

บทที่ 1

บทนำ

แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าว ขนมปัง และอาหารเส้น ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้ง คือ ใช้เป็นแหล่งพลังงานสูงในมนุษย์ แต่เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติเฉพาะ จึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อสมบัติทางหน้าที่และปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของอาหาร เช่น การทำให้เกิดเจล การควบคุมความคงตัว และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เป็นต้น

แป้งดิบ (native starch) โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว แต่มีสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิต หรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ กระบวนการผลิตแป้งดิบ ในปัจจุบัน ข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตจะเป็นข้าวหักหรือข้าวปลายที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภคโดยตรง ซึ่งเป็นส่วนของข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสี และมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ แต่ในปัจจุบันนี้ผู้คนเริ่มหันมาเอาใจใส่สุขภาพตนเองกันมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของการบริโภคอาหาร ซึ่งในปัจจุบันการบริโภคข้าวกล้องได้รับความนิยมค่อนข้างมาก เนื่องจากให้คุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวขาว เนื่องจากยังมีเยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าวเหลืออยู่ นอกจากการบริโภคข้าวกล้องแล้ว ได้มีการศึกษาถึงการนำข้าวกล้องมาผ่านการงอก (Germination) โดยอาศัยส่วนของจมูกข้าวที่ยังมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการงอก เมื่อได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดข้าว เช่น น้ำ ความชื้น ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม ก็จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการงอกขึ้นมาได้ ซึ่งจะมีความแตกต่างทางองค์ประกอบบางอย่างที่ต่างจากข้าวกล้องธรรมดา โดยเฉพาะสาร Gamma Amino Butyric Acid (GABA) ที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ชนิดหนึ่ง โดยจะทำหน้าที่ส่งต่อสัญญาณประสาทจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง (Manyam, et al., 1981) มีรายงานว่า GABA ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ทางสรีรวิทยาต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น การส่งต่อสัญญาณประสาท (Neurotransmission) การรักษาระดับความดันโลหิต การทำให้รู้สึกสงบ เกิดความรู้สึกผ่อนคลาย และเกี่ยวข้องกับการขับปัสสาวะ เป็นต้น ดังนั้น การนำข้าวกล้องงอกมาผลิตเป็นแป้งข้าวกล้องงอก และเพื่อให้แป้งข้าวมีจุดเด่นและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น จึงมีการนำแป้งดิบมาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ให้แตกต่างไปจากเดิม โดยการใช้กระบวนการ 2 รูปแบบ คือ การงอก และการดัดแปรทางกายภาพ โดยให้ความร้อนโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) ซึ่งแป้งที่ได้ (แป้งข้าวกล้องงอกฟรีเจลาติไนซ์) จะมีคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องงอกแตกต่างจากแป้งข้าวทั่วไป และจุดเด่นในด้านสารอาหารและสมบัติทางหน้าที่ที่ดีขึ้น ดังนั้น เพื่อส่งเสริมโภชนาการของมนุษย์ และประโยชน์ในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลายมากขึ้น แป้งข้าวกล้องงอกฟรีเจลาติไนซ์ จึงเป็นอีกทางเลือกในการใช้ประโยชน์ทางโภชนาการ อีกทั้งยังเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของแป้งข้าวให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาผลของการรอกต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของแป้งข้าวกัลลิ่ง
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบในการผลิตแป้งข้าวกัลลิ่งพรีเจลาติไนซ์ต่อสมบัติด้านต่างๆของแป้งข้าวกัลลิ่ง
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพเคมี และสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกัลลิ่งงอกพรีเจลาติไนซ์
4. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอาหารที่ผลิตจากแป้งข้าวกัลลิ่งงอกพรีเจลาติไนซ์

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพียงให้เปลือกที่หุ้มเมล็ดข้าวหลุดออกไป ข้าวกล้องประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าวและเนื้อข้าว ถ้านำข้าวกล้องนี้มาผ่านกรรมวิธีขัดสีต่อไปจนเหลือแต่ส่วนเนื้อข้าวสีขาว เมื่อนำมาหุงจะมีสีขาวนวลรับประทาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ ข้าวกล้อง คุณค่าทางโภชนาการที่ได้รับมีเพียงคาร์โบไฮเดรตเท่านั้น ดังนั้นสิ่งที่สูญหายไประหว่างการขัดสีข้าวกล้องเป็นข้าวขาวคือ เยื่อหุ้มเมล็ดที่มีใยอาหารสูง (fiber) มีวิตามิน และแร่ธาตุ อยู่บ้าง และจมูกข้าวซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ(วันพรรชา , 2549) เนื่องจากจมูกข้าวเป็นส่วนสำคัญของเมล็ดในการสืบพันธุ์ ซึ่งจะงอกออกมาเป็นต้นและราก ด้วยเหตุนี้ข้าวขาวที่รับประทานกันโดยทั่วไป จึงเหลือแค่เนื้อเมล็ดหรือสารอาหารคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ แต่ขาดสารอาหารอื่น ๆ ที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว คุณค่าทางโภชนาการในข้าวขาวจึงน้อยกว่าข้าวกล้อง (ลัดดาวัลย์ , 2544) ข้าวกล้องถือว่าเป็นอาหารที่มีความสมดุลเนื่องจากมีวิตามินต่างๆที่สำคัญ ที่ไม่ได้ถูกกำจัดออกไปซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย ใยอาหารเป็นสารสำคัญในระบบการขับถ่าย และยังอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆ

2.2 การงอกของเมล็ด

การงอกของเมล็ด (germination) หมายถึง การเกิดขบวนการต่างๆ ในเมล็ดที่มีชีวิต (viable seed) ที่พักอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง (resting หรือ quiescent stage) แล้วได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอก เช่น อุณหภูมิ น้ำ ความชื้น ออกซิเจน แสง เป็นต้น กระตุ้นให้รากต้นอ่อน (radicle) แทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา ซึ่งทางสรีรวิทยาพืชและชีวเคมียอมรับว่าเป็นการงอกของเมล็ด ปกติเมล็ดพันธุ์ที่เจริญเติบโตเต็มที่(mature seed) ซึ่งผ่านกระบวนการสุกแก่มาแล้วและมีการสูญเสียน้ำหรือความชื้น (seed dehydration) เมล็ดจะอยู่ในระยะพัก เมื่อกระจายตัวไปในที่ที่เหมาะสมต่อการงอก เมล็ดก็จะดำรงและขยายพันธุ์ต่อไป โดยเมล็ดจะใช้สารอาหารที่สะสมกับปัจจัยการงอก ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (เดช , 2542) และจากการศึกษาการงอกของเมล็ดธัญพืช พบว่า ธัญพืชที่งอก(germinated grain) มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าเมล็ดธัญพืชที่ไม่งอก ซึ่งมีปริมาณของสารอาหาร วิตามิน และสารประกอบอินทรีย์เพิ่มขึ้น ขณะที่ stachyose และ raffinose ลดลงระหว่างกระบวนการงอกธัญพืชที่งอก ซึ่งสารนี้สามารถนำไปปรับปรุงรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสต่อไปได้ (Finney , 1978)

Tsukahara(2004) ได้รายงานเกี่ยวกับการผลิตข้าวกล้องงอกโดยแช่น้ำอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ทำให้ส่วนของจมูกข้าวกล้องยื่นออกมา (germ) ยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้จมูกข้าวมีความหวาน นุ่ม และมีปริมาณของวิตามิน แร่ธาตุ เพิ่มมากขึ้น และกระบวนการงอกยังทำให้ชั้นนอกของข้าวมีความนุ่ม ลักษณะเนื้อสัมผัสดี ทำให้ง่ายต่อการหุง รับประทาน และแปรรูปได้เหมือนข้าวขาว ถ้ากระบวนการงอกไม่หยุดจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ การหยุดการงอกจะทำ เมื่อจมูกข้าวมีความยาวประมาณ 0.5 – 1 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการทำให้ข้าว

กล้องเกิดการงอกจึงมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อสุขภาพและมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวขาวหรือข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการงอก

2.3 การดัดแปรทางกายภาพ

แป้งพรีเจลาตินไนซ์

แป้งพรีเจลาตินไนซ์ทางการค้าเรียกว่าอัลฟาสตาร์ช (alpha starch) เป็นแป้งดัดแปรทางกายภาพ โดยให้ความร้อนแก่แป้ง ทำให้แป้งสุกหรือเกิดเจลาตินไนซ์ แล้วทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องทำแห้งแบบพ่น (spray dryer) หรือ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder) และบดให้ละเอียด ซึ่งจะได้แป้งที่สามารถละลายกระจายตัวได้ในน้ำเย็น ให้ความหนืดได้ทันที และไม่เกิดเจล เหมาะกับอาหารที่ไม่ต้องให้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง ไส้กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร แป้งพรีเจลาตินไนซ์ถูกผลิตเพื่อวัตถุประสงค์ให้ง่ายและสะดวกต่อผู้บริโภคจึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสะดวก (convenience products) นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารประเภทผงสำเร็จ (packaged premixes) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูป และอาหารสำเร็จรูปต่างๆ และใช้เป็นสารให้ความหนืด (viscosity agents) สำหรับผู้ใช้ที่ไม่สามารถหรือไม่สะดวกในการต้มแป้งให้สุกได้ โดยเฉพาะใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickener) ในอาหารประเภทพุดดิ้ง ซอส และไส้พาย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษได้อีกด้วย โดยใช้เป็นกาวในขั้นตอนการทำการกระดาษ และกาวในกระดาษติดผนัง (wall paper adhesives) และแป้งพรีเจลาตินไนซ์ยังสามารถผลิตได้จากแป้งธรรมชาติ (native starch) หรือแป้งดัดแปรชนิดอื่นๆ ได้ โดยแป้งพรีเจลาตินไนซ์ที่ได้หลังการดัดแปรแล้วจะมีคุณสมบัติคล้ายกับแป้งก่อนการดัดแปรทุกประการยกเว้นคุณสมบัติในการละลายได้ในน้ำเย็น ค่าความหนืดลดลงเล็กน้อย และการเกิดเจลเกิดขึ้นได้น้อยลง

อย่างไรก็ตามแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง และแป้งสาลี ซึ่งมีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ เมื่อเมิดแป้งยังไม่โดนความร้อน ไขมันที่เป็นองค์ประกอบภายในจะไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่เมื่อถูกทำการดัดแปรเป็นแป้งพรีเจลาตินไนซ์แล้วอาจทำให้ไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ในกระบวนการเก็บรักษา จึงต้องมีการเก็บรักษาแป้งพรีเจลาตินไนซ์ มิให้โดนอากาศ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในส่วนหนึ่ง

การผลิตแป้งพรีเจลาตินไนซ์

การผลิตแป้งพรีเจลาตินไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งแป้งดิบและแป้งดัดแปรทางเคมีต่างๆโดยป้อนแป้งในรูปสารแขวนลอยหรือแป้งเปียกลงในเครื่องทำแห้ง ซึ่งสารแขวนลอยจะมีปริมาณของแข็งสูงถึง 44% และ 42% นอกจากนี้ ยังมีการเติมสารช่วยเกิดเจลาตินไนซ์ เช่น เกลือหรือเบส เติมน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้แป้งติดกับลูกกลิ้ง เติมน้ำ เช่น โซเดียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต เกลืออลูมิเนียม เพื่อป้องกันแป้งเกาะกันเป็นก้อน เติมน้ำปรุงรสหรือส่วนผสมอื่นๆในการป้อนแป้งสู่เครื่องทำแห้งต้องควบคุมให้แป้งมีความเหมาะสมเพื่อให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ เมื่อแป้งสู่เครื่องทำแห้ง ความร้อนจากลูกกลิ้งจะทำให้น้ำในแป้งระเหยออกไปจะได้แผ่นแป้งบางๆวางอยู่บนผิว หน้าลูกกลิ้งและถูกดูดออกโดยใบมีดหลังจากนั้นนำไปอบและบดให้

ละเอียด การควบคุมความหนาของแผ่นนั้นมีความสำคัญมากเพราะ ถ้าบางเกินไปทำให้เกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ และถ้าหนาเกินไปจะทำให้ใบมีดทำงานไม่สะดวก เครื่องทำแห้งที่ใช้ในการผลิตแป้งพรีเจลมีหลายชนิด ได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบผง และ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งมีความเหมาะสมต่อวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างกันไป โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นวิธีที่เหมาะสมและนิยมมากที่สุด เนื่องจากอัตราการผลิต (ผลิตภัณฑ์/เวลา) ได้สูง เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีทั้งแบบเดี่ยวและแบบคู่ โดยต้องปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งและอัตราการหมุน ให้สอดคล้องกับปริมาณความชื้นและความสามารถในการเกิดเจลาคติไนซ์ของแป้งแต่ละชนิด ถ้าเป็นลูกกลิ้งแบบคู่ ต้องควบคุมระยะห่างของลูกกลิ้งให้เท่ากันตลอดแนวของลูกกลิ้ง และให้สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในลูกกลิ้ง อัตราการหมุน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน แป้งบางชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อนำมาผลิตแป้งพรีเจลจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเนื่องจากเม็ดแป้งถูกทำลาย สามารถแก้ไขได้โดยเติมเกลือ ออร์โทฟอสเฟต หรือทำการสกัดกรดไขมันด้วยเมธานอลและแอมโมเนีย เพื่อปรับปรุงกลิ่นรสของแป้ง

จันทร์เพ็ญ ไชยบุญ และทิพย์สุตา ศาสกุล (2545) ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวอะมิโลสสูงโดยวิธีพรีเจลาคติไนซ์และการย่อยด้วยกรด ซึ่งจุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เป็นการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าอะมิโลสสูงพันธุ์พื้นเมืองทางภาคใต้ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์เฉียงพัทลุง (ปริมาณอะมิโลส 32.72 %) และพันธุ์ลูกแดงปัตตานี (ปริมาณอะมิโลส 31.72 %) โดยวิธีพรีเจลาคติไนซ์ ซึ่งศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ระดับต่าง ๆ (ร้อยละ 20, 30, 40 และ 50) และอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ต่างกัน (120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส) ต่อสมบัติของแป้งพรีเจล และดัดแปรโดยวิธีย่อยด้วยกรด ซึ่งศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดที่ระดับต่าง ๆ (0.1, 0.5 และ 1.0 โมลาร์) และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน (1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง) ต่อสมบัติของแป้งดัดแปรด้วยกรด ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของน้ำแป้งมีผลต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI) และการละลายน้ำ (Water Soluble Index, WSI) และความหนืดทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ ค่า WAI และ WSI และความหนืดของแป้งพรีเจลทั้ง 2 พันธุ์ จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงขึ้น อุณหภูมิลูกกลิ้งมีผลต่อค่า WAI, ความหนืดทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่ไม่มีผลต่อค่า WSI ของแป้งพรีเจลจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการ ดัดแปรแป้งข้าวโดยการย่อยด้วยกรดพบว่าความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาในการย่อยด้วยกรดมีผลต่อกำลังการพองตัว ความหนืด และความแข็งแรงของเจล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น กำลังการพองตัว ความหนืด และความแข็งแรงของเจลของแป้งดัดแปรจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์ จะลดลง จากผลการทดลองแป้งพรีเจลและแป้งดัดแปรด้วยกรดที่ได้จากแต่ละชุดการทดลองมีสมบัติที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์

