างการแช่น้ำเกลือ จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในข้าวจะเข้าไปย่อยส่วนอสัณฐานมีผลทำให้ส่วนอสัณฐานถูกกำจัดออกจากเม็ดแป้งทำให้เหลือส่วนที่เป็นผลึกมากขึ้น โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความเสถียรเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างของเม็ดแป้งที่มีส่วนผลึกมากขึ้นทำให้น้ำผ่านเข้าเม็ดแป้งยากขึ้น เนื่องจากขาดส่วนอสัณฐานทำให้ดูดน้ำและพองตัวยาก ส่งผลให้เม็ดแป้งแช่น้ำเกลือเกิดเจลาติไนเซชันได้ยากขึ้น เหตุผลอีกประการหนึ่งที่เป็นไปได้คือ เกลือที่ตกค้างในเม็ดแป้งอาจละลายออกมาระหว่างการทดสอบและไปแย่งจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำและพองตัวยากขึ้น สำหรับแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนพบว่ามีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 68.3-75.3 โดยอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 68.3°C, 71.6°C และ 75.3°C ตามลำดับ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง คือ 19.6 J/g แสดงให้เห็นว่าแป้งพุทธรักษามีโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งที่แข็งแรงจับตัวกันอย่างหนาแน่น



รูปที่ 3.2 เทอร์โมแกรมของแป้งพุทธรักษา แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกและแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่น้ำเกลือ ศึกษาด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC)

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งพุทธรักษา แป้งข้าวเจ้าโม่เปียก และแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่น้ำเกลือ

แป้ง	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (ºC)[a]				Enthalpy ΔH (J/g)[c]
	T_O	T_p	T_c	T_c-T_O[b]	
แป้งพุทธรักษา	68.3	71.6	75.3	7.0	19.6
แป้งข้าวเจ้าโม่เปียก	68.6	74.8	80.4	11.8	12.7
แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่เกลือ	70.7	76.5	82.5	11.8	12.6

[a] **T_o, T_p, T_c** คือ อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาติไนซ์ อุณหภูมิเกิดเจลาติไนซ์สูงสุด และอุณหภูมิที่สิ้นสุดการเกิดเจลาติไนซ์ ตามลำดับ

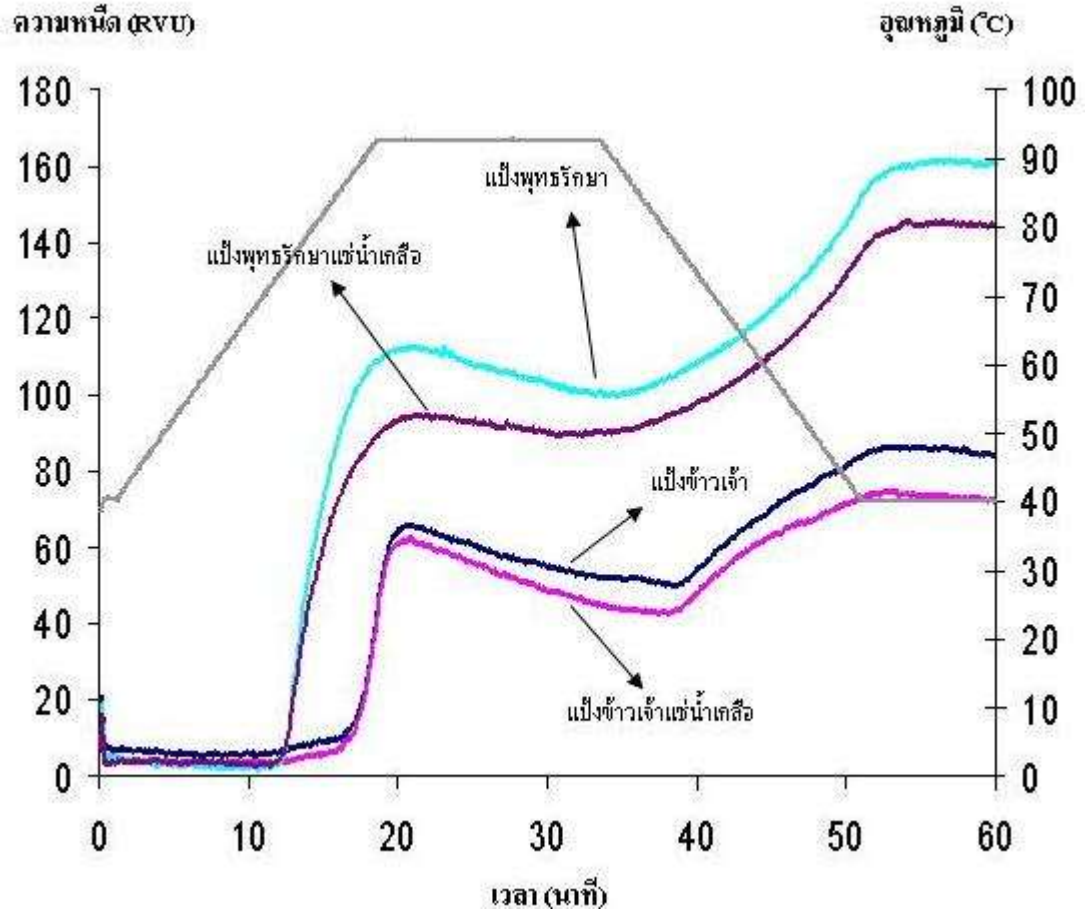
[b] ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์

[c] เอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์

3.2.4 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง

ผลของการแช่แป้งในน้ำเกลือต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง

เมื่อนำแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกที่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 8% เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (เก็บตัวอย่างจากแหล่งผลิต) มาวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Viscosity Analyzer ที่ความเข้มข้นแป้ง 6 % โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือ พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่อ่านได้จากกราฟคือ pasting temperature, peak viscosity, breakdown, final viscosity และค่า setback ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กราฟความหนืดของแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 8% เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

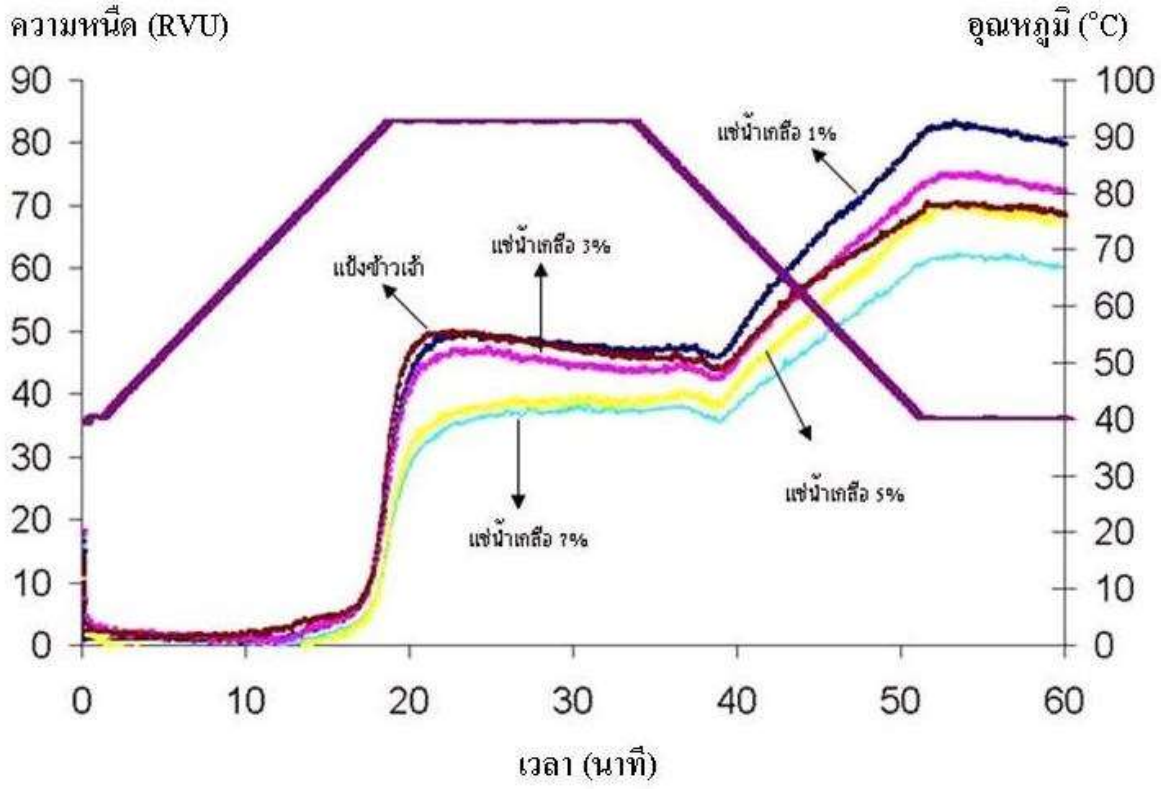
ตารางที่ 3.3 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้า

