ผลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งผสมและคุณสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยว

Effect of Carboxymethylcellulose on Physico-chemical Properties of Composited Flour and Corresponding Noodle

ณัฏฐิกา ศิลาลาย[1*], ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ[1], สุภัค โตเจริญทรัพย์[1] และ ชลธิรา สารวงษ์[2]

Nattiga Silalai[1*], Tunyaporn Sirilert[1], Supak Tocharoensub[1] and Choltira Sarawong[2]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[1]Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University

[2]Department of Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

Received : 15 March 2019

Revised : 1 June 2019

Accepted : 26 June 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ด้วยการใช้สารให้ความคงตัว นั่นคือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เพื่อลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของผลิตภัณฑ์ โดยผันแปรปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทุกชุดการทดลองร้อยละ 0 (ควบคุม), 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ของน้ำหนักแป้งผสม (แป้งข้าว:แป้งมันสำปะหลัง, 65:35) จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแป้งผสมที่เติม CMC ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.7% มีค่าการคืนตัวต่ำ (Setback) กว่าแป้งผสมที่ไม่มีการเติม CMC ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันที่น้อยลงและสอดคล้องกับค่าความแข็ง (Hardness) ที่ลดลงของเจลแป้งเมื่อทิ้งให้เกิดรีโทรเกรเดชัน และเมื่อนำแป้งผสมที่ได้มาขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งที่มีการเติม CMC มีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว นุ่ม ยืดหยุ่น และไม่ขาดง่าย เมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่มีการเติม CMC แป้งผสมชุดควบคุมที่ไม่มีการเติม CMC มีค่าแรงดึง (Tensile strength) ต่ำกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งผสมที่มีการเติม CMC ร้อยละ 0.4 ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเติม CMC 0.4% จะช่วยให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ดี มีความนุ่มและยืดหยุ่นดีมากสุด

คำสำคัญ : แป้งผสม, รีโทรเกรเดชัน, เส้นก๋วยเตี๋ยว, คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, เนื้อสัมผัส

***Corresponding author. E-mail** : nattiga.silalai@gmail.com

Abstract

In this study, attempt has been made to improve textural properties of noodle from composite flour of rice and cassava flour by adding stabilizer to minimize retrogradation. Varying amount of Carboxymethylcellulose (CMC) was (0, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7%, w/w) were added into composited flour (rice flour: cassava flour, 65:35) and subsequently dried at 60 ^{o}C. The results indicated that addition of CMC (0.3, 0.4 and 0.7%) into mixed flours showed the lower setback than the control group (0% CMC) referring a lower retrogradation in mixed flours added with CMC. The noodles added with CMC provided a soft and flexible textures in accordance with tensile strength. Tensile strength was a significant lower in mixed flour without CMC adding than in mixed flour with 0.4% CMC ($p<0.05$). The result indicated that 0.4% CMC provided soft and flexible textures of the noodles.