Chuleekorn และคณะ ทำการศึกษาลักษณะของแป้งข้าวโดยวิธีพรีเจลาคติไนซ์ และการให้ความร้อนขึ้น โดยใช้ ข้าว 3 ชนิด คือ ข้าวชัยนาท 1 ,ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ค่าอะมิโลสร้อยละ 28.72 , 16.46

ตามลำดับ) โดยนำมาดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลไดไนซ์ (pregel) วิธีการใช้ความร้อนขึ้น (HMT) แบ่งพรีเจลไดไนซ์เตรียมโดยใช้น้ำแบ่งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 ใส่ในเครื่อง Drum dryer ที่สภาวะ ความดันไอน้ำ 20 lb/inch ความเร็วรอบลูกกลิ้ง 0.25 rpm และ ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.01 inch การดัดแปรของแบ่งข้าวโดยวิธี HMT เตรียมโดยนำแบ่งข้าวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 และอบที่ 100 °C นาน 16 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพระหว่างแบ่งข้าวธรรมดากับแบ่งข้าวพรีเจลไดไนซ์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แบ่งข้าวพรีเจลทั้ง 3 ชนิดใช้อุณหภูมิ (49.90 - 51.47 °C) และมีความหนืดสูงสุด (198.41 - 281.42 RVU) ค่าการละลาย (48.20 - 175.67 RVU) และความหนืดสุดท้าย (156.75 - 306.83 RVU) ซึ่งอย่างมีนัยสำคัญในการเพิ่มการละลาย ของแบ่งพรีเจล (1.06 - 47.65 %) เพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$)

การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

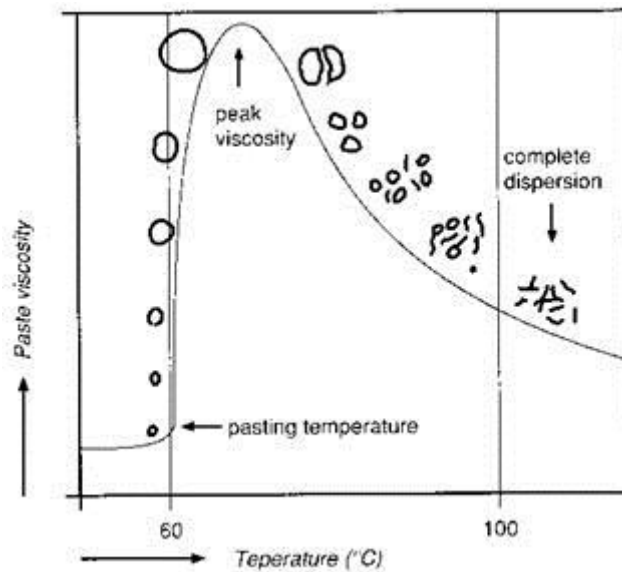
เมื่อเติมน้ำลงไปในแบ่ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแบ่งจะถูกดูดซับน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแบ่งกับน้ำที่เติม และความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบ่งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17 % น้ำที่อยู่ในเม็ดแบ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (bound water) และน้ำในรูปอิสระ (free water) โดยมีการจับกับแบ่งได้แน่นตามลำดับ และแบ่งที่มีความชื้น 8 - 10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแบ่งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแบ่ง จะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต [$n(C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O)$] น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหของไมเซลล์ (micelles) ในเม็ดแบ่งได้อย่างอิสระ ทดสอบได้จากการแขวนลอยเม็ดแบ่งในสารละลายไอโอดีนเจือจาง จะเกิดสีขึ้นในเม็ดแบ่ง เมื่อใส่โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate) ลงไป พบว่าสีจางหายไปอย่างรวดเร็วและเมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า เม็ดแบ่งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคัดขนาดโมเลกุล (molecular sieve) รูพรุนเหล่านี้อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแบ่ง หรืออาจจะมียูเรียในธรรมชาติแต่มีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแบ่ง แบ่งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลไดไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแบ่งที่อยู่ใกล้ๆกันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแบ่งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลไดไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแบ่งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแบ่ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแบ่ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแบ่งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตปริมาณน้ำในสารละลายแบ่งและการดัดแปรทางเคมีรูปแบบในการพองตัว และการละลายของเม็ดแบ่งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแบ่ง เม็ดแบ่งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแบ่งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแบ่งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแบ่งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแบ่งพองตัวได้อย่างอิสระ

ในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของ แป้งทั้งหมดในการละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น (ภาพ 1) พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง(ดุซนีย์, 2540)

อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ (2533) ได้ศึกษาการผลิตแป้งข้าวผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเส้น : ขนมหุ้น โดยการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ผสมกับแป้งข้าวเจ้า และสตาร์ชข้าวเจ้าในการทำขนมหุ้น จะช่วยลดระยะเวลาการผลิตให้สั้นลงได้ สำหรับการทำแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์นี้ ต้องผสมแป้งข้าวเจ้ากับน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แล้วผ่านน้ำแป้งลงสู่เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่จัดระยะห่างกัน 0.004 นิ้ว หมุนด้วยความเร็ว 28 รอบต่อนาที มีความดันไอน้ำภายในลูกกลิ้ง 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำแผ่นแป้งที่ได้มาบดจนละเอียดขนาด 1.0 มิลลิเมตร สีขาวเลื่อมมัน มีความชื้นร้อยละ 5.2 ดูดซับน้ำได้ 11.5 เท่า มีความข้นหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดความข้นหนืดของบราเบนเดอร์ที่ 30 องศาเซลเซียส ได้ 85 บี.ยู. ในขณะที่แป้งข้าวเจ้าธรรมดาจะยังไม่มีมีความข้นหนืดเกิดขึ้นที่อุณหภูมินี้ และเมื่อเปรียบเทียบแป้งผสมเพื่อทำเส้นขนมหุ้นระหว่างแป้งพรีเจลาติไนซ์กับแป้งข้าวเจ้าธรรมดาอัตราส่วน 15 : 85 กับแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์กับสตาร์ชข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้าธรรมดาอัตราส่วน 15 : 30 : 55 ผลปรากฏว่าเส้นขนมหุ้นทั้งสองแบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปริมาณจับขนมหุ้น แรงที่ใช้ตัดเส้นขนมหุ้น และความชอบของผู้ชิม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในค่าการต้านแรงกด



ภาพ 1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน

ที่มา: www.ftns.wau.nl/agridata/starchpackfoam.htm

ความชื้น (moisture)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แป้งจะขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในสถานที่หรือบริเวณที่เก็บรักษาแป้ง ถ้าความชื้นในบรรยากาศลดลงแป้งจะคลายความชื้นไปในบรรยากาศมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นแป้งจะทำการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศมากขึ้น ด้วยเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล อย่างไรก็ตามตามความชื้น ณ จุดสมดุล (equilibrium moisture) ของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ภายใต้สภาพบรรยากาศปกตินั้น แป้งธรรมชาติจะมีความชื้นโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุลของแป้งทุกชนิดนั้นจะน้อยเมื่อบรรยากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ และที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นศูนย์ ปริมาณความชื้นของแป้งจะเข้าใกล้ศูนย์ด้วย และที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นของแป้งทุกชนิดจะมีค่าประมาณ 5 - 6 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1. กระบวนการทำข้าวกล้องงอก

ขั้นตอนการเตรียมข้าวกล้องงอก (สุตารัตน์, 2551)

- 1) นำข้าวกล้อง มาล้างด้วยน้ำสะอาด
- 2) นำข้าวกล้องมาทำการแช่น้ำในภาชนะที่เปลี่ยนทรงแบน ในอัตราส่วน ข้าว : น้ำ 1 : 2 (w/w) แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 3) หลังจากนั้นเทน้ำทิ้งแล้วนำไปห่อด้วยผ้าขาวบาง เพาะทิ้งไว้ในที่มืด 12 ชม. จะได้ข้าวกล้องงอก

3.2 .กระบวนการทำแป้งข้าว

นำข้าวกล้องมาโม่ ด้วยวิธีการโม่เปียกหรือการโม่แห้ง โดยให้น้ำแป้งสุดท้ายมีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (อรอนงค์, 2533)

(1) กระบวนการทำแป้งข้าวกล้อง

- 1) นำน้ำแป้งข้าวกล้องที่ผ่านและไม่ผ่านการงอก นำไประเหยน้ำ โดยนำไปใส่เครื่องอบแห้งแบบ Tray หรือ Cabinet ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- 2) นำแป้งที่ผ่านการอบแห้ง ไปบดด้วยเครื่องมือ Fritsch รุ่น Pulverisette 14 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ที่ความเร็วรอบ 10000 rpm
- 3) นำแป้งที่ได้ ร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐานที่ความละเอียด (Mesh No. 100)
- 4) นำไปวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าวกล้อง

(2) กระบวนการทำแป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์

- 1) นำน้ำแป้งข้าวกล้องที่ผ่านและไม่ผ่านการงอก มาทำการพรีเจลาติไนซ์ โดยใช้เครื่อง Drum dryer
- 2) นำน้ำแป้งเทใส่เครื่อง ครั้งละปริมาณ 1 ถ้วยตวง ใส่เครื่อง Drum dryer โดยกำหนดระยะห่างของลูกกลิ้ง 0.25 mm และสภาวะต่างๆ คือ อุณหภูมิ เป็น 120, 130 และ 140°C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง เป็น 5 และ 10 รอบ/นาที วางแผนการทดลองเป็น 2x3 factorial in CRD ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ดังนี้

สภาวะที่	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	สภาวะที่	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	120	5	4	130	10
2	120	10	5	140	5
3	130	5	6	140	10

- 3) นำแผ่นแป้งข้าวกล้องที่ได้ นำมาบดด้วยเครื่องมือ Fritsch รุ่น Pulverisette 14 ที่ 10,000 rpm
- 4) นำแป้งที่ได้ ร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐานที่ความละเอียด (Mesh NO. 100)
- 5) นำไปวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าวกล้อง



ภาพ 2 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง Drum Dryer

3.3 การวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของแป้งข้าวกล้อง

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.3.1.1 การวัดปริมาณความชื้น

อุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดความชื้นอัตโนมัติ
- 2) จานอะลูมิเนียม
- 3) ช้อนตักสาร
- 4) Forcep

วิธีการทดลอง

- 1) เปิดเครื่อง จะแสดงหมายเลข Program สุดท้ายที่ใช้
- 2) เลือกหมายเลข Program 1 , 2 หรือ 3 แล้วกด Enter
- 3) เปิดฝาเครื่องแล้วใช้ Forcep จับจานอะลูมิเนียมเปล่าที่ผ่านการอบแห้งวางลงในเครื่อง
- 4) Tare โดยกด Enter ใช้ช้อนตักสารเติมตัวอย่างลงบนจานอะลูมิเนียม ประมาณ 2-3 กรัม จนกระทั่งมีคำว่า START ปรากฏขึ้น
- 5) ปิดฝาเครื่อง เครื่องจะทำการหาความชื้นอัตโนมัติ หรือกด Enter สัญลักษณ์ความร้อนจะปรากฏเป็นสีเขียวก่อนแล้วจึงจะเปลี่ยนเป็นสีแดง เมื่อสิ้นสุดการทำงานจะมีคำว่า END ปรากฏขึ้นให้อ่านค่าความชื้นได้ทันทีที่หน้าจอ

3.3.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxhlet Method (AOAC 40.1.05,1995)

อุปกรณ์

1. Thimble
2. สำลี
3. Boiling flask
4. เครื่อง Soxhlet extractor
5. ตู้อบลมร้อน
6. เครื่องชั่ง
7. โถดูดความชื้น (desiccator)
8. Tong
9. ถาด

สารเคมี

Petroleum ether

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน thimble ที่ผ่านการอบแห้ง และปิดตัวอย่างใน thimble ด้วยสำลี
2. ชั่งน้ำหนัก boiling flask ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว
3. นำ Petroleum ether ใส่ในเครื่อง Soxhlet extractor แล้วเติม Petroleum ether 150 ml.
4. เปิดเครื่องทำการสกัดด้วยอัตราการควบแน่น 5 – 6 หยดต่อวินาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
5. อบแห้งไขมันที่สกัดได้ใน boiling flask ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนัก boiling flask + ตัวอย่าง}) - (\text{น้ำหนัก boiling flask})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ข้อควรระวัง

ตัวอย่างต้องมีความชื้น $\leq 10\%$ และถ้ามากกว่าให้อบที่ 95-100 °C ภายใต้ความดัน ≤ 100 mmHg เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ (AOAC Method 934.01)

3.3.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method (AOAC 40.1.06, 1995)

อุปกรณ์

1. Kjeldahl apparatus เช่น digestion unit และ distillation unit
2. เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับเตรียมสาร
4. อุปกรณ์สำหรับการไตเตรท เช่น บิวเรต ขวดชมพูขนาด 250 ml. และปิเกตอร์ขนาด 100 ml.
5. Boiling stone

ตัวอย่างและสารเคมี

1. ตัวอย่างแป้งขาวกลิ้งงอก
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (98% , nitrogen free, analytical grade)
3. สารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน 0.1 N
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (32% , nitrogen free)
5. สารละลายกรดบอริก 2%
6. Mixed catalyst (คอปเปอร์ซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์)
7. Mixed indicator
8. น้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้งด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่งประมาณ 1 กรัม เทใส่หลอดสำหรับย่อย
2. เติมซลิเนียม 10 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% จำนวน 20 ml. ลงในหลอดสำหรับย่อย และทำ blank ควบคู่กันไปด้วย
3. ทำการย่อยด้วยเครื่องย่อยโปรตีนประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้สารละลายใส
4. ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเย็น
5. เติมสารละลายกรดบอริก 2% ลงในขวดรูปชมพู จำนวน 60 ml. หยด Mixed indicator ประมาณ 2-3 หยด
6. นำตัวอย่างเข้าเครื่องกลั่น จุ่มปลายท่อนำก๊าซแอมโมเนียลงในขวดรูปชมพูโดยให้อยู่ต่ำกว่าระดับสารละลายกรดบอริก ทำการกลั่นนานประมาณ 3-4 นาที เมื่อกลั่นเสร็จจึงใช้น้ำกลั่นล้างท่อและปลายท่อนำก๊าซ
7. นำตัวอย่างในขวดรูปชมพูที่ได้จากการกลั่นมาไตเตรทด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
8. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนโดยใช้สูตร

$$\%N = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 14.007 \times 100}{E}$$

$$\% \text{ Protein} = \%N \times F$$

โดยที่ V_1 = ปริมาณสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ในการไทเตรตตัวอย่าง (ml.)
 V_2 = ปริมาณสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ในการไทเตรต blank (ml.)
 N = Normality of acid
 E = จำนวนตัวอย่าง (mg.)
 F = conversion factor