ชนิดของแป้ง	Peak Viscosity (RVU)	Break down (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Set back (RVU)	Pasting Temperature (°C)
แป้งพุทธรักษา	113.0	13.3	160.8	61.0	74.6
แป้งพุทธรักษาแช่เกลือ	92.0	8.5	145.0	58.0	75.0
แป้งข้าวเจ้า	65.8	19.5	83.8	33.9	88.0
แป้งข้าวเจ้าแช่เกลือ	62.5	20.2	72.0	29.7	86.0

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าได้ว่าแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำเกลือจะมีความหนืดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งพุทธรักษาที่ไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือ อย่างไรก็ตามลักษณะอะมิโลแกรมโดยรวมของแป้งพุทธรักษาทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ความหนืดของแป้งสุกมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ในช่วงที่ควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ที่ 92.5 °C breakdown มีค่าต่ำมากและมีค่า setback ที่สูง ซึ่งก็เป็นรูปแบบเช่นเดียวกับที่มีรายงานในแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์อื่นๆ เช่น สายพันธุ์ไทยม่วงและไทยเขียว (วัชรินทร์ จันทร์สุวรรณและคณะ, 2544) สายพันธุ์เวียดนาม (Van hung และ Morita, 2005) อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งพุทธรักษาที่แช่และไม่แช่ในน้ำเกลือพบว่ามีค่า 74.6 และ 75.0 °C ตามลำดับ สำหรับแป้งข้าวเจ้าก็มีแนวโน้มในทางเดียวกันคือ แป้งที่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือจะมีความหนืดต่ำกว่าแป้งที่ไม่แช่น้ำเกลือ แต่ลักษณะของอะมิโลแกรมยังคงคล้ายคลึงกันโดยมีความหนืดต่ำกว่าแป้งพุทธรักษาประมาณเท่าตัว แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการแช่และไม่แช่ในน้ำเกลือมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด 88.0 และ 86.0 °C ตามลำดับ แป้งสุกมีค่า breakdown สูงกว่าแป้งพุทธรักษา ส่วนค่า setback มีค่าค่อนข้างสูงเช่นกัน ซึ่งค่า setback เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ดังนั้นการที่ทั้งแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่า setback สูง จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวหรือแผ่นแป้งที่ต้องการความเหนียวและแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ในกระบวนการผลิตแผ่นแป้งจะมีขั้นตอนการแช่แป้งโม่ในน้ำเกลือในช่วงความเข้มข้น 3-8% ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่าการแช่น้ำเกลือที่ความเข้มข้น 8% จะทำให้แป้งมีความหนืดลดลงบ้าง แต่ลักษณะ profile ยังใกล้เคียงกับแป้งเดิม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ (Phothiset และ Charoenrein, 2006) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวโม่ที่ผ่านการแช่ในน้ำเกลือ 5% เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความหนืดที่ลดลง ซึ่งผู้วิจัยให้เหตุผลว่าการที่ความหนืดลดลงอาจเนื่องจากเม็ดแป้งบางส่วนถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก โดยพบว่าผิวเม็ดแป้งจะขรุขระและมีรูเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น

ผลของความเข้มข้นของน้ำเกลือต่อรูปแบบความหนืดของแป้งข้าวเจ้า

ในขั้นตอนการแช่แป้งโม่ในน้ำเกลือนั้นผู้ผลิตแผ่นแป้งแต่ละที่จะใช้ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลความเข้มข้นของน้ำเกลือต่อสมบัติความหนืดของแป้ง ซึ่งผลที่ได้อาจใช้เป็นแนวทางในการปรับกระบวนการผลิตต่อไป โดยในที่นี้จะทำการทดลองแปรค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ 1, 3, 5 และ 7% โดยใช้ระยะเวลาการแช่เท่ากันคือเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งไปวิเคราะห์รูปแบบความหนืดโดยใช้เครื่อง RVA พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีลักษณะดังรูปที่ 3.4 โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากกราฟสรุปไว้ในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวโม่เปียกและแป้งข้าวโม่เปียกแช่น้ำเกลือที่ความเข้มข้น 1, 3, 5 และ7%

ตารางที่ 3.4 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าแช่เกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ

แป้งข้าวเจ้า	Peak Viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temperature (oC)
แป้งข้าวเจ้าโม่เปียก	49.9	8.3	68.3	25.3	85.3
แช่น้ำเกลือเข้มข้น 1 %	49.5	3.3	79.7	34.1	80.1
แช่น้ำเกลือเข้มข้น 3 %	47.3	5.2	72.0	29.8	81.6
แช่น้ำเกลือเข้มข้น 5 %	39.3	3.8	67.2	35.9	86.4
แช่น้ำเกลือเข้มข้น 7 %	38.3	2.7	60.2	24.6	84.3

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่ารูปแบบความหนืดของแป้งข้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ มีลักษณะที่คล้ายกัน แต่ค่าความหนืดจะแตกต่างกัน โดยในช่วงที่ให้ความร้อนกับน้ำแป้ง การแช่แป้งข้าวในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งข้าวลดลง โดยแป้งข้าวที่แช่น้ำเกลือความเข้มข้น 1, 3, 5, 7% และแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ผ่านการแช่น้ำเกลือมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 49.5, 47.3, 45.2, 38.3 และ 49.9 RVU ตามลำดับ แต่เมื่อลดอุณหภูมิลงพบว่าแป้งข้าวที่ผ่านการแช่น้ำเกลือที่ความเข้มข้น 1 และ 3% มีค่าความหนืดสุดท้ายที่สูงกว่าแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการแช่น้ำเกลือ ผลของความเข้มข้นของน้ำเกลือต่อค่า setback มีทิศทางที่ไม่แน่นอน ส่วนอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวแช่เกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ 80.1, 81.6, 86.4 และ 84.3°C เมื่อความเข้มข้นน้ำเกลือเป็น 1, 3, 5 และ 7% ตามลำดับ ในขณะที่แป้งข้าวเจ้าที่ไม่ผ่านการแช่น้ำเกลือมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดเท่ากับ 85.3 °C

จากค่าที่วิเคราะห์ได้จะเห็นว่าการแช่แป้งข้าวด้วยน้ำเกลือจะมีผลให้ความหนืดสูงสุดของน้ำแป้งลดต่ำลงและเม็ดแป้งมีความคงตัวมากขึ้น (แตกน้อยลง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของเกลือที่ถูกดูดซับอยู่ในเม็ดแป้งข้าวละลายออกมาอยู่ในสารละลายในระหว่างการวิเคราะห์แป้งด้วย RVA (ขณะที่ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น) และเข้าไปแย่งจับกับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ล้อมรอบเม็ดแป้งข้าว ทำให้เม็ดแป้งข้าวมีการดูดซึมน้ำได้น้อย การพองตัวเกิดได้ยากขึ้น ดังนั้นความหนืดที่ได้จึงต่ำลง และเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวลดลง โครงสร้างภายในจะยังมีความแข็งแรงอยู่จึงมีความคงตัวต่อแรงเฉือนและความร้อนมากกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการแช่เกลือ

จากกราฟแสดงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกซึ่งเก็บตัวอย่างโดยตรงจากโรงงานผลิตแผ่นแป้ง (รูปที่ 3.3) และแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกซึ่งเตรียมเอง (จากข้าวเจ้าชุดเดียวกับที่ใช้ในโรงงาน) ในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 3.4) จะสังเกตเห็นว่ากราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยจาก profile จะเห็นได้ว่าช่วงที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 92.5°C แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกที่เก็บจากโรงงานมีความหนืดลดลงชัดเจน ต่างจากแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกที่เตรียมในห้องปฏิบัติการที่มีความหนืดค่อนข้างคงที่ การที่แป้งตัวอย่างทั้งสองแบบมีลักษณะที่แตกต่างกันอาจเนื่องจากโรงงานผลิตแผ่นแป้งมีการควบคุมด้านสุขอนามัยค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์เป็นสาเหตุให้เม็ดแป้งถูกย่อยบางส่วนในระหว่างขั้นตอนผลิต เป็นผลให้ตัวอย่างแป้งที่เก็บจากโรงงานมีความแข็งแรงน้อยกว่าแป้งที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

4.3 สมบัติของแผ่นแป้ง

4.3.1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นแป้ง

สี

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดสีจากแผ่นแป้งที่นำมาบดรวมกัน ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.5 พบว่าแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้าทุกตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L) ค่าสัมประสิทธิ์สี a ซึ่งหมายถึง ถ้าค่า a เป็น +a หมายถึงอยู่ในทิศของสีแดง และถ้าเป็น –a จะหมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว และค่าสัมประสิทธิ์สี b ซึ่งหมายถึงถ้าค่า b เป็น +b หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลืองและถ้าเป็น –b จะหมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน โดยทั่วไปสีของแผ่นแป้งแหนมเนืองจะมีสีขาวไปจนถึงเหลืองนวลซึ่งอาจดูได้จากค่า L และ b พบว่าตัวอย่างแผ่นแป้งทั้งหมดมีค่า L และ b อยู่ในช่วง 95.46-95.18 และ 4.15-3.90 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งพุทธรักษาในช่วง 10-40% ไม่มีผลต่อสีของแผ่นแป้ง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งทางการค้า ก็พบว่าสีของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งผสมมีค่า L และ b ไม่แตกต่างจากแผ่นแป้งทางการค้า