Keywords : mixed flour, retrogradation, noodle, carboxymethylcellulose, texture

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa*) มีแหล่งกำเนิดและมีการปลูกมากในแถบทวีปเอเชีย ส่วนประกอบหลักของข้าว คือ สตาร์ช (starch) ซึ่งประกอบด้วย แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพคทิน (amylopectin) ที่มีความแตกต่างกันทางโครงสร้าง ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของข้าว เช่น การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) และรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) รวมถึงยังใช้ในการจำแนกชนิดของข้าวอีกด้วย การใช้ประโยชน์จากข้าวนอกจากจะรับประทานเป็นข้าวหุงสุกแล้ว ยังใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการแปรรูป ให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แป้งข้าว ข้าวหุงสุกพร้อมรับประทาน ข้าวนึ่ง เส้นขนมจีน เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ก๋วยจั๊บ เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวที่ผ่านการเจลาติไนเซชันและรีโทรเกรเดชัน มักพบปัญหาเรื่องเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา คือ กระบวนการเจลาติไนเซชันและรีโทรเกรเดชัน ซึ่งกระบวนการเหล่าเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ช ปริมาณแอมิโลส น้ำ เกลือ น้ำตาล ไขมัน และอุณหภูมิ เป็นต้น (Chungcharoen and Lund, 1987; Gidley and Bulpin, 1987; Bao *et al.,* 2004) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) เมื่อเม็ดสตาร์ชแตกออก ทำให้โมเลกุลของแอมิโลสอิสระหลุดออกมาจากโครงสร้างและเกิดการเรียงโมเลกุลใหม่ของแอมิโลสอิสระอีกครั้ง (reassociation) และเมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการเรียงโมเลกุลใหม่ที่แข็งแรงขึ้น เรียกว่า กระบวนรีโทรเกรเดชันนั้น (Retrogradation) เนื่องจากแอมิโลสที่จับกับไขมันจะไม่สามารถเกิดโครงสร้างตาข่าย (formation of network) ได้ แต่แอมิโลสจะหลุดจากไขมันที่จับอยู่ได้เมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส (Miles *et al.,* 1985) นอกจากนั้นแอมิโลสเพคตินที่มีสายโซ่ที่สั้นสามารถนำไปสู่การเกิดรีโทรเกรเดชันได้มาก โดยปริมาณสัดส่วนของแอมิโลสต่ออะไมโลเพคตินจะไปเพิ่มอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Yao *et al.,*

2002) อย่างไรก็ตามรีโทรเกรเดชันอันเนื่องมาจากอะไมโลเพคตินสามารถผันกลับไปมาได้ถ้าหากมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในสการเกิดเจล (gelatinization temperature) ของสตาร์ชอีกครั้ง โดยมันอาจจะไปละลายผลึกของอะไมโลเพคตินที่เกิดขึ้นระหว่างการทำให้เย็นและการเก็บรักษา (Lu *et al.,* 1997) นอกจากการเติมน้ำตาลหรือเกลือ จะไปเพิ่มอุณหภูมิของการเกิดเจล (gelatinization temperature) และลดค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ลง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิของการเกิดเจลและการเพิ่มขึ้นของค่าเอนทาลปีแม้ว่าจะเติมน้ำตาลหรือเกลือลงไป (Chungcharoen and Lund, 1987) ขณะเดียวกันการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น (Heat-moisture-treated method; HMT) เป็นการดัดแปรแป้งทางกายภาพที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 ถึง 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที ถึง 16 ชั่วโมง เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางโมกุลของสตาร์ชที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ช (granules) ที่เป็นทั้งลักษณะอสัณฐานวิทยาและโครงสร้างผลึก ซึ่งการเปลี่ยนโครงสร้างเหล่านี้จะมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น การพองตัว การเกิดผลึก และการปลดปล่อยแอมิโลส การเกิดเจลาติไนเซชัน การเกิดรีโทรเกรเดชัน และความคงตัว เป็นต้น (Hoover, 2010)

ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของสารให้ความคงตัวต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งที่เตรียมได้จากกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพการเกิดเจลาติไนเซชันและรีโทรเกรเดชันของแป้ง และเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากแป้งในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา และสามารถนำแป้งข้าวผลิตที่ได้ มาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดการเกิดรีโทรเกรเดชันในระหว่างการเก็บรักษาได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นเส้นรูปก๋วยเตี๋ยว

ศึกษาการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร โรงงานเส้นหมี่ซอเฮง จำกัด) มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 20.5 ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร โรงงานแป้งมัน ไทยทำ ชลบุรี) ที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 17.8 ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง) คือ 70 : 30, 65 : 35 และ 60 : 40 จากนั้นนำแป้งผสมมาเติมน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 (แป้งผสม : น้ำ) กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เทน้ำแป้งประมาณ 60-70 กรัม ลงบนถาดอะลูมิเนียม (ขนาดกว้าง 14.0 เซนติเมตร ยาว 19.3 เซนติเมตร สูง 2.30 เซนติเมตร) และเกลี่ยให้ทั่วถาด นำไปนึ่งนานประมาณ 5 นาที จากนั้นนำมาตัดเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว แล้วทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมโดยดูจากลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ คือ มีความคงตัวดีและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด

2. ศึกษาอิทธิพลของสารให้ความคงตัวต่อแป้งผสมที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

การเตรียมตัวอย่างแป้งผสมที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อน ทำการชั่งแป้งในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 คือ อัตราส่วน 65 : 35 (แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน) ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 (แป้งผสม : น้ำ) จากนั้นเติมสารให้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด) ในสัดส่วนที่ต่างกัน คือ ร้อยละ 0 (ควบคุม), 0.3,

0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ของน้ำหนักส่วนผสม (suspension weight) ทั้งหมด ตามลำดับ นำแต่ละสูตรมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เกลี่ยลงบนถาด นำไปเข้าตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อบจนแห้งแล้วทำการบดตัวอย่างที่ได้ให้เป็นผงละเอียด แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80-100 mesh เก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อใช้ในการศึกษาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวต่อไป

3. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งผสม

นำตัวอย่างแป้งผสมที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity; a_w) ด้วยเครื่อง AquaLab Series 3 (Decagon Devices, Inc.) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณแอมิโลสโดยวิธี Colorimetric Method (ดัดแปลงตามวิธีของ Juliano, 1971) รวมทั้งรูปแบบพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) และเนื้อสัมผัส (ความแข็งและแรงดึง) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ตามวิธีของ Nussinovitch *et al.,* 1990) ดังนี้

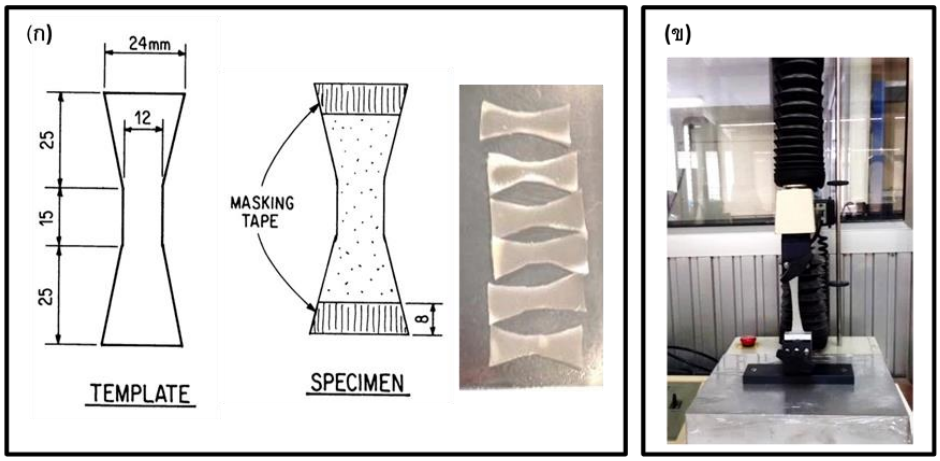
3.1 ศึกษารูปแบบพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสม

รูปแบบพฤติกรรมความหนืดของแป้งมีการเติม CMC ปริมาณร้อยละ 0, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ของน้ำหนักส่วนผสม (suspension weight) ถูกศึกษาด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA; RVA-4 SA, Newport Scientific PYT Ltd., NSW, ประเทศออสเตรเลีย) ตามวิธีของ Thaunkhong *et al.* (2014) โดยแป้งที่ใช้แต่ละชนิดต้องทราบความชื้น เพื่อนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง เติมน้ำกลั่นประมาณ 25 กรัม ลงไปในถ้วยอลูมิเนียม (Aluminum can) จากนั้นชั่งแป้งที่เตรียมไว้ (3 กรัม) เทลงในถ้วยอลูมิเนียมที่มีน้ำกลั่น ใช้ใบพัดกวนผสมให้เข้ากัน ตั้งเครื่อง RVA โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30°C เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 13°C/นาที จนถึงอุณหภูมิสูงสุด 95°C จากนั้นกวนต่ออีก 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 25°C ด้วยอัตรา 7°C/นาทีและกวนต่อที่ 25°C นาน 5 นาที กำหนด Profile ดังตาราง