3.3.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยโดยวิธี (AOAC. 40.1.07,1995)

อุปกรณ์

1. เครื่องมือวิเคราะห์เยื่อใย FIBERTEC System M
2. เตาเผา
3. Hot air oven
4. Crucible
5. Desiccator
6. Balance

สารเคมี

1. ตัวอย่างแป้งข้าวกล้อง
2. Sulfuric acid 0.128 M
3. Potassium hydroxide 0.223 M
4. n-Octanol
5. Acetone

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม ใน crucible แล้วนำไปวางในช่องวาง crucible ในเครื่องจากนั้นโยกคั่นโยกให้ crucible เข้าที่
2. เติม H_2SO_4 ที่มีอุณหภูมิ 95-100 °C ปริมาตร 150 ml. ในคอลัมน์ด้านบนจากนั้นเติม n-Octanol 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง
3. ปิดฝาต้มให้เดือดนาน 30 นาที
4. กรองโดยหมุนปั๊มไปที่ Vacuum แต่ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้ pressure ช่วยในการกรอง
5. ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 ml. กรองจนแห้ง
6. เติม Potassium hydroxide ปริมาตร 150 ml. และทำการต้มอีก 30 นาที
7. ล้างด้วย Acetone 3 ครั้ง ครั้งละ 25 ml.
8. นำ crucible ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
9. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นจากนั้นชั่งน้ำหนักและนำไปเผาในเตาอบที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

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

โดยที่

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3.3.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC 40.1.03, 1995)

อุปกรณ์

1. porcelain dish
2. ช้อนตักสาร
3. muffle furnace (เตาเผา)
4. desiccator

วิธีการทดลอง

1. เเผา porcelain dish ใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างบดละเอียด 2.5 กรัม ใน porcelain dish แล้วนำไปเผาใน hot plate เพื่อระเหยน้ำออก รอจนหมดควันดำ
3. นำ porcelain dish เเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °C จนเถ้าเกิดสีขาวหรือสีเทาหรือน้ำหนักคงที่ จากนั้นทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{เถ้า}(\%) = \frac{(\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักของ desiccator}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.3.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

การคำนวณ %คาร์โบไฮเดรต = 100 - (%โปรตีน + %ไขมัน + %ความชื้น + %เถ้า + %เยื่อใย)

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้อง

3.3.2.1 การวิเคราะห์ความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก

อุปกรณ์

- 1) เครื่องทดสอบความหนืดของแป้ง (Brook field)

วิธีการทดลอง

- 1) เช็กระดับลูกน้ำ , เปิด Switch Power ด้านหลังเครื่อง

- 2) กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนเครื่อง เครื่องจะปรับศูนย์โดยอัตโนมัติ (ไม่ต้องใส่เข็มขัด)
- 3) จุ่มเข็มเบอร์ที่ต้องการลงในตัวอย่างจนถึงรอย “ Mark” ของเข็ม ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ (ปริมาตรบรรจุประมาณ 600 ml)
- 4) ป้อนข้อมูลของเข็มที่จะใช้วัดโดย
 - กดปุ่ม Select Spindle
 - กดปุ่มลูกศรขึ้น – ลง เพื่อเลือกรหัสของเข็มที่จะใช้ (รหัสของเข็มอยู่ในคู่มือภาษาอังกฤษ) ขนาดของ spindle ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารที่ต้องการวัด
ถ้าอาหารข้นหนืดมาก ให้ใช้ spindle ขนาดเล็กสุดและ speed ต่ำสุด
ถ้าอาหารข้นหนืดน้อย ให้ใช้ spindle ขนาดใหญ่สุดและ speed สูงสุด
 - กดปุ่ม Select spindle อีกครั้ง เมื่อได้รหัสของเข็มที่ต้องการ (ภายใน 3 นาที)
- 5) เลือกความเร็วรอบที่จะใช้โดย
 - กดปุ่มลูกศรขึ้น – ลง เพื่อเลือกความเร็วรอบที่ต้องการ
 - กดปุ่ม Set speed เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ (ผู้ใช้สามารถเปลี่ยน speed ขณะทำการวัดได้โดยไม่ปิดเครื่องก่อน)
- 6) ในกรณีต้องการหยุดเครื่องขณะทำการวัด ให้กดปุ่ม Motor on/off
- 7) ในกรณีต้องการดูข้อมูลในค่าอื่นๆ เช่น % Torque , Scale , Viscosity (cps) , Shear rate , Shear stress ให้กดปุ่ม Select Display
- 8) กรณีต้องการทราบอุณหภูมิของตัวอย่างขณะวัดให้ต่อปลั๊ก RTD Probe เข้ากับด้านหลังของเครื่องและจุ่มปลายของ RTD Probe ลงในตัวอย่าง
- 9) ปุ่ม Auto range ใช้ในกรณีที่เรากำลังต้องการทราบว่าเข็ม , ความเร็วรอบในขณะนั้นสามารถวัดค่าความหนืดได้สูงสุดมีเท่าไร
- 10) ปุ่ม Print ใช้ในกรณีต่อกับเครื่องพิมพ์ผล
- 11) การวัดค่า ให้นำผลที่อ่านได้จากเครื่องมาสร้างกราฟความข้นหนืด Shear rate ให้นำผลที่ผ่านได้จากเครื่องมาสร้างกราฟ Shear stress กับ Shear rate หาความข้นหนืดของตัวอย่าง

3.3.2.2 การวัดค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (Hydration capacity index)

อุปกรณ์

- 1) หลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝา
- 2) กระบอกตวง
- 3) เครื่อง Centrifuge
- 4) เครื่อง Vortex

วิธีการทดลอง

- 1) ชั่งตัวอย่าง 0.4 กรัม ในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝาและทราบน้ำหนัก เติมน้ำกลั่น 10 mL. ปิดฝา
- 2) เขย่าเข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (Vortex) นาน 15 นาที แล้วตั้งไว้ 10 นาที ในระหว่างนี้ให้กลับหลอดคว่ำลง 3 รอบ ทุกๆ 5 และ 10 นาที
- 3) เปิดฝาเครื่อง Centrifuge ด้วยแรง 776 กรัม เป็นเวลา 15 นาที
- 4) ค่อยๆ รินส่วนใสออก ปิดฝาซึ่งน้ำหนักพร้อมส่วนที่เหลือในหลอด เพื่อทราบค่าการดูดซับน้ำ

การคำนวณ

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักของหลอด} + \text{ส่วนที่เหลือ}) - \text{น้ำหนักของหลอด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง)}}$$

3.3.2.3 การวัดค่าดัชนีการละลายน้ำ (Water solubility index)

อุปกรณ์

- 1) แท่งแก้วสำหรับคนสาร และช้อนตักสาร
- 2) หลอด Centrifuge
- 3) ขวดน้ำกลั่น
- 4) เครื่อง Centrifuge

วิธีการทดลอง

- 1) ชั่งตัวอย่างแป้ง 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอด Centrifuge เติมน้ำกลั่น 30 mL.
- 2) ผสมให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ และทั่วถึงโดยคนด้วยแท่งแก้วคนสาร ใช้แท่งแก้วคนทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที ให้นำแท่งแก้วออกพร้อมกับล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลงในหลอด Centrifuge โดยใช้ น้ำกลั่น 5 mL.
- 3) นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 3000g เป็นเวลา 10 นาที
- 4) เทส่วนใสลงใน moisture can ที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาและคำนวณค่าดัชนีการละลายน้ำ

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวกล้อง

3.3.3.1 การทดสอบค่าสีของแป้งข้าวกล้องงอก

อุปกรณ์

- 1) เครื่องทดสอบค่าสี Hunter Lab

วิธีการทดลอง

- 1) กดเปิดเครื่อง warm up เครื่องประมาณ 45 นาที
- 2) กด CAL เพื่อ standardize เครื่องโดยวางแผ่นมาตรฐานสีดำลงบนที่วาง กด read key วางแผ่นสีขาวกด read key
- 3) จาก read mode กด setup key เพื่อเข้าสู่ setup mode
- 4) กดปุ่มลูกศรไปทางซ้ายหรือขวาเพื่อเลือกตัวเลข 0 – 99
- 5) กดลูกศรลงเข้าสู่ mode name เพื่อตั้งชื่อ
- 6) กดลูกศรทางขวาเพื่อเลือกค่า L กด ready key เพื่อ accept ค่า L
- 7) กดลูกศรลงไปยัง display mode เลือก difference
- 8) กดลูกศรเพื่อเลือกค่าที่ต้องการ
 - Read Interval : Single
 - Sample ID : ON
 - Average : 4
 - Color scale : L*a*b
 - Color index : YI(D 1925)
 - Color difference scale : L*a*b
 - Color difference scale : $\Delta YI(D 1925)$
- 9) กดลูกศรเลื่อนลงมายัง standard mode กดลูกศรทางซ้ายหรือขวามือเพื่อเลือก physical
- 10) กดลูกศรลงเพื่อเลือก 1st target value
- 11) ใส่ตัวอย่างมาตรฐาน (สีที่คล้ายกับตัวอย่างที่ต้องการวัด) บนที่วาง กด ready key เพื่อวัดค่าสีของ ตัวอย่างมาตรฐาน
- 12) กดลูกศรเลื่อนลงมา first tolerance value , ΔL^* เลือกค่า tolerances :
 - $\Delta L^* \pm 0.5$ $\Delta a^* \pm 0.5$ $\Delta b^* \pm 0.5$ $\Delta YId^* \pm 0.5$
- 13) กด set up key อีกครั้งเพื่อเข้าสู่ read mode ค่า standard value จะแสดงผลที่หน้าจอ
- 14) วางตัวอย่างอาหารที่ต้องการทดสอบบนที่วาง กด ready key สามารถอ่านค่าสีของตัวอย่างและสีมาตรฐานในค่า L*a*b ถ้ามีความแตกต่างน้อยมากกว่า 0.5 ค่า pass จะปรากฏขึ้นที่ difference ถ้ามากกว่า 0.5 จะแสดงตัวอักษร fail
- 15) กด Clear key เพื่อ clear ค่าที่ปรากฏบนหน้าจอ แต่ค่ามาตรฐานยังคงอยู่

3.4 การศึกษาสมบัติของอาหารที่ผลิตจากแป้งข้าวกล้องงอกพรีเจลาติไนซ์

3.4.1 สูตรการผลิต (สังขยาใบเตย)

สูตรสังขยาใบเตย

สูตรพื้นฐาน			สูตรประยุกต์โดยใช้แป้งข้าวกล้องงอก		
กะทิ	2	ถ้วยตวง	กะทิ	2	ถ้วยตวง
น้ำตาลทราย	300	กรัม	น้ำตาลทราย	300	กรัม
ไข่ไก่	1	ฟอง	ไข่ไก่	1	ฟอง
แป้งข้าวโพด	100	กรัม	แป้งข้าวโพด	100	กรัม
แป้งเอนกประสงค์	50	กรัม	แป้งเอนกประสงค์	50	กรัม
นมข้นจืด	½	ถ้วยตวง	นมข้นจืด	½	ถ้วยตวง
น้ำใบเตย	½	ถ้วยตวง	น้ำใบเตย	½	ถ้วยตวง

วิธีทำ

1. ละลายแป้งข้าวโพดและแป้งเอนกประสงค์ในกะทิ อย่าให้เป็นเม็ด
2. ตีไข่ไก่ให้เข้ากัน ใส่ น้ำตาลทราย นมข้นจืด น้ำใบเตย กะทิผสมแป้ง คนให้เข้ากัน
3. กวนไส้ โดยใช้ตระกร้อผสมคนกวนจนสุก ยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. สูตรประยุกต์จะใช้แป้งข้าวกล้องแทนแป้งข้าวโพดในปริมาณที่เท่ากัน

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้น จะผ่านการตรวจสอบสมบัติด้านต่าง ๆ เช่น ลักษณะปรากฏ สมบัติทางเคมี จำนวนจุลินทรีย์ สมบัติต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่

1. ค่าสี (ด้วยระบบวัดสีแบบฮันเตอร์ Hunter color System L^* , a^* และ b^*)
2. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารด้วยเครื่อง texture analyzer
3. ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)
4. ปริมาณโปรตีน (Protein content) kjeldahl method ตามวิธี AOAC.1995
5. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธี AOAC.1995: Gravimetric method 925.10
6. ปริมาณเยื่อใย (Crude fiber) ตามวิธี AOAC.1995 ด้วยเครื่องมือ VELP รุ่น FIWE 6
7. ปริมาณไขมัน (Fat content) ตามวิธี AOAC.1995 โดยวิธี Soxhlet Extraction

8. ด้านจุลชีววิทยา คือการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหาร โดยวิธีการพอร์เพลท ผลจากการนับจำนวนโคโลนี คำนวณออกมาเป็นค่า CFU ต่อกรัมของตัวอย่าง และการศึกษาปริมาณยีสต์และราในอาหาร โดยวิธีการสเปรดเพลท ผลจากการนับจำนวนโคโลนี คำนวณออกมาเป็นค่า CFU ต่อกรัมของตัวอย่าง

9. การทดสอบทางประสาทสัมผัส นำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น มาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการเรียงลำดับความชอบของสูตรต่าง ๆ ที่ทำการผลิตขึ้น (Preference Rank Test) โดยวิธี Friedman Test และมีผู้ทดสอบทั้งหมด 50 คน

3.5 การวิเคราะห์สถิติข้อมูลการทดลอง

วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 ตัวแปรที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใย ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เปอร์เซนต์ผลผลิต ความชื้น ความหนืด ดรรชนีการดูดซับน้ำ และดรรชนีการละลายน้ำ

แบบการวิจัย หรือแผนการทดลอง (Experimental design)

แผนการทดลองเป็นแบบ Factorial in CRD เพราะ

- 1) ศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง
- 2) การทำซ้ำไม่มีผลต่อการทดลอง
- 3) ศึกษาปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ และ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง

จำนวนสิ่งทดลอง = $3 \times 2 = 6$

คือ อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 120 ,130 ,140 องศาเซลเซียส