ความหนาของแผ่นแป้ง

ผลการวิเคราะห์ความหนาของแผ่นแป้งแสดงในตารางที่ 3.6 พบว่าแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งผสมพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้าในสัดส่วนต่างๆ มีความหนาที่ใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 207-210 μm (ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) แผ่นแป้งมีความหนาที่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนน้อยกว่า 1% ส่วนแผ่นแป้งที่ขายตามท้องตลาดยี่ห้อ A และ B พบว่ามีความหนาของแผ่นแป้งเท่ากับ 407$\pm$0.63 และ 409$\pm$1.32 μm ตามลำดับ

เมื่อคำนวณความหนาของแผ่นแป้งตามที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 993-2533)โดยหาน้ำหนักของแผ่นแป้ง (g) ต่อพื้นที่ 100 cm^2 พบว่าแผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าที่ 10, 20, 30 และ 40% มีความหนาของแผ่นแป้งเท่ากับ 1.57$\pm$0.07, 1.67$\pm$0.12, 1.59$\pm$0.13 และ 1.68$\pm$0.05 g/cm^2 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนซึ่งมีความหนาของแผ่นแป้งเท่ากับ 1.41$\pm$0.12 g/cm^2 ส่วนแผ่นแป้งที่ขายตามท้องตลาดยี่ห้อ A และ B พบว่ามีความหนาของ

แผ่นแป้งเท่ากับ 3.24±0.17 และ 3.06±0.09 กรัมตามลำดับ นั่นคือ มีความหนามากกว่าแผ่นแป้งที่ผลิตเองทั้ง 5 ตัวอย่าง ประมาณ 2 เท่า อาจเนื่องมาจากความแตกต่างในกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นปริมาณของน้ำแป้งที่ใช้ในขณะละเลงหรือเทคนิคในการเกลี่ยน้ำแป้งของแต่บุคคลซึ่งก็จะมีความแตกต่างกัน โดยตามมาตรฐานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ว่าความหนาของแผ่นแป้งจะต้องไม่เกิน 2.5 g/cm^2

ตารางที่ 3.5 สีของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่างแผ่นแป้ง แป้งพุทธรักษา : แป้งข้าวเจ้า	L$^{(ns)}$	a	b$^{(ns)}$
0 : 100	95.18±0.49	-0.17±0.03^b	4.03±0.19
10 : 90	95.46±0.49	-0.25±0.03^a	4.02±0.37
20 : 80	95.38±0.99	-0.20±0.05^b	3.90±0.60
30 :70	95.19±0.60	-0.20±0.03^b	4.09±0.37
40 : 60	95.42±0.57	-0.26±0.03^a	4.15±0.33
ยี่ห้อ A	95.12±0.57	-0.20±0.04^b	4.19±0.25
ยี่ห้อ B	95.01±0.82	-0.18±0.04^b	4.33±0.26

(ns) = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

a, b, c……= ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3.6 ความหนาของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งพุทธรักษาและแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่างแผ่นแป้ง แป้งพุทธรักษา : แป้งข้าวเจ้า	ความหนา (μm)	ความหนาของแผ่นแป้ง (g dwb/100 cm^2)
0 : 100	207±1.34^b	1.41±0.12^c
10 : 90	209±1.22^b	1.57±0.07^c
20 : 80	209+1.00^b	1.67±0.12^c
30 :70	209+0.43^b	1.59±0.13^c
40 : 60	210±0.38^b	1.68±0.05^c
ยี่ห้อ A	407±0.63^a	3.24±0.17^a
ยี่ห้อ B	409±1.32^a	3.06±0.09^b

a, b, c……= ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้งศึกษาโดยใช้กล้อง stereo microscope และ scanning electron microscope (SEM)

ผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งพุทธรักษาที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยกล้อง stereo microscope ที่กำลังขยาย 120 เท่า แสดงดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 พบว่าลักษณะพื้นผิวแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนมีลักษณะไม่เรียบมีรอยขรุขระคล้ายฟองอากาศ (รูปที่ 3.6 A, B) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งที่มีการใช้แป้งพุทธรักษาผสมลงไปที่ 10, 20, 30 และ 40% (รูปที่ 3.6 C, D และ E) พบว่าเมื่อผสมแป้งพุทธรักษาลงไปในปริมาณที่มากขึ้นแผ่นแป้งจะมีลักษณะพื้นผิวเรียบขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนหรือที่ผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณต่ำ (10%) บริเวณพื้นผิวที่ไม่เรียบของแผ่นแป้งมักพบรอยร้าวและแตกหัก (รูปที่ 3.5) การที่แป้งพุทธรักษาช่วยให้แผ่นแป้งมีความเรียบมากขึ้นสามารถอธิบายได้จากสมบัติเฉพาะของแป้งแต่ละชนิด แป้งพุทธรักษาเป็นแป้งที่มีขนาดเม็ดแป้งใหญ่ (ประมาณ 40-50 μm) ลักษณะค่อนข้างแบน พองตัวได้ดีและมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ 71.6 $^{\circ}$C ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีขนาดเม็ดแป้งเล็กกว่ามาก (ประมาณ 3-7 μm) แต่มักจับกันเป็นกลุ่มก้อน มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าแป้งพุทธรักษาประมาณ 3°C ในสภาวะที่ให้ความร้อนที่เวลาและอุณหภูมิที่เท่ากัน เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าเพียงอย่างเดียว แป้งข้าวเจ้าซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงจะพองตัวได้น้อย เม็ดแป้งยังอยู่ในสภาพที่เป็นเม็ดชัดเจน (ดูรูปที่ 3.7 A, B ประกอบ) เนื่องจากเม็ดแป้งมักจับกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้มีช่องว่างระหว่างเม็ดแป้ง การให้ความร้อนกับแป้งซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำจะทำให้เกิดความดันไอภายในส่งผลให้เกิดลักษณะที่คล้ายกับฟองอากาศเกิดขึ้น นอกจากนี้ผิวจะมีลักษณะที่ขรุขระเนื่องจากเม็ดแป้งข้าวซ้อนตัวกันเป็นชั้นๆ เมื่อเติมแป้งพุทธรักษาลงไปพื้นผิวจะเรียบขึ้นตามลำดับ เนื่องจากแป้งพุทธรักษาพองตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งส่งผลให้แป้งข้าวเจ้าที่อยู่รอบๆ พองตัวและประสานเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น (รูปที่ 3.7 C-J) ทำให้แผ่นแป้งเรียบมากขึ้น

A. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 0:100

B. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 10:90

รูปที่ 3.5 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้งมีรอยร้าวศึกษาโดย stereo microscope ที่กำลังขยาย 120เท่า

A. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 0:100

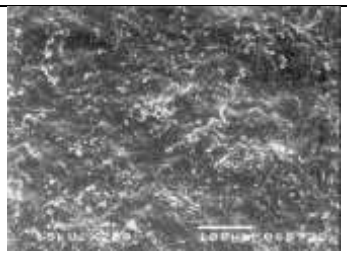
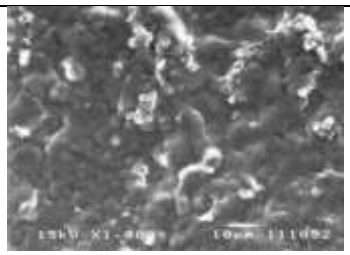
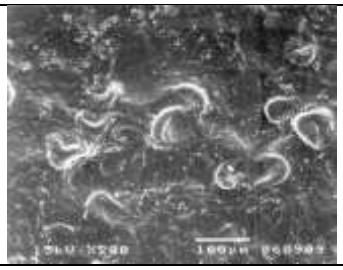
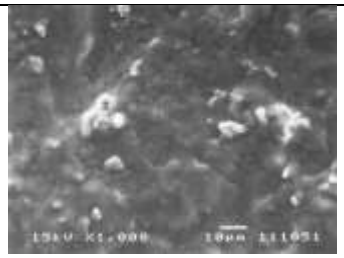
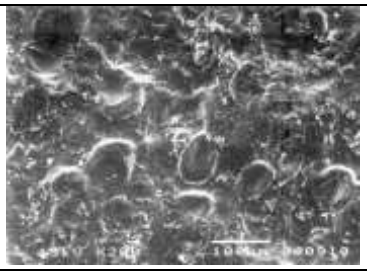
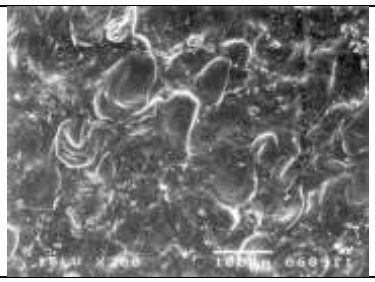
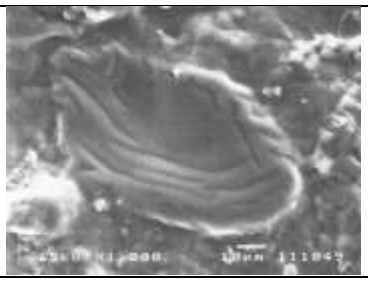
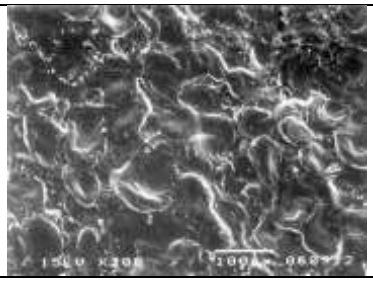
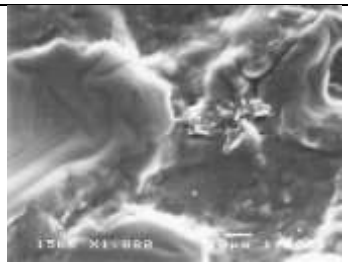
B. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 10:90

C. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 20:80

D. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 30:70

E. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 40:60

รูปที่ 3.6 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งพุทธรักษาในอัตราส่วนต่างๆ ศึกษาโดย stereo microscope ที่กำลังขยาย 120 เท่า

	
A. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 0:100	B. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 0:100
	
C. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 10:90	D. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 10:90
	
E. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 20:80	F. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 20:80
	
G. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 30:70	H. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 30:70
	
I. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 40:60	J. แป้งพุทธรักษา:แป้งข้าวเจ้า = 40:60

รูปที่ 3.7 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นแป้งศึกษาโดย SEM ที่กำลังขยาย 200 และ 1,000 เท่า

4.3.2 สมบัติทางเคมีกายภาพของแผ่นแป้ง

ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ในแผ่นแป้ง

ปริมาณน้ำอิสระเป็นค่าหนึ่งที่บ่งบอกถึงสภาพของผลิตภัณฑ์ว่าจุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีหรือไม่ โดยปริมาณน้ำอิสระที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ยีสต์และราแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นแป้งแหนมเนืองทั้งหมด 5 สูตรแสดงในตารางที่ 3.7 พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นแป้งอยู่ในช่วง 0.50-0.51 โดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนืองมักจะมีการปนเปื้อนเชื้อรา ซึ่งปริมาณน้ำอิสระที่เชื้อราสามารถนำไปใช้ได้ดีจะอยู่ในช่วง 0.6-0.89 (Kuntz, 1992) ดังนั้นแผ่นแป้งตัวอย่างทั้งหมดจึงมีค่าปริมาณน้ำอิสระที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อรา

ตารางที่ 3.7 ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นแป้งแหนมเนือง

แป้งพุทธรักษา : แป้งข้าวเจ้า	Water activity (ns)
0 : 100	0.51±0.02
10 : 90	0.50±0.01
20 : 80	0.51±0.01
30 : 70	0.50±0.02
40 : 60	0.50±0.01

(ns) = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การละลายของแผ่นแป้งในน้ำ

เมื่อนำแผ่นแป้งตัวอย่างทั้ง 5 สูตร มาแช่น้ำเป็นเวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที เพื่อทดสอบค่าการละลายของแผ่นแป้งในน้ำ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.8 พบว่าแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วนมีค่าการละลายที่เวลาต่างๆ สูงกว่าแผ่นแป้งที่มีการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วน โดยแผ่นแป้งมีแนวโน้มที่จะมีค่าการละลายในน้ำลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งพุทธรักษาให้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นแป้งตัวอย่างทั้ง 5 สูตร จะมีค่าการละลายสูงขึ้นตามลำดับเมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำสูงขึ้น การที่แป้งพุทธรักษาช่วยให้แผ่นแป้งมีค่าการละลายในน้ำลดลงอาจอธิบายได้จากปริมาณ อะไมโลสและสมบัติในการเกิดเจลาติไนเซชันและการเกิดรีโทรแกรเดชัน (retrogradation) ของแป้งทั้งสองชนิด เนื่องจากแป้งพุทธรักษามีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าและอุณหภูมิในการเกิด เจลาติไนเซชันที่ต่ำกว่าแป้งข้าว เม็ดแป้งพองตัวได้ดี เมื่อ

ทำการละเลงแผ่นแป้งพร้อมกับทำการนึ่งด้วยไอน้ำ เม็ดแป้งพุทธรักษาจะพองตัวและแตกออกดังรูปที่ 3.7 โมเลกุลแป้งที่อยู่ภายในโดยเฉพาะอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่มีขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา นอกจากนี้การเจลาติไนซ์ของแป้งพุทธรักษาน่าจะส่งผลให้เม็ดแป้งข้าวเจ้าที่อยู่รอบๆ เกิดการเจลาติไนซ์ได้ง่ายขึ้นดังนั้นอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวเจ้าก็น่าจะหลุดออกมาจากเม็ดแป้งได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีแต่แป้งข้าวเจ้าเพียงชนิดเดียวหรือเมื่อผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณต่ำๆ เมื่อทิ้งแผ่นแป้งให้เย็นลงและทำให้แห้ง แป้งจะเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวโดย อะไมโลสที่หลุดออกมาจะกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เมื่อมีแป้งพุทธรักษาอยู่ด้วยการกลับมาสร้างโครงสร้างที่เป็นระเบียบจะเกิดได้ดีขึ้นเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสที่กระจายออกมาสูง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสายโซ่ของอะไมโลเพคตินจากแป้งพุทธรักษามีขนาดยาว (Thitipraphunkul et al., 2003) ซึ่งจะช่วยเสริมการเกิดรีโทรเกรเดชันให้ดีขึ้น ดังนั้นแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษาจึงมีโครงสร้างการจับกันภายในที่แข็งแรงมากขึ้น เมื่อนำมาละลายในน้ำจึงละลายได้ต่ำกว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าเพียงอย่างเดียว และจากการสังเกตระหว่างทำการทดลองเมื่อนำแผ่นแป้งซ้อนกันเป็นชั้นๆและจุ่มน้ำเลียนแบบขั้นตอนการเตรียมก่อนบริโภค พบว่าแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนจะติดกันระหว่างแผ่นลอกออกยาก เมื่อลอกออกจะเกิดความเสียหายมากกว่าแผ่นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งพุทธรักษาอยู่ ซึ่งเป็นข้อดีของแผ่นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งพุทธรักษาเมื่อมีการนำไปบริโภคร่วมกับเครื่องเคียงต่างๆ

ตารางที่ 3.8 เปอร์เซ็นต์การละลายของแผ่นแป้งในน้ำที่เวลาต่างๆ

แป้งพุทธรักษา : แป้งข้าวเจ้า	การละลาย (%)			
	1 นาที	5 นาที	10 นาที	15 นาที
0 : 100	5.42±0.07^{a}	11.53±0.30^{a}	13.07±0.24^{a}	18.57±0.24^{a}
10 : 90	4.23±0.30^{b}	9.72±0.07^{b}	12.60±0.08^{b}	15.08±0.17^{b}
20 : 80	4.12±0.15^{b}	8.38±0.06^{c}	12.53±0.06^{b}	14.42±0.09^{c}
30 : 70	4.03±0.23^{b}	8.05±0.22^{cd}	12.50±0.03^{b}	13.13±0.05^{d}
40 : 60	3.50±0.07^{c}	7.78±0.19^{d}	11.52±0.08^{c}	12.67±0.14^{e}

a, b, c……= ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3.3 สมบัติทางกลของแผ่นแป้งศึกษาโดยเครื่อง Texture Analyzer

ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength)

ค่าความต้านทานแรงดึงขาด ซึ่งหมายถึงความสามารถของแผ่นแป้งที่จะต้านทานแรงดึงซึ่งกระทำที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นทดสอบนั้นขาด (ปนัดดา พวงเกษม, 2540) ซึ่งผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาดแสดงดังตารางที่ 3.9 ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนมีค่าความต้านแรงดึงขาด 0.14 MPa ในขณะที่แผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนพบว่าค่าความต้านแรงดึงขาดมีค่าสูงขึ้น (อยู่ในช่วง 0.29-0.32 MPa) โดยแผ่นแป้งที่มีการเติมแป้งพุทธรักษา 10, 20, 30 และ 40 % มีค่าต้านทานแรงดึงขาด 0.30, 0.29, 0.31 และ 0.32 MPa ตามลำดับ การที่แผ่นแป้งมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงขึ้นเมื่อผสมแป้งพุทธรักษาชี้ให้เห็นว่าแผ่นแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งอาจอธิบายได้จากสมบัติการเกิดรีโทรแกรเดชันของแป้งทั้งสองชนิด เนื่องจากแป้งพุทธรักษามีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าและอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ต่ำกว่าแป้งข้าว เม็ดแป้งพองตัวได้ดีเมื่อทำการละเลงแผ่นแป้งพร้อมกับทำการนึ่งด้วยไอน้ำ เม็ดแป้งพุทธรักษาจะพองตัวและแตกออกโมเลกุลแป้งที่อยู่ภายในโดยเฉพาะอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่มีขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา นอกจากนี้การเจลาติไนซ์ของแป้งพุทธรักษาน่าจะส่งผลให้เม็ดแป้งข้าวเจ้าที่อยู่รอบๆ เกิดการเจลาติไนซ์ได้ง่ายขึ้นดังนั้นอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวเจ้าก็น่าจะหลุดออกมาจากเม็ดแป้งได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีแต่แป้งข้าวเจ้าเพียงชนิดเดียวหรือเมื่อผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณต่ำๆ เมื่อทิ้งแผ่นแป้งให้เย็นลงและทำให้แห้ง แป้งจะเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวโดยอะไมโลสที่หลุดออกมาจะกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เมื่อมีแป้งพุทธรักษาอยู่ด้วยการกลับมาสร้างโครงสร้างที่เป็นระเบียบจะเกิดได้ดีขึ้นเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลส ที่กระจายออกมาสูง