Time	Type (Temp / Speed)	Value (°C) or RPM
00:00:00	Temp	30
00:00:00	Speed	960
00:00:10	Speed	160
00:05:00	Temp	95
00:15:00	Temp	95
00:25:00	Temp	25
00:30:00	Temp	25

3.2. ศึกษาเนื้อสัมผัสทางด้านความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

เนื้อสัมผัสทางด้านความยืดหยุ่นของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากแป้งผสมที่มีการเติม CMC ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 โดยน้ำหนัก ถูกวิเคราะห์แรงดึง (Tensile strength) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2, Stable Micro System, England) ตามวิธีของ Nussinovitch *et al*., (1990) โดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากแป้งผสมดังกล่าวมาตัดเส้นเป็นรูป Bone-shaped ซึ่งมีขนาดดังภาพที่ 1 (ก) (Nussinovitch *et al*., 1990) แล้วนำไปวัดค่าแรงดึง (Tensile strength) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัวดึง (Tensile grips) ดังภาพที่ 1 (ข) และวิเคราะห์ความแข็ง (Hardness) ของแป้งผสมหลังการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยใช้หัวกดอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm (P35) ด้วยอัตราเร็ว 1.7 mm/s



ภาพที่ 1 ขนาดและรูปร่าง Bone-shaped (ก) ของเส้นก๋วยเตี๋ยว และการวัดแรงดึงเพื่อทดสอบความยืดหยุ่นของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง Texture analyzer (ข)

4. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย DRMT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics 22

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมี ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลสและความชื้นของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 37.12 และมีปริมาณ

ความชื้นร้อยละ 14.43 ในขณะที่แป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 26.89 และมีปริมาณความชื้นร้อยละ 14.91 แต่เมื่อนำแป้งทั้ง 2 ชนิดมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส และความชื้นของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	ปริมาณแอมิโลส (%)	ปริมาณความชื้น^{ns} (%)
แป้งข้าวเจ้า (ตราสามเศียร)	37.12±0.13^{a}	14.43±0.62
แป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร)	26.89±0.18^{b}	14.91±0.57

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ $p\geq0.05$)

จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่อง RVA พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ในช่วงของการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) ของแป้งมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า แต่ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) หลังการทำให้เย็นมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า โดยค่าการคืนตัว (Total setback) ของแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 895.01 cP ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีค่าการคืนตัวเท่ากับ 2147.33 cP ซึ่งสูงกว่าของแป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร	แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร
Pasting Temperature (°C)	88.65±1.39	70.68±0.03
Peak viscosity (cP)	2725.67±48.17	4603.33±15.89
Final viscosity (cP)	3950.67±38.70	2722.00±98.14
Total Setback (cP)	2147.33±98.08	895.01±28.51

2. ศึกษาปริมาณสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว

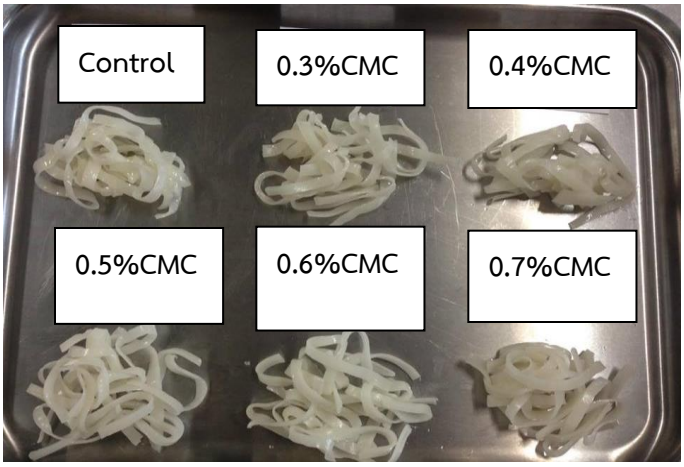
ศึกษาปริมาณสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยใช้อัตราส่วนของแป้งในปริมาณต่างๆ (แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง) คือ 70 : 30, 65 : 35 และ 60 : 40 ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 (แป้งผสม : น้ำ) พบว่า ปริมาณสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วน 65 : 35 เนื่องจากเมื่อทำการขึ้นเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นแผ่น แล้วนำเส้นก๋วยเตี๋ยวมาตัดเป็นเส้นๆ จะให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีลักษณะเส้นที่เหนียว