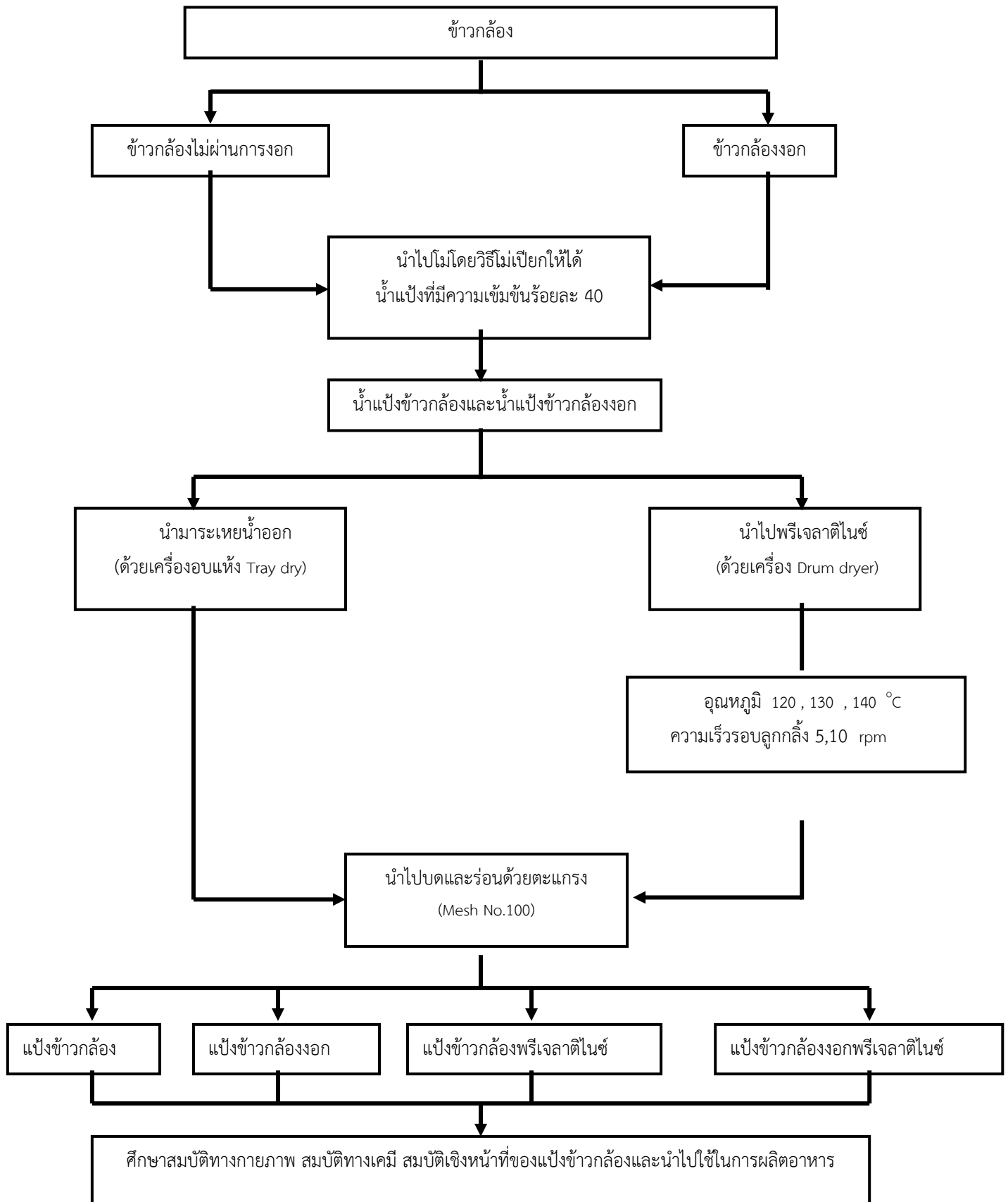
ความเร็วรอบ 2 ระดับ ได้แก่ 5 , 10 rpm

ตัวแปรอิสระ คือ อุณหภูมิ และ ความเร็วรอบ

ตัวแปรตาม คือ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี

สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต

และสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความหนืด การดูดซับน้ำ และการละลายน้ำ



ภาพ 3 ภาพรวมของการวิจัย

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การศึกษาผลของการงอกที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของแป้งข้าวกล้อง

การศึกษาผลของการงอกที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของแป้งข้าวกล้อง โดยทำการศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และสมบัติทางการภาพ(ค่าสี) และทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆระหว่างแป้งข้าวกล้องไม่ งอก และแป้งข้าวกล้องดิบ แสดงในตาราง 1, 2 และ 3

ตาราง 1 ผลของการงอกที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวกล้อง

ชนิดแป้ง	สมบัติทางเคมี (%)					
	โปรตีน ^{ns}	ไขมัน ^{ns}	ความชื้น ^{ns}	เยื่อใย ^{ns}	เถ้า ^{ns}	คาร์โบไฮเดรต ^{ns}
ดิบไม่งอก	8.35±0.02	2.70±0.13	10.54±0.42	1.83±0.08	1.23±0.00	75.36±0.38
ดิบงอก	8.29±0.06	2.39±0.05	11.50±0.16	1.95±0.10	1.21±0.09	74.67±0.36

ns = non significant ($\alpha=0.05$)

จากตาราง 1 พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวกล้องงอกและไม่งอกทุกคุณสมบัติ ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการงอกจึงไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวกล้อง ที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในกระบวนการงอกของข้าวกล้องจะใช้องค์ประกอบของ Free-amino และ Enzyme ต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการงอกเป็นส่วนใหญ่ แต่องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีจะไม่ถูกใช้ใน กระบวนการงอกมากนัก จึงเป็นผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากแป้งข้าวกล้อง ไม่งอก

ตาราง 2 ผลของการงอกที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้อง

ชนิดแป้ง	WAI	WSI(%)	ความหนืด
ดิบไม่งอก	0.91±0.00 ^b	3.24±1.03	39.60±0.28 ^b
ดิบงอก	1.02 ±0.02 ^a	4.88±0.83	50.70±2.62 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากตาราง 2 พบว่าคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องงอกและไม่งอก มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติอยู่ 2 ด้าน คือ WAI และ ความหนืด แต่การงอกไม่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ด้าน WSI ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในกระบวนการงอกจะมีการย่อยเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งทำให้สาย Amylose และ Amylopectin ถูกย่อยให้สายสั้นลงในระดับหนึ่ง จึงทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับตัวกับโมเลกุลของ สายแป้งได้ง่ายกว่าแป้งไม่งอก ซึ่งทำให้สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งมีค่าเพิ่มขึ้น

ตาราง 3 ผลของการงอกที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวกัลลิ่ง

ชนิดแป้ง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
ดิบไม่งอก	90.74 ± 0.05 ^b	0.33 ± 0.06 ^b	8.06 ± 0.04 ^a
ดิบงอก	91.47 ± 0.02 ^a	0.45 ± 0.02 ^a	7.36 ± 0.01 ^b

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากตาราง 3 พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสี (L* , a* ,b*) ของแป้งข้าวกัลลิ่งงอกและไม่งอกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมด ดังนั้น การงอกมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวกัลลิ่ง คือ ค่าสี (L* , a* ,b*) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในกระบวนการงอกข้าวได้ผ่านการแช่น้ำและเพาะให้งอกทำให้เกิดกระบวนการหมักเล็กน้อย มีผลทำให้แป้งมีสีคล้ำขึ้น

4.2 ผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวกัลลิ่ง

2.1 แป้งข้าวกัลลิ่งไม่งอก

การศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวกัลลิ่งไม่งอก ซึ่งไม่มีinteraction ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ ในกระบวนการ pregelatinization ที่มีผลต่อ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า WAI และ WSI ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตาราง 4 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวกัลลิ่งไม่งอก

อุณหภูมิ(°C)	สมบัติทางเคมี(%)				WAI	WSI(%)
	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า		
120	9.02	1.83 ^a	1.43	1.48 ^a	5.44	3.34 ^a
130	8.72	1.82 ^a	1.45	1.36 ^b	5.57	2.91 ^{ab}
140	8.83	1.45 ^b	1.44	1.38 ^b	5.46	2.53 ^b

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

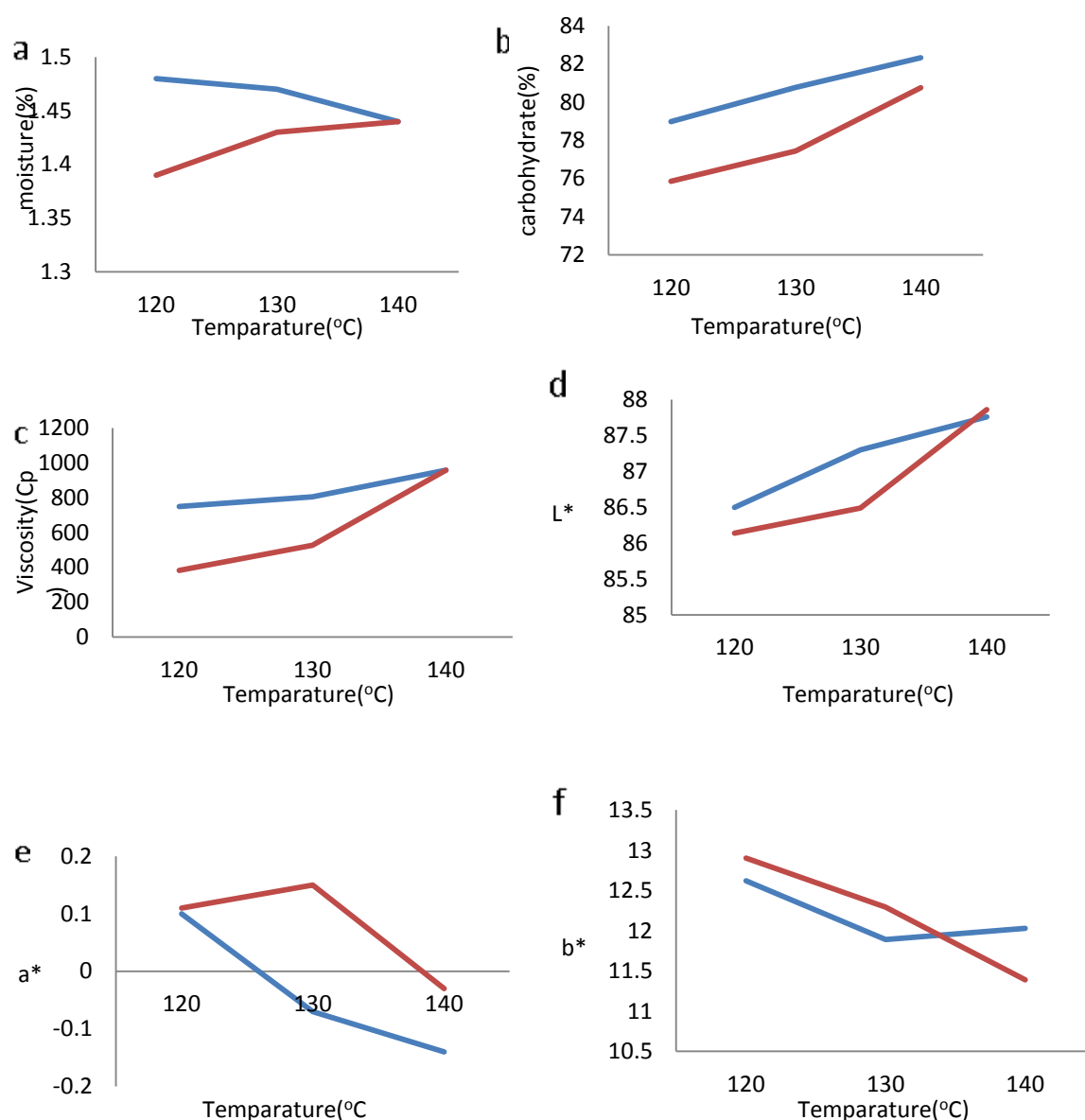
ตาราง 5 ผลของความเร็รรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวก้าวไม่งอก

ความเร็รรอบ(rpm)	สมบัติทางเคมี(%)				WAI ^{ns}	WSI(%) ^{ns}
	โปรตีน ^{ns}	ไขมัน ^{ns}	เยื่อใย ^{ns}	เถ้า ^{ns}		
5	8.96	1.87	1.46	1.38	5.63	2.79
10	8.74	1.52	1.42	1.43	8.87	3.06

ns = non significant ($\alpha=0.05$)

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่า ผลของอุณหภูมิและความเร็รรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติทางต่างๆ ของแป้งข้าวก้าวไม่งอก พบว่าอุณหภูมิและความเร็รรอบ ไม่มีผลต่อปริมาณของ โปรตีน เยื่อใย เถ้า และค่าการดูดซับน้ำ (WAI) แต่จากตาราง 4 พบว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อปริมาณไขมัน เถ้า และ WSI ซึ่งไขมันที่อุณหภูมิ 120°C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับอุณหภูมิ 130°C แต่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอุณหภูมิ 140 °C ส่วนเถ้าที่อุณหภูมิ 130°C และ 140 °C จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จะแตกต่างกันกับอุณหภูมิ 120°C และ WSI จะแตกต่างกันทางสถิติที่อุณหภูมิ 120°C และ 140 °C แต่ที่อุณหภูมิ 130 °C จะไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทั้ง 2 อุณหภูมิ ส่วนความเร็รรอบนั้นพบว่าไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวก้าวไม่งอก

จากผลของอุณหภูมิและความเร็รรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติทางต่างๆ ของแป้งข้าวก้าวไม่งอก พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต ความชื้น ความหนืด และค่าสี (L*, a*,b*) ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 4 ผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบ ที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของแป้งข้าวกล้องไม่งอก

ความเร็วรอบ(rpm) — 5 — 10

จากภาพ 4 พบว่า ผลต่อความชื้น (ภาพ 4a) ที่ความเร็วรอบ 5 และ 10 rpm เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความชื้นจะลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่ความเร็วรอบ 5 rpm จะมีความชื้นน้อยกว่าที่ 10 rpm

ผลต่อคาร์โบไฮเดรต (ภาพ 4b) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมากกว่าที่ความเร็วรอบ 10 rpm

ค่าความหนืด (ภาพ 4c) พบว่าที่ความเร็วรอบ 5 rpm ค่าความหนืดจะเพิ่มอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และ 10 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 เป็น 130 °C ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 140 °C โดยที่ค่าความหนืดจะมีค่ามากกว่าที่ความเร็วรอบ 10 rpm

ค่าสี L^* (ภาพ 4d) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าสี L ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และที่ 10 rpm จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 130°C และ 140°C

ค่าสี a^* (ภาพ 4e) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าสี A จะลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่ 10 rpm จะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 130°C และลดลงอย่างรวดเร็วที่ 140°C

ค่าสี b^* (ภาพ 4f) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 130°C ค่าสี B จะลดลง และจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 140°C แต่ที่ความเร็วรอบ 10 rpm จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง

ในทำนองเดียวกันการใช้กระบวนการ pregelatinization กับแป้งข้าวกล้องงอก พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ที่มีผลต่อค่าความชื้น คาร์โบไฮเดรต ความหนืด WAI WSI ค่าสี L^* และ b^* ดังแสดงในภาพ 5 และ ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ ที่มีผลต่อค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และ a^* ดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7

2.2 แป้งข้าวกล้องงอก

การศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอก ซึ่งไม่มี interaction ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ ในกระบวนการ pregelatinization ที่มีผลต่อ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และค่าสี a^* ดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7

ตาราง 6 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอก

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	สมบัติทางเคมี(%)				ค่าสี a^*
	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	
120	8.71	2.38	1.42	1.48	0.26 ^a
130	8.70	2.08	1.62	1.46	0.16 ^b
140	8.77	1.91	1.56	1.47	0.23 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ตาราง 7 ผลของความเร็วยรอบในกระบวนการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอก

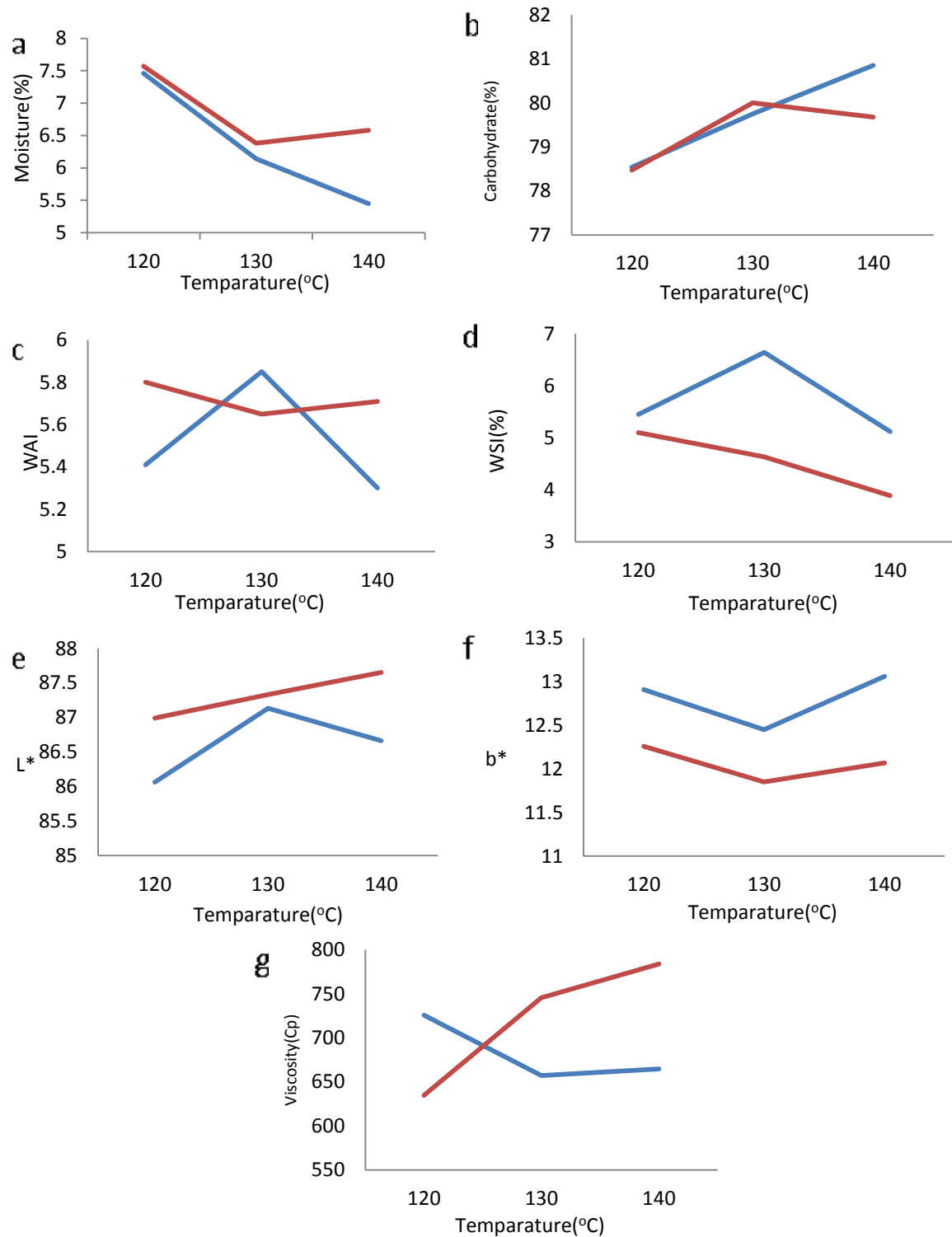
ความเร็วรอบ(rpm)	สมบัติทางเคมี(%)				ค่าสี a^* ^{ns}
	โปรตีน ^{ns}	ไขมัน ^{ns}	เยื่อใย ^{ns}	เถ้า ^{ns}	
5	8.76	2.22	1.45	1.51	6.35
10	8.69	2.03	1.61	1.45	6.84

ns = non significant ($\alpha=0.05$)

จากตารางที่ 6 พบว่า อุณหภูมิและความเร็วรอบ ไม่มีผลต่อค่าของ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ เถ้า ของแป้งข้าวกล้องงอก แต่อุณหภูมิจะมีผลต่อค่าสี a^* ของแป้งข้าวกล้องงอก โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 120 และ 140°C มีค่าสี a^* เท่ากับ 0.26 และ 0.23 ซึ่งไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสูง

เท่ากับค่าสี a^* ของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 130 °C ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลความเร็วรอบที่ไม่มีผลต่อค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และค่าสี a^*

อย่างไรก็ตาม พบ interaction ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ ในกระบวนการ pregelatinization ที่มีผลต่อ ค่าความชื้น คาร์โบไฮเดรต ความหนืด WAI WSI ค่าสี L^* และ b^* ดังแสดงในภาพ 5



ภาพ 5 ผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบ ที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของแป้งข้าวจ้าวลี้ยงงอก

ความเร็วรอบ(rpm) — 5 — 10

ค่าความชื้น (ภาพ 5a) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ขึ้นที่ความเร็วรอบ 5 rpm จะมีผลทำให้ความชื้นลดลง แต่ที่ความเร็วรอบ 10 rpm ค่าความชื้นจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 120 °C เป็น 130 °C แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 140 °C ค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

คาร์โบไฮเดรต(ภาพ 5b) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นที่ความเร็วรอบ 5 rpm ปริมาณคาร์โบไฮเดรต จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ที่ความเร็วรอบ 10 rpm ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 °C เป็น 130 °C แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 140 °C

WAI (ภาพ 5c) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 120 °C เป็น 130 °C จะมีผลทำให้ค่า WAI เพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเป็น 140 °C และที่ความเร็วรอบ 10 rpm ค่า WAI จะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 °C เป็น 130 °C แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเป็น 140 °C

WSI (ภาพ 5d) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 °C เป็น 130 °C ซึ่งมีผลทำให้ค่า WSI เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 140 °C มีผลทำให้ ค่า WSI ลดลง และที่ความเร็วรอบ 10 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ จะมีผลทำให้ค่า WSI ลดลงอย่างต่อเนื่อง

ค่าสี L* (ภาพ 5e) ที่ความเร็วรอบ 5 rpmเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 °C เป็น 130 °C ซึ่งมีผลทำให้ค่าสี L* มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 140 °C พบว่า ค่าสี L* มีค่าลดลง แต่ที่ความเร็วรอบ 10 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆจะมีผลทำให้ค่าสี L* มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ค่าสี b* (ภาพ 5f) ความเร็วรอบ 5 rpmเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 °C เป็น 130 °C ซึ่งมีผลทำให้ค่าสี b* ลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 140 °C จะส่งผลให้ค่าสี b* เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับความเร็วรอบ 10 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 °C เป็น 130 °C มีผลทำให้ค่าสี b* ลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 140 °C จะทำให้ค่าสี b* เพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบ 10 rpm มีค่าสีน้อยกว่าค่าสี b* ที่ความเร็วรอบ 5 rpm

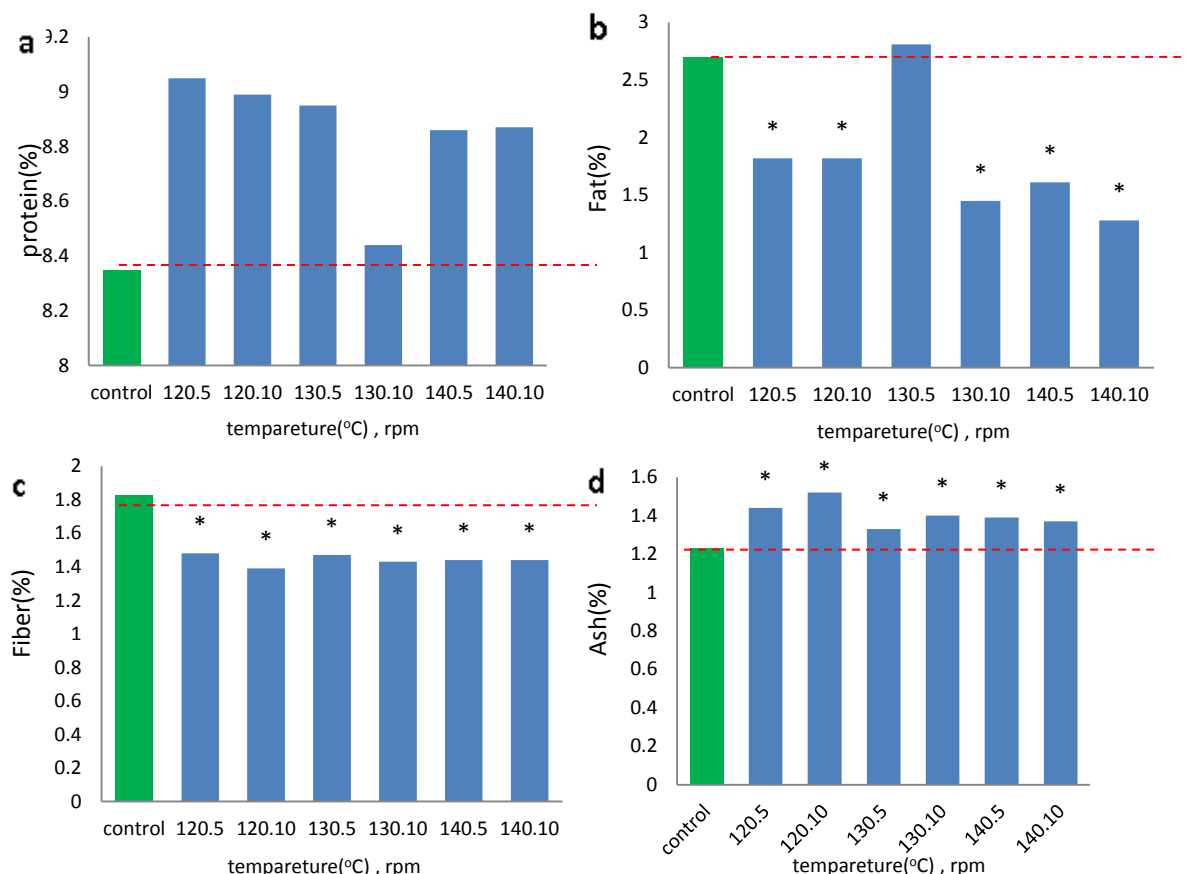
ความหนืด (ภาพ 5g) ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 120 °C เป็น 130 °C จะมีผลทำให้ค่าความหนืดลดลงและคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ที่ความเร็วรอบ 10 rpm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการ pregelatinization อยู่ในช่วง 120-140 °C ซึ่งไม่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเคมีซึ่งไม่มีค่าแตกต่างกันหลังผ่านการ pregelatinization แต่อุณหภูมิจะส่งผลให้สมบัติเชิงหน้าที่และสมบัติทางกายภาพมีค่าต่างกัน คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของแป้งถูกทำลายด้วยความร้อนซึ่งทำให้มีการดูดซับน้ำและละลายได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการ pregelatinization และจะส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันส่วนค่าสีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สีของแป้ง pregelatinization ทั้งสองชนิดมีค่าสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากการเกิด caramelization เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการ pregelatinization จะมีค่าในด้านคุณสมบัติเชิงหน้าที่สูงกว่าแป้งข้าวกล้องพรีเจลลาติไนซ์ เนื่องจากข้าวกล้องงอกได้ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในช่วงกระบวนการทำให้งอกมาแล้วในระดับหนึ่งและเมื่อผ่านการ pregelatinization ทำให้แป้งโดนความร้อน ทำให้ความร้อนทำลายสายโมเลกุลของแป้งอีกรอบหนึ่งส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการ pregelatinization มีค่าสมบัติเชิงหน้าที่สูงกว่าแป้งข้าวกล้องพรีเจลลาติไนซ์ ส่วนความเร็วรอบ พบว่าที่ความเร็วรอบ 5 และ 10 rpm จะไม่ส่งผลต่อค่าสมบัติทางด้านเคมีเนื่องจาก

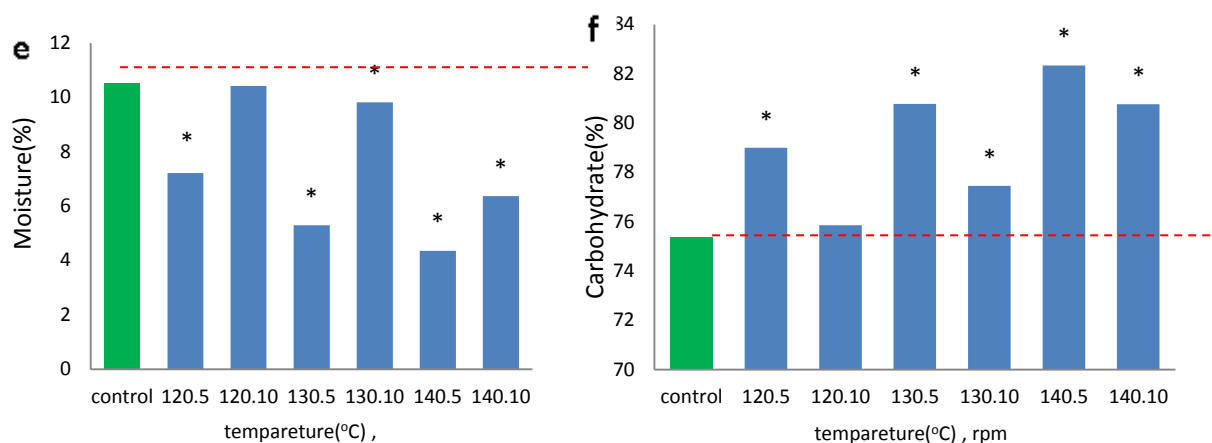
ความเร็วรอบ 5 และ 10 rpm มีความเร็วรอบที่ไม่ส่งผลต่อค่าทางสมบัติด้านเคมีทั้งสามอุณหภูมิ แต่จะส่งผลต่อค่าสมบัติเชิงหน้าที่และสมบัติทางกายภาพมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ความเร็วรอบที่ 5rpm เนื่องจากเวลาที่น้ำแป้งถูกความร้อนนานกว่าความเร็วรอบที่ 10rpm ซึ่งส่งผลให้ความร้อนทำลายสายโมเลกุลของแป้งได้ดีกว่าความเร็วรอบที่สูงทำให้แป้งที่ผ่านการ pregelatinization ที่ความเร็วรอบ 5rpm สามารถละลายและดูดซับน้ำได้ดีรวมทั้งมีความหนืดสูงกว่าอีกด้วย

ตอนที่ 3 ผลของการ pregelatinization ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของแป้งข้าวกุ้ง