การยืดตัว (Elongation, %)

การยืดตัว คือ ร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม (Guilbert et al.,1986) โดยค่าการยืดตัวของฟิล์มแสดงดังตารางที่ 3.9 ค่าการยืดตัวของแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนมีค่าเท่ากับ 41% การใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวบางส่วนพบว่าจะทำให้แผ่นแป้งมีการยืดตัวที่สูงขึ้น โดยการทดแทนแป้งพุทธรักษาที่ 10, 20, 30 และ 40 % ทำให้แผ่นแป้งมีค่าการยืดตัวเท่ากับ 44, 56, 57 และ 57% ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการแทนที่ด้วยแป้งพุทธรักษาในช่วง 20-40% ไม่ส่งผลให้การยืดตัวของแผ่นแป้งมีค่าสูงขึ้น การยืดตัวของแผ่นแป้งน่าจะเกี่ยวข้องกับลักษณะของแป้งสุกหลังการนึ่งว่าเป็นแบบ short paste หรือ long paste กรณีของ

แป้งข้าวเจ้าหลังการนึ่งเม็ดแป้งส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในสภาพที่เป็นเม็ด ดังนั้นลักษณะของแป้งสุกจะค่อนไปทาง short paste ในขณะที่เม็ดแป้งพุทธรักษาจะแตกมากกว่าเนื่องจากมีการกระจายของโมเลกุลแป้ง ลักษณะของแป้งสุกจึงค่อนไปทาง long paste มากกว่า เมื่อทำการดึงแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษาจึงยืดตัวได้ดีตามแนวการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของสายตะวัน เลียววสุต (2547) ที่วิเคราะห์เปรียบเทียบการยืดตัวของแผ่นฟิล์มแป้งพุทธรักษากับแผ่นแป้งแหนมเนืองโดยพบว่าฟิล์มแป้งพุทธรักษาจะมีค่าการยืดตัวมากกว่าแผ่นแป้งแหนมเนือง (33.7 และ 29.2% ตามลำดับ)

ตารางที่ 3.9 สมบัติทางกลของแผ่นแป้งวัดโดยเครื่อง Texture Analyzer

แป้งพุทธรักษา : แป้งข้าวเจ้า	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Cutting force (N)	Breaking Strength* (N) (ns)
0 : 100	0.14±0.0[e]	41.06±1.7[d]	7.23±0.1[b]	2.80±0.5
10 : 90	0.30±0.0[c]	44.23±1.4[c]	7.75±0.2[a]	2.40±0.7
20 : 80	0.29±0.0[d]	55.53±1.4[b]	3.10±0.1[e]	2.24±0.5
30 : 70	0.31±0.0[b]	57.31±1.4[a]	3.32±0.1[d]	2.51±0.6
40 : 60	0.32±0.0[a]	57.36±1.0[a]	3.48±0.1[c]	2.40±0.7

* ทำการทดสอบกับแผ่นแป้งแห้ง

(ns) = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

a, b, c……= ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

แรงต้านทานการตัดขาด (cutting force)

ค่าแรงต้านทานการตัดขาดเป็นแรงที่แผ่นแป้งรับได้ก่อนถูกตัดขาดซึ่งเปรียบเทียบได้กับแรงจากการบดเคี้ยวของคน จากผลการทดลองในตารางที่ 3.9 พบว่าแผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและแผ่นแป้งที่ทดแทนแป้งพุทธรักษา 10 % มีค่าแรงต้านทานการตัดขาดที่ใกล้เคียงกันคือ 7.23 และ 7.75 N ส่วนตัวอย่างแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษา 20, 30 และ 40% นั้นมีค่าเท่ากับ 3.10, 3.32 และ 3.48 N ตามลำดับ ผลที่ได้นี้ตรงข้ามกับค่าความต้านทานแรงดึงขาดที่พบว่าการเติมแป้งพุทธรักษาจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงแรงที่กระทำต่อแผ่นแป้งการทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด แรงที่กระทำจะอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแผ่นแป้ง ในขณะที่การทดสอบแรงต้านทานการตัดขาด แรงที่กระทำจะอยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแผ่นแป้ง ดังนั้นความสัมพันธ์ของค่าที่ได้กับลักษณะโครงสร้างของฟิล์มแป้งจึงน่าจะมีความแตกต่างกัน การคงสภาพของเม็ดแป้งข้าวเจ้าที่สมบูรณ์มากกว่าน่าจะส่งผลให้แผ่นแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าล้วน

หรือที่ทดแทนด้วยแป้งพุทธรักษาในปริมาณต่ำทนต่อแรงกระทำในแนวตั้งฉากได้ดีกว่าแผ่นแป้งที่มีแป้งพุทธรักษาในปริมาณสูง

แรงต้านทานการแตกหัก (breaking strength)

สำหรับแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักทำการทดสอบโดยใช้แผ่นแป้งแห้ง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่าแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและแผ่นแป้งที่มีการเติมแป้งพุทธรักษา 10, 20, 30 และ 40 % มีค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักเท่ากับ 2.80, 2.40, 2.24, 2.51, และ2.40 N ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์มีค่า standard deviation ที่ค่อนข้างสูง (coefficient of variation ประมาณ 20%) เมื่อเก็บรักษาแผ่นแป้งทุกสูตรในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่สภาวะเดียวกันเป็นระยะเวลา 10 เดือนพบว่าปริมาณความแตกหักเสียหายของแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนเกิดขึ้นมากกว่าแผ่นแป้งที่มีแป้งพุทธรักษาเป็นส่วนผสม ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสังเกตนี้มีความแตกต่างจากผลที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง texture analyzer

4.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นแป้ง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนืองด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั้งหมด 30 คน กลุ่มผู้บริโภคที่ทำการทดสอบไม่ได้ผ่านการอบรมแต่มีความรู้จักผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนืองอยู่แล้ว เคยรับประทานอาหารเวียดนามหรือกลุ่มอาหารที่ใช้แผ่นแป้งเป็นส่วนประกอบ ในการส่งตัวอย่างจะส่งเพียงแผ่นแป้งอย่างเดียวไม่มีเครื่องเคียงในการชิมเพื่อให้รับรู้ถึงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความชอบและความยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบแสดงในตารางที่ 3.10 พบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งทั้ง 5 สูตรนั้นไม่มีความแตกต่างทางการยอมรับในด้านความขุ่น-ใส และความเหนียว แผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนบางส่วนได้รับการยอมรับทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ในระดับเดียวกับแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน ยกเว้นสูตรที่ผสมแป้งพุทธรักษา 20% ที่พบว่าได้คะแนนความชอบมากกว่าแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน ความยอมรับทางด้านกลิ่นพบว่าให้ผลในทำนองเดียวกัน กล่าวคือแผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนบางส่วนได้รับการยอมรับในระดับเดียวกับแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน ยกเว้นสูตรที่ผสมแป้งพุทธรักษา 30% ที่ได้รับการยอมรับสูงกว่าแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน การยอมรับด้านความนุ่ม-กระด้างของผลิตภัณฑ์พบว่าแผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนบางส่วนได้คะแนนความชอบในระดับเดียวกับแป้งข้าวเจ้าล้วน ยกเว้นสูตรที่ผสมแป้งพุทธรักษา 40% ที่ได้รับการยอมรับต่ำกว่าสูตรอื่นๆ

ส่วนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนืองพบว่าแผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนบางส่วนได้รับการยอมรับในระดับเดียวกับแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน โดยที่สูตรที่มีแป้งพุทธรักษา 40% ได้การยอมรับต่ำกว่าสูตรที่มีการผสมแป้งพุทธรักษา 10-30%

ตารางที่ 3.10 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแผ่นแป้งทางด้านต่างๆ