3.1 แป้งข้าวกุ้งไม่ออก

ผลของการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆของแป้งข้าวกุ้งไม่ออก ซึ่งทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านต่างๆของแป้งข้าวกุ้งพรีเจลลาติไนซ์ไม่ออกที่สภาวะการ pregelatinization กับแป้งข้าวกุ้งดิบไม่ออก(control) โดยใช้วิธี Dunnett ในการเปรียบเทียบ ดังแสดงในภาพ 3, 4 และ 5

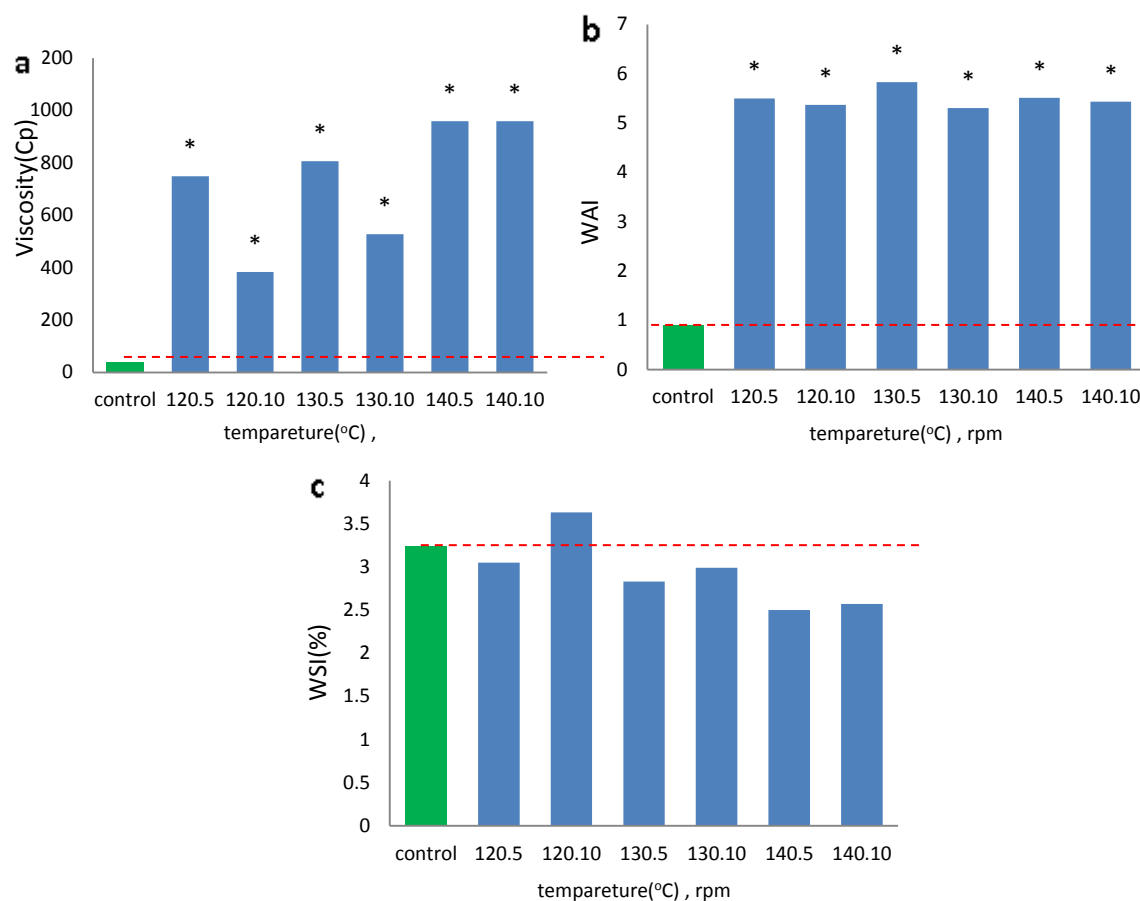




ภาพ 6 ผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวก้าวไม่ออก

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ control โดยวิธี Dunnett ($\alpha = 0.05$)

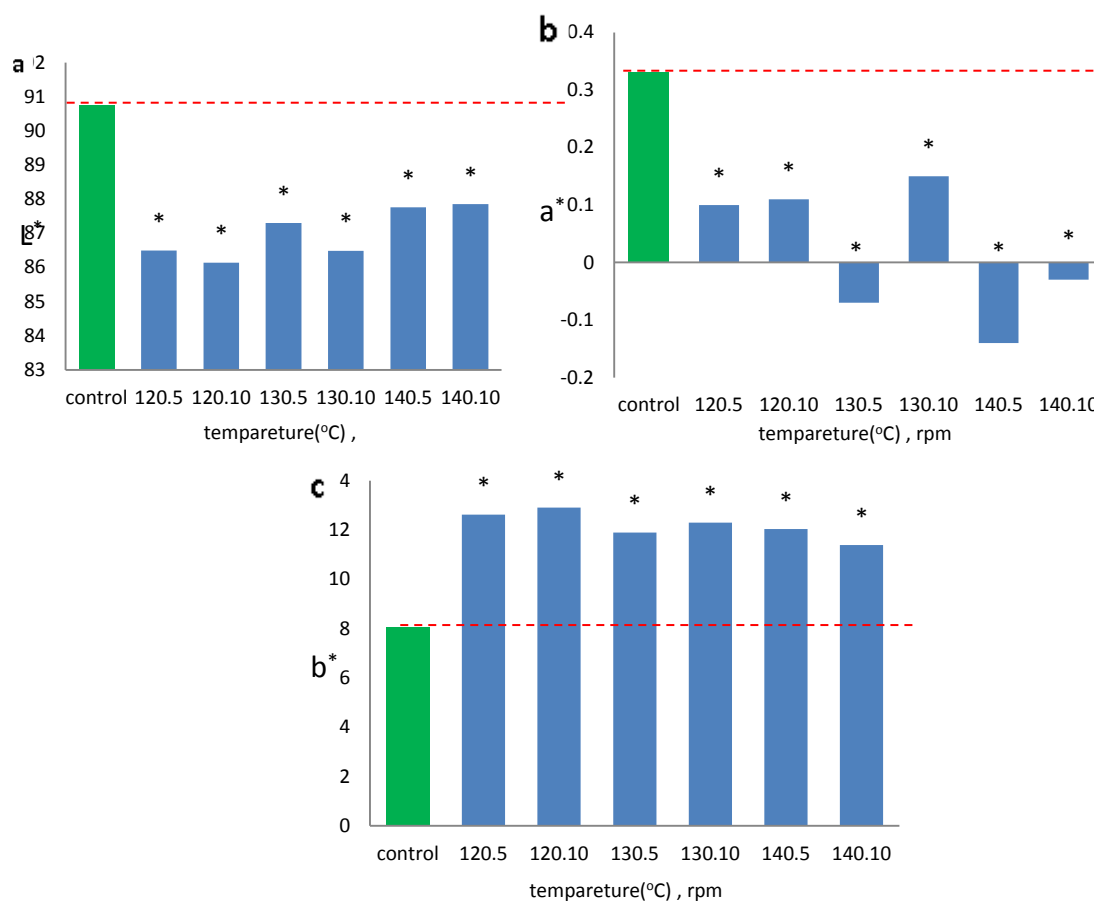
จากภาพ 6 พบว่าปริมาณโปรตีน (ภาพ 3a), เถ้า (ภาพ 3d) และคาร์โบไฮเดรต (ภาพ 3f) ในทุกๆ อุณหภูมิและความเร็วรอบมีการเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างทางสถิติกับตัวควบคุม(แป้งข้าวก้าวไม่ออก) แต่ปริมาณโปรตีน (ภาพ 3a) และคาร์โบไฮเดรตที่อุณหภูมิ 120 °C ความเร็วรอบ 10 rpm (ภาพ 3f) ไม่มีความแตกต่างกับตัวควบคุม(แป้งข้าวก้าวไม่ออก) ในขณะที่ปริมาณไขมัน (ภาพ 3b), เยื่อใย (ภาพ 3c) และ ความชื้น (ภาพ 3e) มีการลดลง และมีความแตกต่างทางสถิติกับตัวควบคุม(แป้งข้าวก้าวไม่ออก) แต่ปริมาณ ไขมันที่อุณหภูมิ 130 °C ความเร็วรอบ 5 rpm (ภาพ 3b) มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และความชื้นที่อุณหภูมิ 120 °C ความเร็วรอบ 10 rpm (ภาพ 3e) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตัวควบคุม(แป้งข้าวก้าวไม่ออก) ดังนั้น การ pregelatinization ต่อคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวก้าวไม่ออก ในปริมาณไขมัน, เยื่อใย, เถ้า, ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตแต่ไม่มีผลกับปริมาณโปรตีน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในกระบวนการ pregelatinization จะมีผลทำให้แป้งข้าวก้าวมีสมบัติทางด้านต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ความร้อนจะส่งผลให้ ความชื้นของแป้งมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการ pregelatinization จึงทำให้ผลการ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจเนื่องมาจากน้ำหนักของตัวอย่างอาจไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับ น้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนและอาจเป็น ผลมาจากการ pregelatinization ทำให้สมบัติทางเคมีสูญเสียไปได้



ภาพ 7 ผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องไม่ออก

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ control โดยวิธี Dunnett ($\alpha = 0.05$)

จากภาพ 7 พบว่า ความหนืด (ภาพ 4a) และ WAI (ภาพ 4b) ในทุก ๆ อุณหภูมิและความเร็วรอบ มีการเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกับตัวควบคุม (แป้งข้าวกล้องงอก) ในขณะที่ WSI (ภาพ 4b) ไม่มีความแตกต่างกับตัวควบคุม (แป้งข้าวกล้องงอก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการ pregelatinization มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องไม่ออกในด้านของ ความหนืด , WAI แต่ไม่มีผลต่อ WSI ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากแป้งข้าวกล้องไม่ได้ผ่านการงอกมาก่อน เมื่อนำมาผ่านการ pregelatinization จะมีผลทำให้โครงสร้างของแป้งคือ amylose และ amylopectin มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแป้งข้าวกล้องงอก จึงทำให้ค่าการละลาย การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันมากนัก

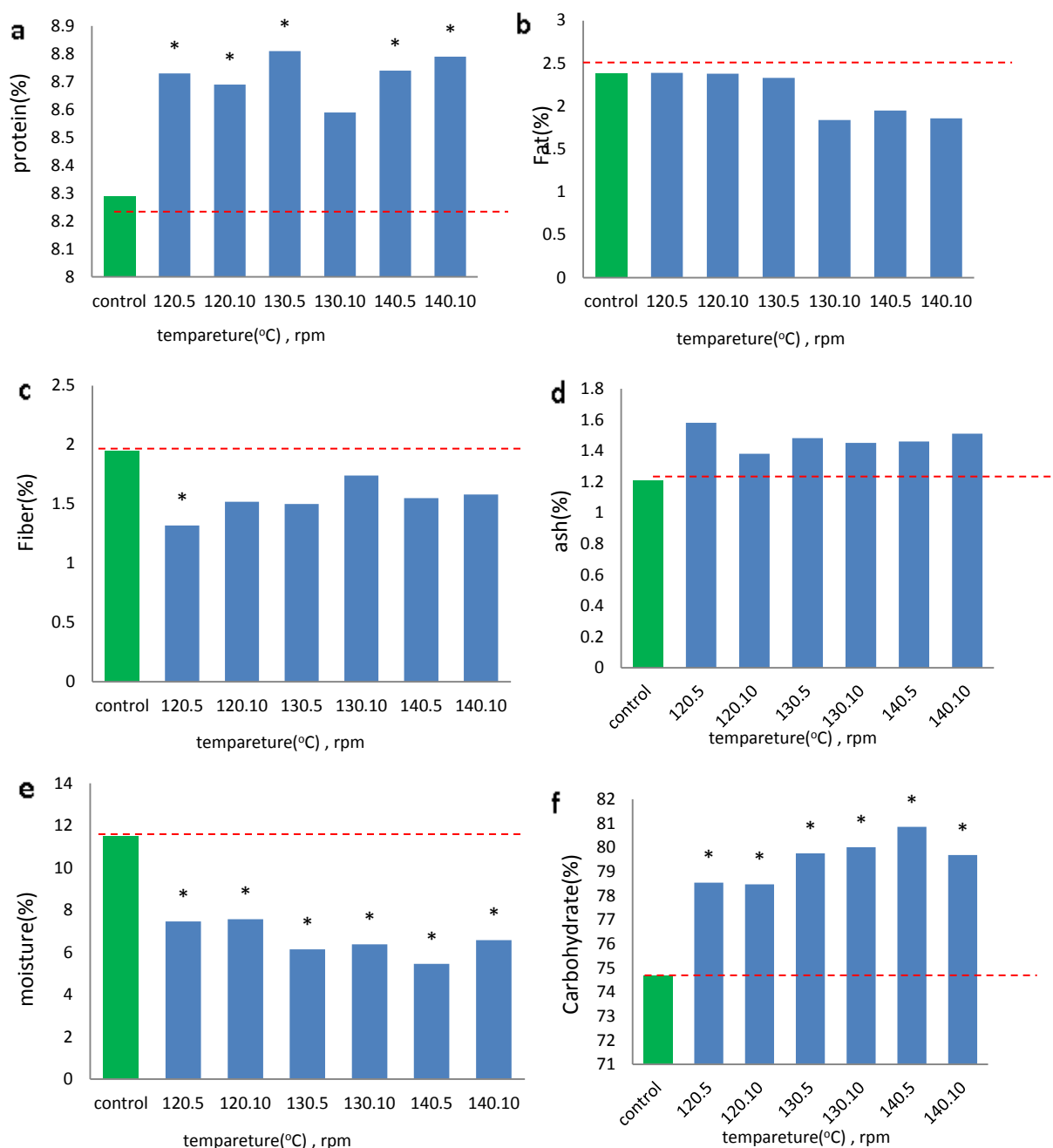


ภาพ 8 ผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (ค่าสี) ของแป้งข้าวกัลปังหึงไม่ออก
* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับ control โดยวิธี Dunnett($\alpha = 0.05$)

จากภาพ 8 พบว่า ค่าสี L* (ภาพ 5a) , ค่าสี a* (ภาพ 5b) และ ค่าสี b* (ภาพ 5c) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ ค่าสี L* (ภาพ 5a) มีการลดลงในทุก ๆ อุณหภูมิ และความเร็วรอบ ค่าสี a* (ภาพ 5b) มีการเพิ่มขึ้น ณ ความอุณหภูมิ/ ความเร็วรอบ ที่ 120/5 , 120/10 , 130/5 และมีการลดลง ณ ความอุณหภูมิ/ ความเร็วรอบ ที่ 135/5 , 140/5 , 140/10 ค่าสี b* (ภาพ 5c) มีการเพิ่มขึ้นในทุก ๆ อุณหภูมิ และความเร็วรอบ ดังนั้น pregelatinization มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ(ค่าสี) ของแป้งข้าวกัลปังหึงไม่ออก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากแป้งข้าวกัลปังหึงไม่ออกผ่านการ pregelatinization ซึ่งผ่านความร้อนทำให้โครงสร้างของแป้งมีขนาดเล็กลง และเมื่อความร้อนเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดๆ หนึ่ง ทำให้เกิดปฏิกิริยา Caramelization ทำให้สีของแป้งเข้มขึ้น แต่จะมีสีอ่อนกว่าแป้งข้าวกัลปังหึงไม่ออกฟรีเจลาติไนซ์