แป้งพุทธรักษา : แป้งข้าวเจ้า	ความขุ่น-ใส (ns)	ความเหนียว (ns)	สี	กลิ่น	ความนุ่ม-กระด้าง	ความชอบโดยรวม
0 : 100	6.60	6.30	6.53^{b}	5.50^{b}	6.37^{a}	6.53^{ab}
10 : 90	6.47	6.40	6.93^{ab}	5.47^{b}	6.47^{a}	6.77^{a}
20 : 80	6.87	6.37	7.27^{a}	5.73^{ab}	6.3^{a}	6.83^{a}
30 : 70	6.87	6.47	7.03^{ab}	6.10^{a}	6.57^{a}	6.77^{a}
40 : 60	6.33	6.03	6.57^{b}	5.20^{b}	5.63^{b}	6.20^{b}

(ns) = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

a, b, c……= ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของแป้งที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองและผลของการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในแผ่นแป้งแหนมเนือง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งพบว่าแป้งพุทธรักษากินได้พันธุ์จีนมีความชื้น 8.12 % เถ้า 0.27 % อะไมโลส 33.20% โปรตีน 0.04 % และตรวจไม่พบไขมัน แป้งข้าวเจ้าโม่แห้งมีความชื้น 9.43% เถ้า 0.66% โปรตีน 6.20% และไขมัน0.89% แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกมีความชื้น 8.42 % เถ้า 0.50 % อะไมโลส 28.42% โปรตีน 4.16 % ไขมัน 0.53 % และเกลือ 0.15 % แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกแช่เกลือมีความชื้น 8.55 % เถ้า 0.73 % อะไมโลส 26.64% โปรตีน 0.74 % ไขมัน 0.13 % และเกลือ 1.05 %

2. รูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนมีความแตกต่างจากเม็ดแป้งข้าวเจ้า โดยเม็ดแป้งพุทธรักษาจะมีขนาดเม็ดที่ใหญ่กว่า (40-50 μm) และมีการกระจายตัวดี ส่วนเม็ดแป้งข้าวเจ้านั้นมีขนาดเล็ก (3-7 μm) ลักษณะของเม็ดจะเป็นรูปหลายเหลี่ยม จับกันเป็นกลุ่ม การแช่น้ำเกลือของแป้งข้าวเจ้าในระหว่างกระบวนการผลิตพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะพื้นผิวของเม็ดแป้ง

3. จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลาติไนเซชันโดย differential scanning calorimeter พบว่าแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนมีช่วงการเกิดเจลาติไนเซชันและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันเท่ากับ 68.3-75.3^{0}C และ 19.6 J/g ตามลำดับ ในขณะที่แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกมีช่วงการเกิดเจลาติไนเซชันและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันเท่ากับ 68.6-80.4 ^{0}C และ 12.7 J/g และแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกหลังแช่น้ำเกลือมีช่วงการเกิดเจลาติไนเซชันและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันเท่ากับ 70.7-82.5^{0}C และ 12.6 J/g ตามลำดับ

4. จากการวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืดของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นแป้งแหนมเนืองด้วยเครื่อง rapid visco analyzer พบว่าแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนมีอุณหภูมิเริ่มเกิด

ความหนืดที่ 74.6 ^{0}C ความหนืดสูงสุด 113 RVU และแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนที่ผ่านการแช่น้ำเกลือมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดที่ 75.0 ^{0}C ความหนืดสูงสุด 92 RVU ส่วนแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดที่ 88 ^{0}C ความหนืดสูงสุด 65.8 RVU และแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกที่ผ่านการแช่น้ำเกลือมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดที่ 86 ^{0}C ความหนืดสูงสุด 62.5 RVU จะเห็นได้ว่าแป้งพุทธรักษามีความหนืดที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าประมาณเท่าตัวและแป้งที่ผ่านการแช่น้ำเกลือนั้นจะมีความหนืดสูงสุดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งพุทธรักษามีค่า breakdown ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งมีความแข็งแรงและทนต่อการกวนมากกว่า

5. จากการทดสอบสีและความหนาของแผ่นแป้งแหนมเนืองที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วน พบว่าแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษามีสีที่ไม่แตกต่างจากแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนทั้งตัวอย่างที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยและตัวอย่างแผ่นแป้งแหนมเนืองทางการค้า ส่วนความหนาของแผ่นแป้งแหนมเนืองที่มีการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนพบว่าแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษามีความหนาที่ไม่แตกต่างกับแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วน (ประมาณ 0.2 mm) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งแหนมเนืองทางการค้า พบว่าตัวอย่างที่เตรียมในงานวิจัยมีความหนาน้อยกว่าแผ่นแป้งทางการค้า (ประมาณ 0.4 mm)

6. จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวแผ่นแป้งแหนมเนืองที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนด้วยกล้อง stereo microscope พบว่าแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณต่ำจะมีรอยแตกภายในแผ่นมาก ส่งผลให้แผ่นแป้งแตกเสียหายได้เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน แผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณสูงจะมีผิวที่เรียบ ไม่มีฟองอากาศให้เห็น สัดส่วนการแตกของแผ่นก็น้อยกว่า ส่วนการวิเคราะห์พื้นผิวแผ่นแป้งด้วยกล้อง SEM พบว่าเม็ดแป้งข้าวเจ้ายังคงลักษณะเป็นเม็ด มีการพองตัวและการแตกตัวน้อย แตกต่างจากเม็ดแป้งพุทธรักษาที่เกิดการพองตัวแตกตัวอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวแผ่นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วนซึ่งไม่เรียบ มีลักษณะเหมือนฟองอากาศ

7. จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแผ่นแป้งแหนมเนืองในด้านการละลายที่เวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที พบว่าแผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าในปริมาณสูงขึ้นจะมีแนวโน้มการละลายที่ต่ำลงที่ทุกเวลาการทดสอบ แผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนมีค่าการละลายสูงที่สุด ส่วนค่า water activity ของแผ่นแป้งแหนมเนืองจากแป้งข้าวเจ้าล้วนและผสมแป้งพุทธรักษาบางส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-0.51 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

8. การทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นแป้งแหนมเนือง พบว่าการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนมีแนวโน้มให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวสูงขึ้น แต่แผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนหรือผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณต่ำจะมีค่าต้านแรงตัดขาดสูงกว่าแผ่นแป้งที่ผสมแป้งพุทธรักษาในปริมาณสูง ส่วนค่าต้านการแตกหักของแผ่นแป้งแหนมเนืองทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

9. การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นแป้งแหนมเนืองที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วน พบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้การยอมรับทางด้านความขุ่น-ใส และความเหนียวไม่แตกต่างกับแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วน ส่วนการยอมรับทางด้านสี กลิ่น ความนุ่ม-กระด้าง และความชอบโดยรวมผู้ทดสอบให้การยอมรับแผ่นแป้งที่ใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนมากกว่าแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วน

10. โดยรวมแล้วการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์แผ่นแป้งแหนมเนือง พบว่ามีแนวโน้มทำให้คุณสมบัติและคุณภาพของแผ่นแป้งดีขึ้น โดยแผ่นแป้งมีพื้นผิวที่เรียบขึ้น การละลายของแผ่นแป้งในน้ำลดลง ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความเหนียว ยืดหยุ่นสูงขึ้น ส่วนความทนทานต่อการแตกหักเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเก็บรักษาแผ่นแป้งทุกสูตรในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่สภาวะเดียวกันเป็นระยะเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณความแตกหักเสียหายของแผ่นแป้งจากแป้งข้าวเจ้าล้วนเกิดขึ้นมากกว่าแผ่นแป้งที่มีแป้งพุทธรักษาเป็นส่วนผสม ลักษณะทางประสาทสัมผัสของแผ่นแป้งด้านสี กลิ่น ความนุ่ม-กระด้างและความชอบโดยรวมดีขึ้น แผ่นแป้งที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ดีเมื่อจุ่มน้ำ เนื้อแป้งไม่เละติดกัน ได้การยอมรับจากผู้บริโภคในเกณฑ์ดี และการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งพุทธรักษาที่ปริมาณ 20% พบว่าเป็นระดับที่ให้คุณภาพโดยรวมของแผ่นแป้งดีที่สุด

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการดำเนินงานยังมีอุปสรรคในขั้นตอนการผลิตและส่วนที่น่าจะปฏิบัติเพื่อให้ผลการการทดลองที่ได้ครบถ้วนมากขึ้น ดังนี้

1. การทดลองนี้ยังขาดการเก็บข้อมูลในด้านคุณภาพของแผ่นแป้งตัวอย่างบางประการ เช่น ข้อมูลสัดส่วนจำนวนแผ่นแป้งที่มีคุณภาพเป็นแบบเกรด A และเกรด B การบันทึกลักษณะของแผ่น

แป้งที่เปลี่ยนไปเมื่อเก็บไว้ในระยะเวลาต่างๆ ดังนั้นถ้ามีงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ต่อไปก็ควรเก็บข้อมูลดังกล่าวด้วย

2. ในส่วนการวิเคราะห์หาความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA หากได้มีการนำเอาเจลของแป้งไปส่องดูลักษณะของเม็ดแป้งที่เปลี่ยนแปลงไป อาจทำให้สามารถอธิบายผลของการแช่แป้งในน้ำเกลือได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

3. การใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าในการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นแป้งนั้นในขั้นตอนการละเลงแผ่นแป้ง แป้งพุทธรักษามักตกตะกอนมากองที่ก้นภาชนะ เนื่องจากเม็ดแป้งพุทธรักษามีขนาดใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้ามาก ส่งผลทำให้ขณะละเลงน้ำแป้งเพื่อขึ้นรูปจะต้องทำการคนน้ำแป้งอยู่ตลอด ทำให้ผู้ละเลงเกิดความไม่สะดวกและไม่เคยชิน ดังนั้นจึงควรติดตั้งตัวกวนในภาชนะเพื่อให้มีการกวนผสมที่ดีขึ้น นอกจากนี้ด้วยความหนืดที่ค่อนข้างสูงของแป้งพุทธรักษาเมื่อราดน้ำแป้งแล้วจะต้องทำการการละเลงแผ่นแป้งอย่างรวดเร็วเพราะถ้าละเลงได้ไม่ทั่วถึงอาจทำให้เกิดรูหรือช่องโหว่บนแผ่นแป้งขึ้นได้

4. จากการสำรวจโรงงานผลิตแผ่นแป้งขนาดย่อมที่จังหวัดหนองคายซึ่งมีลักษณะการผลิตเป็นแบบครัวเรือนพบว่า ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของแผ่นแป้ง ข้อเสนอแนะในการศึกษาและวิจัยต่อไป ดังนี้

- วัตถุดิบในการผลิต คือข้าวที่ได้จากพ่อค้าเป็นข้าวที่ไม่รู้สายพันธุ์แน่นอนคุณภาพของข้าวแตกต่างกันออกไป ควรที่จะกำหนดสายพันธุ์ข้าวให้แน่นอนเพื่อให้ได้คุณภาพของแผ่นแป้งที่สม่ำเสมอ
- สูตรในการผลิตแผ่นแป้งควรเป็นสูตรที่แน่นอนใช้การชั่ว ตวง วัด ที่แม่นยำทุกครั้ง เนื่องจากในปัจจุบันที่โรงงานในขั้นตอนผลิตมักใช้ความเคยชินและประสบการณ์
- ส่วนเทคโนโลยีในการผลิตควรมีการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องมือและเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เช่น เครื่องอบแห้งแผ่นแป้งเนื่องจากที่โรงงานจะอาศัยแดดและลมในการทำแห้งแผ่นแป้งซึ่งเกิดความไม่แน่นอนในแต่ละครั้งในการผลิต หากมีเครื่องจักรในการอบแห้งเพื่อควบคุมอุณหภูมิและเวลา จะสามารถช่วยให้แผ่นแป้งที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้นหรืออาจมีการพัฒนาตามระบบ GMP เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีมาตรฐานที่สูงขึ้น
- ส่วนด้านสุขลักษณะในการผลิตควรจัดการเรื่องความสะอาดของสถานที่ผลิตไม่ควรมีสัตว์เลี้ยงอยู่ใกล้บริเวณผลิต ปรับปรุงความสะอาดของเครื่องมือและภาชนะในการผลิตควรปฏิบัติตามหลัก HACCP เพื่อเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นของผู้บริโภคทั้งในหรือนอกประเทศ

- ด้านธุรกิจ ควรมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อหาทางที่ผู้ผลิตจะทำการค้ากับตลาดผู้บริโภคโดยตรงเป็นการเพิ่มกำไรให้สูงขึ้น ด้านการใช้แป้งพุทธรักษาทดแทนแป้งข้าวเจ้าในการปรับปรุงคุณภาพแผ่นแป้งก็ควรทำการศึกษาว่าต้นทุนในการผลิตและคุณภาพมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตออกตลาดหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งแผ่น:ข้าวเจ้า**, เอกสารมอก. ที่ 993-2533, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.

กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2521, เกลือ : คุณสมบัติและการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 49.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546, **เทคโนโลยีของแป้ง**, พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 135-154.

งามชื่น คงเสรี, 2536, **คุณภาพเมล็ดทางเคมี,** เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์, หน้า 54-70.

ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ, 2535, **วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร**, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538, **ธัญชาติและพืชหัว**, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-65.

นฤดม บุญหลง และ จินตนา อุปดิสสกุล, 2544, การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร, **วารสารจาร์พา,** ฉบับที่ 63, หน้า 1-60.

พัชรี เนตรน้อย, 2538, **การผลิตแป้งก๋วยเตี๋ยว**, วิทยานิพนธ์ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขา คหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 1-45.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532, **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร**, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 1-302

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, ศรันย์ วรรธนัจฉริยา, ศิริ ภู่พงษ์วัฒนา และเดชรัต สุขกำเนิด, 2537, **รายงานการวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ที่มีอนาคต,** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 1-104.

มันตา โอมะคุปต์, 2538, **การออกแบบการควบคุมคุณภาพการผลิตแป้งแผ่น,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 1-153.

ฤทัยภักดิ์ ชาญศรี, 2545, **การผลิตวุ้นเส้นจากแป้งพุทธรักษากินได้**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิชัย หฤทัยธนาสันต์, 2517, **การใช้เกลือในอุตสาหกรรมอาหาร**, วิทยาศาสตร์การอาหาร, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 12-23.

วัชรินทร์ จันทร์สุวรรณ, 2544, **การศึกษาคุณลักษณะของแป้งที่แยกได้จากเหง้าพุทธรักษากินได้ (Canna edulis)**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิวาพร ศิวเวชช และ ประยุทธ สุวรรณชีวกร, 2536, เส้นหมี่ข้าวฟ่าง, **วารสารอาหาร**, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 98-106.

สายตะวัน เลียววสุต, 2547, **ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเตรียมเจลต่อสมบัติฟิล์มแป้งพุทธรักษากินได้ขึ้นรูปโดยวิธี solvent casting**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 85-86.

สำนักงานปลัดกระทรวงพานิชย์โดยร่วมมือกับกรมศุลกากร, 2548, **สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย**, *กรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพานิชย์*, หน้า 67.

อำพร ทับปลา, 2544, **การพัฒนาวิธีการผลิตแป้งแผ่น**, วิทยานิพนธ์ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 1-159.

อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์, 2546, **การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเพื่อการอุตสาหกรรมขนาดย่อม (SMEs): กรณีข้าวแผ่น**, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

อรพิน ภูมิภมร, 2533, **รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแป้ง,** ศูนย์บริการข้อมูลอุตสาหกรรมชนบท กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, หน้า 57-62.

American Standard for Testing and Material, 1989a, **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**, ASTM D882-88 of Materials, Anuual Book of ASTM Standard, Philadelphia.

Association of Official Analytical Chemists, 1970, **Official Methods of Analysis**, 11th ed., Washington, DC: The Association of Official Agricultural Chemists.

Association of Official Analytical Chemists, 2002, **Official Methods of Analysis**, 17th ed., Gaithersburg: The Association of Official Agricultural Chemists.

Beynum, G.M.A. and Roels, J.A., 1985, **Starch Conversion Technology**, Marcel Dekker, Inc., New York, pp.326.

Borgstrom, G., 1968, "Principle of Food Science. V. Food Microbiology and Biochemistry", **The Macmilan Co.,** New York, pp. 473.

Brautlecht, C.A., 1953, "Starch its Sources", **Production and uses**, Reinhold Publishing Corporation, pp. 408.

Cagampang, G.B., Curz, L.J., Espiritu, S.G., Santiago, R.G. and juliano, B.O., 1966, "Studies on The Extraction and Composition of Rice Proteins". **Cereal Chem,** pp. 145-155.

Charles, A.L., Huang, T.C., Lai, P.Y., Chen, C.C., Lee, P.P. and Chang, Y.H., 2006, "Study of Wheat Flour-Cassava Starch Composite Mix and The Function of Cassava Mucilage in Chinese Noodle", **Food Hydrocolloids,**

Chiang, P.Y. and Yeh, A.Y., 2002, "Effect of Soaking on Wet-Milling of Rice", **Cereal Science**, pp. 85-94

Collison, R., 1968, "Swelling and Gelation of Starch", In Radley, J.A. (ed.), **Starch and Its Derivatives**, Chapman and Hall Ltd., London. pp. 168-193.

Davies, T., Miller, D.C. and Procter, A.A., 1980, **Starke**, Vol. 32, pp. 149.

Desrosier, N.W., 1970, "The Technology of Food Preservation", **The AVI Publishing Co. Inc.,** Westport, Connecticut, pp. 493.

Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. and Townsend, R.J., 1971, "Biochemistry of Foods", **Academic Press.**, Newyork, pp. 240.

Fugino, Y.O., 1978, "Rice Lipid", Cereal Chem, pp. 559.

Galliard, T. and Bowler, P., 1987, "Morphology and Composition of Starch", In Gailliard T., (ed.), **Starch : Properties and Potential**, John Wiley and Sons, New York.

Goering, K.J., Fritts, D.H. and Allen, K.G., 1974, "A Comparison of Birefringence with the Percent Gelatinization and Viscosity on Potato Wheat Rice Corn Cow Cockle and Several Barley Starches", **Cereal Chemistry**, Vol. 51, pp. 764-771.

Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J.L., 1992, "Edible Wheat Gluten Films: Influence of The Main Process Variables on Film Properties Using Response Surface Methodology", **Journal of Food Science**, Vol.58 No. 5, pp. 190-195.

Halick, J.V. and Kelly, V.J., 1959, "Gelatinization and Pasting Characteristics of Rice Varieties as Related to Cooled Behavior", **Cereal Chemistry**, Vol. 36, pp. 91-97.

Halick, J.V., Beachell, H.M., Stansel, J.W. and Kramer, H.H., 1960, A Note on the Determination of Gelatinization of Rice Varieties, **Cereal Chemistry**, Vol. 37, pp. 670-672.

Henry, R.J. and Keltlewell, P.S., 1996, "Cereal Grain Quality", **Chapman and Hall**, London.

Hermann, M., 1996, "Starch noodles from Edible Canna," In **Progress in New Crops,** Janick J.(ed.), ASHS Press, Arlington, VA, pp. 507-508.

Hizukuri, S., 1985, "Relationship Between the Distribution of the Chain Length of Amylopectin and the Crystallite of Starch Granules", **Carbohydrate Research**, Vol. 141, pp.295-306.

Hizukuri, S., 1988, "Recent Advances in Molecular Structure of Starch", **Japanese Society of Starch Science**, Vol. 31, p.185.

Inatsu, O., Maeda, I., Jimi, N., Takahashi, H., Kawabata, M. and Nakamura, M., 1983, "Edible Canna Strach. I : Some Properties of Edible Canna Strach Produced in Taiwan", **Japan Society of Starch Science,** Vol. 30, pp. 38-47.

Kerr, R.W., 1950, Chemistry and Industry of Starch, (2^{nd}ed.), Academic Press, New York. pp. 791.

Kim , Y.S. and Wiesenborn, D.P., 1995, "An Application of Potato Starch Noodles", Food Science and Technology, Vol. 12, pp. 40-45.

Lai, W.L. and Tsai, Y.Z., 1990, "Cultivation and Progressing of Edible Canna in Subtropical Taiwan", **Acta Horticulturae**, Vol. 275, pp. 117-122.

Leach, H.W., 1965, "Gelatinization of Starch", InWhistler, R.L. Paschall, E.F., Bemiller, J.N. and Robert H.J., (eds.), **Starch Chemistry and Technology**, Academic Press, New York. pp. 159-179.

Lineback, D.R., 1984, "The Starch Granule: Organization and Properties", **Bakers Digest**, Vol. 58, No. 2, pp. 16–21.

Lineback, D.R., 1996, "Structure Starch–Degrading Enzymes", In **Starch: Structure, Properties and Food Uses,** Hoseney, R.C. (ed.). AACC Short Course on, August 27–29, 1996, Bangkok, Thailand.

Maningat, C.C. and Seib, P.A., 1992, "Starch: Occurrence, Isolation and Properties of Starch Granules", In **Starch: Structure Properties and Food Uses**. AACC Short Course on, December 3 – 4, 1992. Chicago, USA.

Morrison, W.R. and Laignelet, B., 1983, "An Improved Colorimetric Procedure for Determining Apparent and Total Amylose in Cereal and Other Starches", **Cereal Science**, No. 1, pp. 9-20.

Morrison, W.R., 1988, "Wheat : Chemistry and Technology", **American Association of Cereal Chemists**, St.Paul, Minnesota.

Oates, C.G., 1996, "Physical Modification of Starch", In **Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology**, Jan. 22-26 & Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok.

Oates, C.G., 1997, "Towards and Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis", **Trends in Food Science and Technology**, Vol. 8, pp. 375–382.

Ortega-Ojeda, F., Larsson, H.and Charlotte Eliasson, A., 2004, "Gel Formation in Mixtures of High Amylopectin Potato Starch and Potato Starch", **Carbohydrate Polymers**, Vol. 56, pp. 505-514.

Osman, E.M., 1967, "Starch in the Food Industrial", In Whistler, R.L. and Paschall, E.F., (eds.), **Starch Chemistry and Technology**, Vol. II, Academic Press, New York. pp. 163-210.

Ott, M. and Hester, E.E., 1965, "Gel Formation as Related to Concentration of Amylose Degree of Starch Swelling", **Cereal Chemistry**, Vol. 42, pp. 476-484.

Perez, E., Lares, M. and Gonzalez, Z., 1997, "Some Characteristics of *sago (Canna edulis*) and Zulu (*Maranta* sp.) Rhizome", **Agricultural and Food Chemistry**, Vol. 45, No. 7, pp. 2546-2549.

Perez, E., Breene, W.M. and Bahnassey, Y.A., 1998, "Variations in the Gelatinization Profiles of Cassava, Sagu and Arrowroot Native Starch as Measured with Different Thermal and Mechanical Methods", **Starch/Starke**, Vol. 50, No.2-3, pp. 70-72.

Phothiset, S and Charoenrein, S., 2006, "Morphology and physiochemical changes in rice flour during rice paper production," **Food Research International,** Vol. 40(2), pp. 266-272

Puncha-arnon, S., Puttanlek, J., Rungsardthong, V., Pathipanawat, W and Uttapap, D., 2007, "Changes in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development", **Carbohydrate Polymers**, Vol.70(2), pp. 206-217.

Ratnayake, W.S., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C. and Jane, J., 2001, "Composition, Molecular Structure, and Physicochemical Properties of Starches From Four Field Pea (*Pisum sativum L.)* cultivars", **Food Chemistry**, Vol 74, pp.189-202.

Schoch, T.J. and Maywald, F.C., 1956, "Microscopic Examination of Modiffied Starch", **Analytical Chemistry,** Vol. 28, pp. 382-387.

Schoch, T.J., 1964, "swelling Power and Solubility of Granular starches", **Method in Carbohydrates Chemistry,** Vol. 4, pp. 106-108.

Schoch, T.J., 1969, **Wallerstein Laboratory Commun**., Vol. 32, pp. 149.

Smith, R.J., 1964, "Viscosity of Starch Pastes", In Whistler, R.L., Smith, R.J., Bemiller, J.N. and Wolfrom M.L., (eds.), **Method in Carbohydrate Chemistry**, Vol. IV, Academic Press, New York. pp. 138-142.

Soni, P.L., Harshwardhan, S., Harish, C.S., Mahendrasinh, M.G., Dun, D., and Ahmedabed. 1990, "Physicochemical Properties of Canna edulis Starch-Comparison With Maize Starch", **Starch/Starke**, Vol. 42, pp. 460-464.

Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Jin, S. and Oates, C. G., 2001, "Canna Starch: Properties, Processing and Utilization", **Starch Convention. Association of Cereal Research**, 52nd, 25-27 April 2001, Detmold, Germany.

Stark, J.R. and Lynn, A., 1992, "Biochemistry of Plant Polysaccharides: Starch Granules Large and Small", **Biochemical Society Trans**, Vol. 20, pp. 7–12.

Swinkels, J.J.M., 1985a, "Composition and Properties of Commercial Native Starches", **Starch/Starke**, Vol. 37, pp. 1–5.

Swinkles, J.J.M., 1985b, "Source of Starch, Its Chemistry and Physics", In Beynum, G.M.A. van, and Roles, J.A. (eds.), **Starch Conversion Technology**, Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 1-45.

Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. and Takeda, Y., 2003a, "A Comparative Study of Edible canna (*Canna edulis*) Starch From Cultivars. part I. Chemical Composition and Physicochemical Properties", **Carbohydrate Polymers**, Vol. 53, No. 3, pp. 317-324.

Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. and Takeda, Y., 2003b, "A Comparative Study of Edible canna (*Canna edulis*) Starch From Cultivars. Part II. Molecular Structure of Amylose and Amylopectin", **Carbohydrate Polymers**, Vol. 54, No. 4, pp. 489-498.

Walker, C.E., Russ, A.S., Wrigly, C.W. and McMaster, G.J., 1988, "Accelerated Starch Paste Characterization with the Rapid Viscometer", **Cereal Foods World**, Vol. 33, pp. 491-493.

Watson, S.A., 1964, "Determination of Starch Gelatinization Temperature", In Whistler, R.L.,(ed.), **Method in Carbohydrate Chemistry**, Academic Press, New York. pp. 240-241.

Whistler, R.L. and Johnson, C., 1984, "Effect of Acid Hydrolysis on the Retrogradation of Amylose", **Cereal Chemistry**, Vol. 25, pp. 418-424.

Xue, J. and Ngadi, M., 2006, "Rheological Properties of Batter Systems Formulated using Different Flour Combinations", **Food Engineering,** Vol. 77, pp. 341-334.

Zaidul, I.S.M., Nik Norulaini, N.A., Mohd. Omar, A.K., Yamauchi, H. and Noda, T., 2007, "RVA Analysis of Mixtures of Wheat Flour and Potato, Sweet Potato, Yam, and Cassava Starches", **Carbohydrate Polymers,** Vol. 69, pp. 784-791.