3.2 แป้งข้าวกล้องงอก

ผลของการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆของแป้งข้าวกล้องงอก ซึ่งทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของแป้งข้าวกล้องงอกพรีเจลลาติไนซ์ ที่สภาวะการ pregelatinization กับแป้งข้าวกล้องงอก(control) โดยใช้วิธี Dunnett ในการเปรียบเทียบ ดังแสดงในภาพ 6 , 7 และ 8

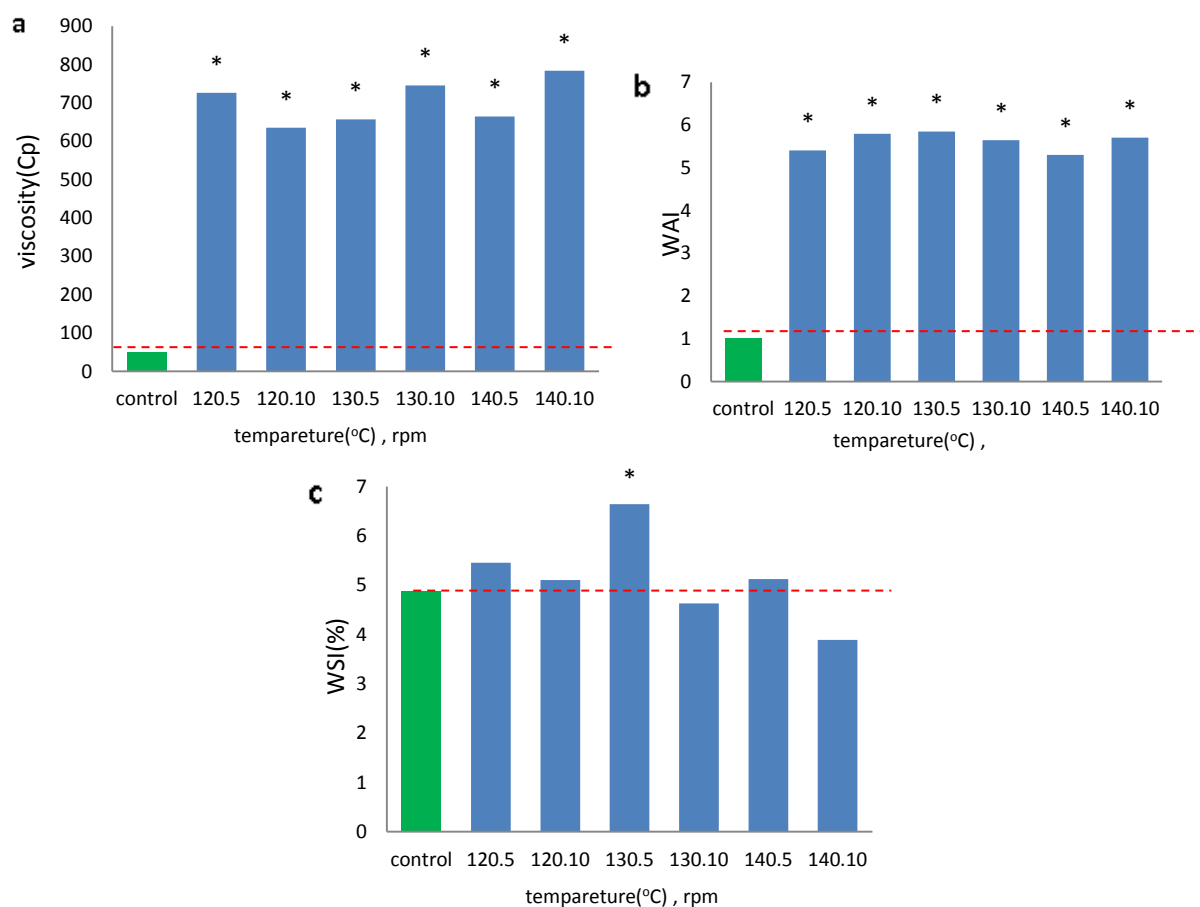


ภาพ 9 สมบัติทางเคมีของ pregelatinized germinated flour เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดิบที่ไม่ผ่านการ

* pregelatinization

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ control โดยวิธี Dunnett ($\alpha = 0.05$)

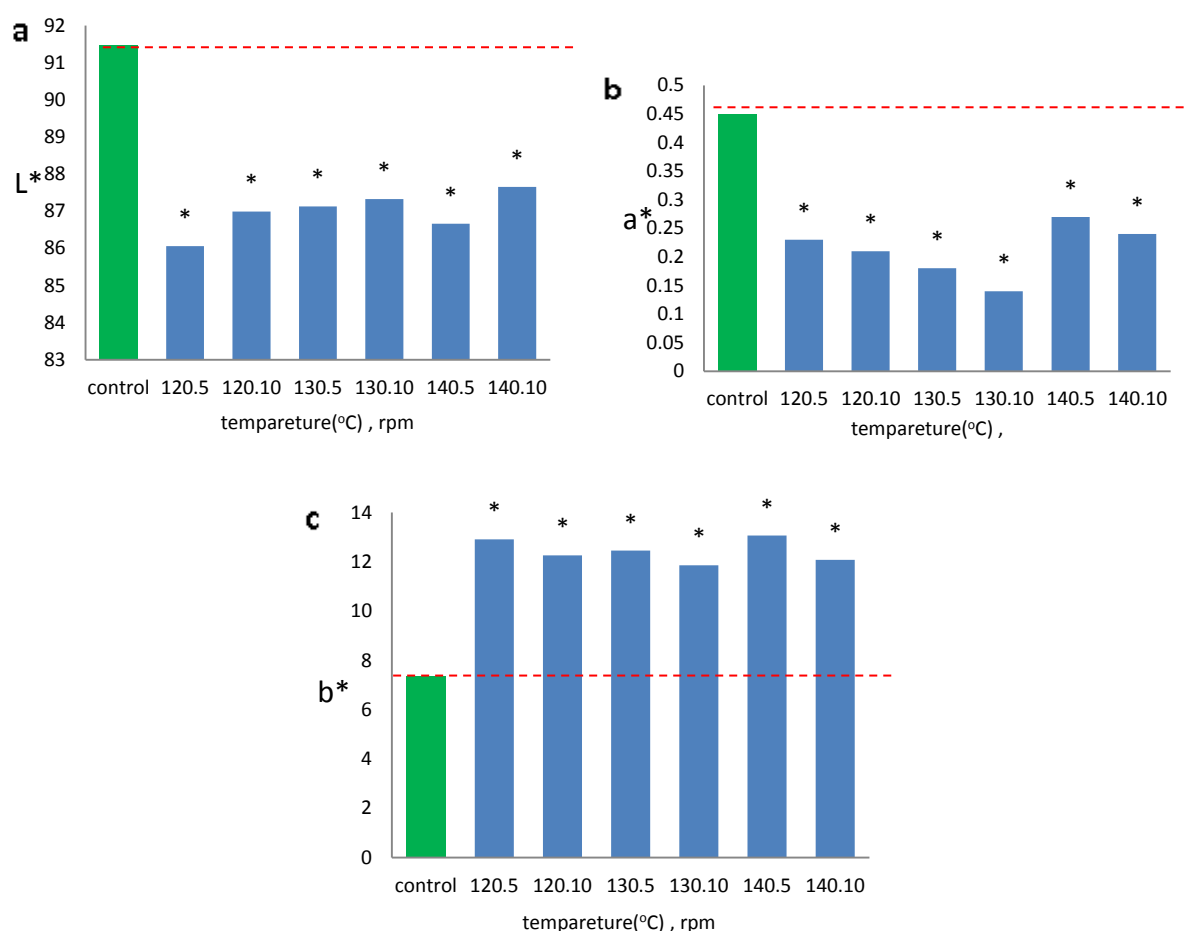
ภาพ 9 แสดงผลของการ pregelatinization ที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวกล้องงอก พบว่าการ pregelatinization มีผลทำให้ปริมาณโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ปริมาณไขมัน เยื่อใย และความชื้นลดลง โดยปริมาณโปรตีน(ภาพ 6a)ที่อุณหภูมิ 130 °C ความเร็วรอบ 10 rpm ไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม(แป้งข้าวกล้องงอกดิบ) แต่ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบอื่นๆมีความแตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งมีผลทำให้ค่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมัน(ภาพ 6b)และปริมาณเถ้า(ภาพ 6d)ในทุกอุณหภูมิและความเร็วรอบของกระบวนการ pregelatinization ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ปริมาณเยื่อใย(ภาพ 6c)ที่ 120 °C ความเร็วรอบ 5 rpm แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ปริมาณความชื้น(ภาพ 6e) และ คาร์โบไฮเดรต (ภาพ 6f) พบว่าการ pregelatinization มีผลทางสถิติต่อปริมาณความชื้น ซึ่งกระบวนการ pregelatinization จะมีผลทำให้ค่าความชื้นของแป้งข้าวกล้องงอกลดลง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในกระบวนการ pregelatinization มีผลทำให้ความชื้นของแป้งลดลง แป้งที่ได้จึงแห้งกว่าเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการ pregelatinization จึงทำให้น้ำหนักของแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวกล้องงอกพรีเจลาติไนซ์ไม่เท่ากัน โดยที่แป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์มีน้ำหนักมากกว่า เมื่อชั่งน้ำหนักก่อนนำมาวิเคราะห์ในปริมาณเท่ากันผลขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จึงแตกต่างกันด้วย



ภาพ 10 ผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องงอก

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ control โดยวิธี Dunnett ($\alpha = 0.05$)

ภาพ 10 แสดงผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องงอก พบว่าการ pregelatinization มีผลทำให้ความหนืด การละลายน้ำเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าของการละลายน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และที่ความเร็วรอบที่ 5 rpm จะมีการละลายน้ำมากกว่าที่ ความเร็วรอบที่ 10 rpm และจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยค่าความหนืด(ภาพ 7a)และ ค่า WAI (ภาพ 7b) พบว่าการ pregelatinization มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืด และ ค่า WAI และที่ค่า WSI (ภาพ 7c) พบว่าการ pregelatinization มีผลทางนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 130 °C ความเร็วรอบ 5 rpm ซึ่งมีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม (แป้งข้าวกล้องงอก) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากข้าวกล้องได้ผ่านการงอกมาครั้งหนึ่ง จึงทำให้โครงสร้างของแป้งเปลี่ยนแปลงไปบางส่วน และเมื่อนำมาผ่านการ pregelatinization ความร้อนในกระบวนการจะมีผลทำให้โครงสร้างของแป้งคือ amylose และ amylopectin ถูกตัดให้มีสายสั้นลง ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับตัวได้ง่ายขึ้น ทำให้เม็ดแป้งมีการพองตัวได้ง่ายขึ้น ทำให้การละลายและความหนืดมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องผ่านความร้อนหรือใช้ความร้อนต่ำ



ภาพ 11 ผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ(ค่าสี)ของแป้งข้าวกล้องงอก

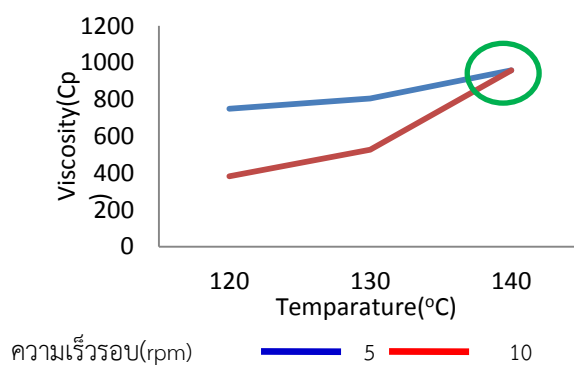
* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ control โดยวิธี Dunnett($\alpha = 0.05$)

ภาพ 11 แสดงผลของการ pregelatinization ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวกอล้าง
งอก พบว่าการ pregelatinization มีผลทางสถิติกับค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยจะมีผลทำให้ค่าสี L^* (ความ
สว่าง) และ a^* (เขียว-แดง) มีค่าลดลง แต่มีผลทำให้ค่าสี b^* (น้ำเงิน-เหลือง) มีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแป้ง
ข้าวกอล้างพรีเจลาติไนซ์ได้ผ่านการงอกโดยการแช่น้ำและการเพาะทำให้มีสีเข้มในระดับหนึ่ง เมื่อนำมาผ่าน
การ pregelatinization ความร้อนของเครื่องจะทำให้แป้งมีสีที่เข้มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา
Caramelization ทำให้โมเลกุลของแป้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และเมื่อความร้อนเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดสีน้ำตาล
ไหม้ สีของแป้งจึงเปลี่ยนไปด้วย

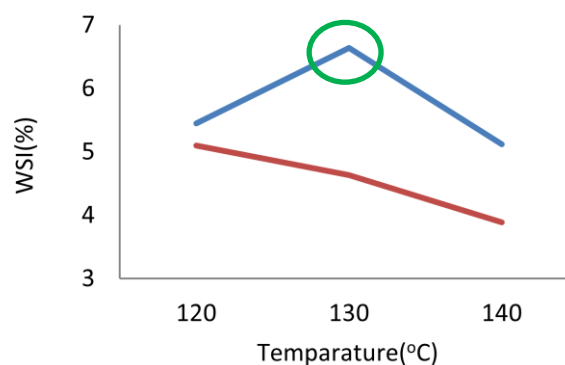
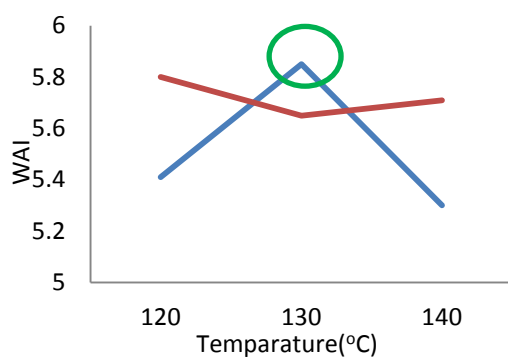
ตอนที่ 4 การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวกัลปังหอก

4.1 แป้งที่ได้รับการคัดเลือกเพื่อศึกษาต่อในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวกัลปังหอก

ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือก คือ สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความหนืด, WAI, WSI (%) โดยคัดเลือกตัวอย่างแป้งที่ให้ค่าดังกล่าวดีที่สุด



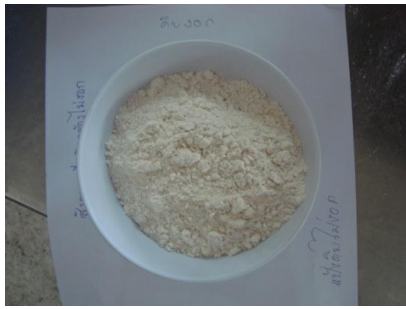
การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของแป้งข้าวกัลปังหอก



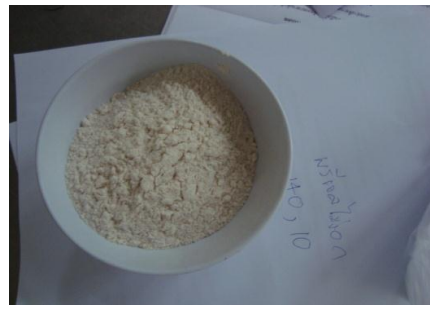
การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของแป้งข้าวกัลปังหอก

ดังนั้น ตัวอย่างที่ได้รับการคัดเลือกทั้งหมด 4 ตัวอย่าง (ภาพ 12) ได้แก่

1. แป้งข้าวกัลปังหอกดิบไม่งอก
2. แป้งข้าวกัลปังหอก
3. แป้งข้าวกัลปังหอกฟรีเจล (140 °C, 10 rpm)
4. แป้งข้าวกัลปังหอกฟรีเจล (130 °C, 5 rpm)



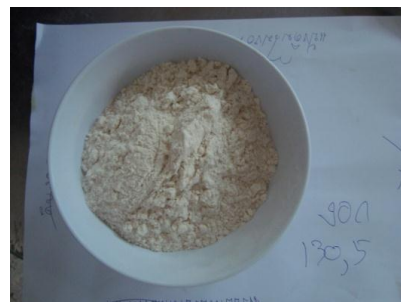
แป้งข้าวกล้องดิบไม่งอก



แป้งข้าวกล้องฟรีเจล (140 oC, 10 rpm)



แป้งข้าวกล้องงอก



แป้งข้าวกล้องงอกฟรีเจล (130 oC, 5 rpm)

ภาพ 12 ลักษณะของแป้งที่ทำการคัดเลือก

4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส ทำโดยวิธี Friedman Test โดยมีผู้ทดสอบจำนวน 50 คน และมีหลักการคือ เป็นการทดสอบที่ใช้การเรียงลำดับ ซึ่งถือเป็น non-parametric version ของ ANOVA ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส คือ สัณขยาที่ทำจากแป้ง 4 ชนิด ดังแสดงในภาพ 13 และจัดชุดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังภาพ 14



แป้งข้าวกัลลังดิบไม่งอก



แป้งข้าวกัลลังงอก



แป้งข้าวกัลลังงอกพรีเจล (130 oC, 5 rpm)



แป้งข้าวกัลลังพรีเจล (140 oC, 10 rpm)

ภาพ 13 ลักษณะของสัณขยาที่ทำจากแป้งชนิดต่างๆ



ภาพ 14 ชุดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Friedman Test เป็นวิธีที่มีพื้นฐานมาจากการคำนวณแบบไครส์แควร์ (χ^2) ผลสรุปที่ได้จากการทดสอบแบบนี้ ทำให้ทราบว่าตัวอย่างทั้งหมดที่ถูกทำการทดสอบนั้น ได้รับลำดับความชอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และถ้าพบว่าตัวอย่างทั้งหมดที่ถูกทำการทดสอบนั้น ได้รับลำดับความชอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของลำดับได้ โดยใช้ Least Significant ranked difference (LSRD)

การคำนวณทำได้โดยการคำนวณค่า Friedman F ตามสูตรดังนี้

$$\text{Friedman } F = \frac{12}{Nk(k+1)} \times (\sum R^2) - 3N(k+1)$$

โดยที่

N = Number of subjects/ panelists (จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด)

k = Number of treatments or conditions (จำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ)

$\sum R^2$ = Rank total

ทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างสังขยา 4 ชนิด โดยใช้ผู้ทดสอบ 50 คน โดยให้แต่ละคนเรียงลำดับความชอบของตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยที่ลำดับที่ 1 หมายถึงชอบมากที่สุด และลำดับที่ 4 หมายถึงชอบน้อยที่สุด จากนั้น ทำการหาผลรวมลำดับ (rank sum) ของสังขยาแต่ละตัวอย่างที่ได้รับจากผู้ทดสอบ แล้วคำนวณค่า Friedman F ตามสูตรข้างต้น (N=50, k=4) ได้ค่าดังนี้

$$\text{Friedman } F = 20.784$$

เมื่อพิจารณาค่า Friedman F เทียบกับค่า Table Chi-sq. df. = 4-1 = 3 โดยพิจารณาแบบ two-tailed และ $\alpha=0.05$ (ตารางแสดงในภาพผนวก) ซึ่งมีค่า 7.82 ซึ่งเห็นว่าค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าจากตาราง ดังนั้น เราจึงสามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ว่าตัวอย่างทั้ง 4 ได้รับความชอบที่ไม่แตกต่างกัน และสรุปว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้านความชอบของตัวอย่างทั้งหมด

ถ้าต้องการทำการทดลองต่อไปว่าตัวอย่างคู่ใดบ้างที่ได้รับการจัดลำดับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำได้โดยใช้ Least Significant ranked difference หรือ LSRD โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{LSRD} = Z_{\alpha/2} \sqrt{(N)(k)(k+1)/6}$$

ค่า $Z_{\alpha/2}$ เช่น ถ้า $\alpha = 0.05$ ($\alpha/2 = 0.025$) จะได้ $Z_{\alpha/2}$ เป็น 1.96

ค่า LSRD ที่คำนวณได้มีค่า 30.99 ซึ่งค่า LSRD นี้จะถูกใช้เป็นค่ามาตรฐาน (ไม้มเมตร) ในการตัดสินความแตกต่างระหว่างคู่ ถ้าค่าผลรวมลำดับ (rank total) ของตัวอย่างคู่ใด มีมากกว่าค่า LSRD จะสรุปว่า

ตัวอย่างคู่ นั้นได้รับการจัดลำดับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การแสดงผลจากการทดสอบทางประสาธสัมพันธ์ แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 ค่า rank sum จาก *Friedman Test* ของตัวอย่างสังขยาที่ทำจากแป้งชนิดต่าง ๆ โดยมีผู้ทดสอบจำนวน 50 คน

ตัวอย่างสังขยาที่ทำจากแป้งชนิดต่าง ๆ	Rank sum
แป้งข้าวกึ่งดิบไม่ออก #924	152 ^c
แป้งข้าวกึ่งออก #108	115 ^b
แป้งข้าวกึ่งออก pregel (130 °C, 5 rpm) #347	88 ^a
แป้งข้าวกึ่งไม่ออก pregel (140 °C, 10 rpm) #520	145 ^c

ตัวอักษรที่ต่างกันบนบรรทัดแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี *Friedman Test* ($\alpha = 0.05$) โดยที่ค่า $LSD Rank = 25.30$

จากตาราง 8 พบว่าค่า rank sum ของตัวอย่างสังขยาที่ทำจาก (1) แป้งข้าวกึ่งดิบไม่ออก (2) แป้งข้าวกึ่งออก (3) แป้งข้าวกึ่งออก pregel ที่สภาวะ 130 °C, 5 rpm และ (4) แป้งข้าวกึ่งไม่ออก pregel ที่สภาวะ 140 °C, 10 rpm มีค่า 152, 115, 88 และ 145 ตามลำดับ และเนื่องจากการเรียงลำดับในการทดสอบครั้งนี้ กำหนดว่า ลำดับที่ 1 หมายถึงชอบมากที่สุด และลำดับที่ 4 หมายถึงชอบน้อยที่สุด ดังนั้น ตัวอย่างสังขยาที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุดจะมีค่า rank sum ต่ำที่สุด นั่นคือ ตัวอย่างที่ทำจากแป้งข้าวกึ่งออก pregel ที่สภาวะ 130 °C, 5 rpm ซึ่งตัวอย่างนี้ ได้รับความชอบมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การงอกไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี แต่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวกัลปังหึ่ง ซึ่งผลของอุณหภูมิในกระบวนการ pregelatinization จะมีผลต่อค่าไขมัน เถ้า และ water solubility index ส่วนความเร็วรอบจะไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวกัลปังหึ่งงอก ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิในกระบวนการ pregelatinization จะมีผลต่อค่าสี a^* ส่วนความเร็วรอบจะไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวกัลปังหึ่งงอกการ pregelatinization จะมีผลต่อค่าไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ความหนืด water absorption index และค่าสี (L^* a^* b^*) ของแป้งข้าวกัลปังหึ่งงอก ส่วนแป้งข้าวกัลปังหึ่งงอก การ pregelatinization จะมีผลต่อค่าโปรตีน ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ความหนืด WAI และค่าสี (L^* a^* b^*)
2. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ตัวอย่างสังขยาที่ทำจากแป้งต่าง ๆ 4 ชนิด ทำการทดสอบโดยวิธี Friedman Test โดยมีผู้ทดสอบ 50 คน ทำการเรียงลำดับความชอบของตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างสังขยาที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุดจะมีค่า rank sum ต่ำที่สุด นั่นคือ ตัวอย่างที่ทำจาก แป้งข้าวกัลปังหึ่งงอก pregelatinization ที่สภาวะ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 rpm ซึ่งตัวอย่างนี้ ได้รับความชอบมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง .กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .
- จันทร์เพ็ญ ไชยน้อย และทิพย์สุดา ศาสกุล. 2545. “การดัดแปรแป้งข้าวอะมิโลสสูงโดยวิธีพรีเจลาติไนซ์ และการย่อยด้วยกรด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. 2542. วิทยาการเมล็ดพันธุ์พืช. พิษณุโลก : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ดุขฎิ์ อุตภาพ. 2540. Carbohydrate Technology . กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปาริชาติ หิรัญพงษ์ และ วรณา ตั้งเจริญชัย. ผลของการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์. กรุงเทพฯ:คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ลัดดาวัลย์ กรรณนุช. 2544. “ข้าวเอกลักษณ์ของไทย ข้าวหอมมะลิไทย”. วารสารเกษตรก้าวหน้า ,14(3),56-59.
- วันพรรษา ชูดีปัญญา. 2549. “การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โทโคเฟอรอล และแกมมา-ออโรซานอลของข้าวกล้องงอกสมุนไพร.”วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
- สุदारัตน์ เจริญยั่งยืน. 2548. “การผลิตและการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ในอาหาร.” ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อรอนงค์ นัยวิกุล จิตธนา แจ่มเมฆ สีนินาถ จริยโชติเลิศ และลลนา ยังประสิทธิ์พร. 2533. “การผลิตแป้งข้าวผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเส้น : ขนมนจีน.” ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.). ปีที่ 24 ฉบับที่ 4 : 502-509.
- อัญชลี ศรีวิไล รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย เกษม นันทชัย วรณช ศรีเจษฎารักษ์ และจันทนี อูริยะพงศ์สรรค์.ผลกระทบของกระบวนการ “Pregelatinization” ต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิหุงสุก. ขอนแก่น:ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Chuleekorn Wadchararat , Masubon Thongnam and Onanong Naivikul. 2006. Characterization of Pregelatinized and Heat Moisture Treated Rice Flours .Kasetsart J.(Nat. Sci.) 40 (Suppl) : 144-153

- Finney,P.L. 1978. Potential for the use of germinated wheat and soybeans to enhance human nutrition. *Advances in experimental medicine and biology, Nutr. Improv. Food Feed Proteins*,105(9),681-701.
- Nwabueze,T.U. (2006).Water/Oil Absorption and Solubility Indices of Extruded African Breadfruit(*Treculia Africana*)Blends. *Journal of Food Technology* 4(1),64-69
- PINTHUS E.J. , WEINBERG PNINA & SAGUY I.S. 2006. Oil Uptake in Deep Fat Frying as Affected by Porosity. *Journal of Food Science*.**Volume 60 Issue 4, Pages 767 – 769.**
- Salvador A. , Sanz T. & Fiszman S.M..2008. Performance of methyl cellulose in coating batters for fried products. *Food Hydrocolloids* 22 (2008) 1062–1067.
- Tsukahara,K. 2004. What is Germinated Brown Rice (GBR). Retrieved on January 6,2009 from : <http://www.hatsuga.com/Dumer/english/en/main.html>.
- Vallous N.A. ,Gravirielidou M.A. ,Karapantsios T.D. and Kostoglou M. 2002. Performance of a double drum dryer for producing pregelatinized maize starches. *Journal of Food Engineering*. 51(2002)171-183.

ภาคผนวก

ตาราง 1 Critical Values of Chi-Square (χ^2)

	Level of Significance for One-Tailed Test					
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	Level of Significance for Two-Tailed Test					
df	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.64	2.71	3.84	5.41	6.64	10.83
2	3.22	4.60	5.99	7.82	9.21	13.82
3	4.64	6.25	7.82	9.84	11.43	16.27
4	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28	18.46
5	7.29	9.24	11.07	13.39	15.09	20.52
6	8.56	10.64	12.59	15.03	16.81	22.46
7	9.80	12.02	14.07	16.62	18.48	24.32
8	11.03	13.36	15.51	18.17	20.09	26.12
9	12.24	14.68	16.92	19.68	21.67	27.88
10	13.44	15.99	18.31	21.16	23.21	29.59
11	14.63	17.28	19.68	22.62	24.72	31.26
12	15.81	18.55	21.03	24.05	26.22	32.91
13	16.98	19.81	22.36	25.47	27.69	34.53
14	18.15	21.06	23.68	26.87	29.14	36.12
15	19.31	22.31	25.00	28.26	30.58	37.70
16	20.46	23.54	26.30	29.63	32.00	39.29
17	21.62	24.77	27.59	31.00	33.41	40.75
18	22.76	25.99	28.87	32.35	34.8	42.31
19	23.90	27.20	30.14	33.69	36.19	43.82
20	25.04	28.41	31.41	35.02	37.57	45.32
21	26.17	29.62	32.67	36.34	38.93	46.80

ตาราง 1 (ต่อ)

df	Level of Significance for One-Tailed Test					
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	Level of Significance for Two-Tailed Test					
df	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
22	2.30	30.81	33.92	37.66	40.29	48.27
23	28.43	32.01	35.17	38.97	41.64	49.73
24	29.55	33.20	36.42	40.27	42.98	51.18
25	30.68	34.38	37.65	41.57	44.31	62.62
26	31.80	35.56	38.88	42.86	45.64	54.05
27	32.91	36.47	40.11	44.14	46.96	55.48
28	34.03	37.92	41.34	45.42	48.28	56.89
29	35.14	39.09	42.69	46.69	49.59	58.30
30	36.25	40.26	43.77	47.96	50.89	59.70
32	38.47	42.59	46.19	50.49	53.49	62.49
34	40.68	44.90	48.60	53.00	56.06	65.25
36	42.88	47.21	51.00	55.49	58.62	67.99
38	45.08	49.51	53.38	57.97	61.61	70.70
40	47.27	51.81	55.76	60.44	63.69	73.4
44	51.64	56.37	60.48	65.34	68.71	78.75
48	55.99	60.91	65.17	70.2	73.68	84.04
52	60.33	65.42	69.83	75.02	78.62	89.27
56	64.66	69.92	74.47	79.82	83.51	94.46
60	68.97	74.4	79.08	84.58	88.38	99.61