ยืดหยุ่นและไม่ขาดง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีอัตราส่วน 70 : 30 และ 60 : 40 เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณแอมิโลสและค่าความหนืดในช่วงของการคืนตัว (Total setback) ค่อนข้างต่ำ จึงช่วยให้เส้นที่ก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีความเหนียวนุ่มและยืดหยุ่น โดยปริมาณแอมิโลสและความชื้นของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 65 : 35 มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 32.54±0.26 และ 13.60±0.05 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 2)

ภาพที่ 2 เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ปริมาณแป้งผสม (แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน) ในอัตราส่วนที่ต่างกัน

3. ศึกษาปริมาณคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (CMC) ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งผสม

อิทธิพลของสารให้ความคงตัวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งผสมถูกศึกษาโดยสูตรที่คัดเลือกได้จากการทดลอง คือ แป้งข้าวเจ้าผสมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 65 : 35 และเติมน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 (แป้งผสม : น้ำ) นำมาเติม CMC (สารให้ความคงตัว) ในปริมาณสัดส่วนดังนี้ ร้อยละ 0 (Control), 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ของน้ำหนักส่วนผสม ตามลำดับ นำไปนึ่งเพื่อขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว ผลการทดลองที่ได้คือ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติม CMC ในปริมาณต่างๆ จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่แตกต่างกัน จากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยรวม พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติม CMC ร้อยละ 0.4 และ 0.7 จะให้เนื้อสัมผัสด้านความเหนียว นุ่ม ยืดหยุ่นดี และไม่ขาดง่าย (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ตามลำดับ

ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งผสมที่มีการเติม CMC ในปริมาณต่างๆ และผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแสดงไว้ในตารางที่ 3 ปริมาณความชื้นและค่าแอคทิวิตี้ของน้ำ (Water activity; a_w) ของตัวอย่างแป้งผสมที่ได้จากกระบวนการทำแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อน พบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งผสมที่มีการเติม CMC อยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 40 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแป้งผสมสูตรควบคุม (ไม่เติม CMC) มีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 14 และค่าแอคทิวิตี้ (a_w) เท่ากับ 0.394 a_w ในขณะที่ค่าแอคทิวิตี้ (a_w) ของแป้งผสมที่มีการเติม CMC อยู่ในช่วง 0.231-0.302 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของสารละลายแป้งผสมที่ได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด (RVA) แสดงในตารางที่ 3 โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature) ของสารละลายแป้งผสม มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 74.47 ถึง 77.60°C จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าความหนืดสุดท้ายของแป้งผสมสูตรควบคุม (3411 cP) มีค่าต่ำกว่าแป้งผสมที่การเติม CMC (ประมาณ 3875 – 4629 cP) เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของการเติมสารให้ความคงตัวต่อค่าการคืนตัว (setback from peak) ของแป้งผสมที่ได้จากกรรมวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า แป้งผสมที่เติม 0.7% CMC มีค่าการคืนตัวน้อยที่สุด คือ 310.67 cP รองลงมาคือ แป้งผสมที่มีการเติม 0.4% CMC (513.33 cP) ซึ่งค่าการคืนตัว Total setback คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้าย (final viscosity) กับความหนืดที่จุด holding strength (trough viscosity) ที่ชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันของผลิตภัณฑ์ แสดงว่าแป้งผสมที่เติม 0.4 และ 0.7% CMC เกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยกว่าแป้ง สูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมสารให้ความคงตัว ซึ่งค่าดังกล่าวสอดคล้องกับผลของค่าความแข็ง (Hardness) และแรงดึง (Tensile strength) ของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้จากเครื่อง Texture Analyzer (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งผสมที่เติม CMC ในปริมาณต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	Water activity (a_w)	Final viscosity (cP)	Total setback (cP)
0%CMC (Control)	14.41±0.34[a]	0.394±0.01[a]	3411.00±128.69[a]	680.00±35.36[a]
0.3% CMC	25.59±0.55[b]	0.231±0.01[b]	4391.00±10.82[b]	581.33±39.27[a,b]
0.4% CMC	28.39±0.09[c]	0.302±0.00[c]	3875.67±41.88[c]	513.33±14.19[b]
0.5% CMC	39.77±0.86[d]	0.256±0.01[d]	4114.33±42.77[d]	565.00±39.36[b]
0.6% CMC	23.96±0.02[e]	0.291±0.00[e]	4533.00±12.77[e]	748.67±68.04[a,c]
0.7% CMC	23.21±0.84[f]	0.251±0.00[f]	4629.00±66.19[f]	310.67±51.19[d]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่า ความแข็ง (Hardness) ของแป้งผสมที่เติม 0.7% CMC ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าต่ำสุดคือ ร้อยละ 2.45 รองลงมาคือ แป้งผสมที่เติม 0.3 และ 0.4% CMC ซึ่งค่าความแข็งเท่ากับ 2.53 และ 2.54 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้นี้สอดคล้องกับปริมาณแอมิโลสที่พบในแป้งผสมที่เกิดรีโทรเกรเดชัน (ตารางที่ 4) โดยปริมาณแอมิโลสของแป้งผสมที่เติมสารให้ความคงตัวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.33 ถึง 6.44 เมื่อพิจารณาปริมาณแอมิโลสของแป้งผสมที่เติม 0.3, 0.4 และ 0.7% CMC พบว่า มีปริมาณแอมิโลสค่อนข้างต่ำกว่าสูตรควบคุม (Control) คือประมาณร้อยละ 4.33, 4.90 และ 4.56 ตามลำดับ และมีค่าความแข็งเท่ากับ 2.53, 2.54 และ 2.45 N ตามลำดับ ในขณะที่แป้งผสมที่เติม 0.5 และ 0.6% CMC มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 5.04 และ 6.44% และมีค่าความแข็งเท่ากับ 2.70 และ 2.76 N ซึ่งใกล้เคียงกับแป้งผสมสูตรควบคุมที่มีปริมาณอะมิโลส 5.95% และค่าความแข็งเท่ากับ 2.75 N

ตารางที่ 4 ปริมาณแอมิโลสและค่าความแข็งของแป้งผสมที่ผ่านกระบวนการทำแห้งต่างกัน

ตัวอย่าง	ปริมาณแอมิโลส (%)	ความแข็ง (N)
0% CMC (Control)	5.95±0.18[d,e]	2.75±0.17[a,b]
0.3% CMC	4.90±0.17[a]	2.53±0.13[a,b]
0.4% CMC	4.33±0.21[a,b]	2.54±0.07[a,b]
0.5% CMC	5.04±0.23[a,b,c]	2.70±0.13[a,b]
0.6% CMC	6.44±0.30[e]	2.76±0.14[a,b]
0.7% CMC	4.56±0.18[a]	2.45±0.21[a,b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. ความยืดหยุ่นของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากแป้งผสมที่มีการเติม CMC ในปริมาณที่แตกต่างกัน

เนื้อสัมผัสทางด้านความแข็งแรงของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากผงแป้งที่มีการเติม CMC ในปริมาณแตกต่างกัน โดยการวัดค่าแรงดึง (Tensile strength) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง Texture Analyzer ซึ่งผลการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ของแป้งผสมที่ได้จากข้างต้น (ตารางที่ 4) นำมาใช้ในการคัดเลือกสูตรเพื่อผลิตผงแป้งผสมที่มีการเติม CMC และนำไปใช้ในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวต่อไป เนื่องจากค่าความแข็ง (Hardness) ที่วัดได้นั้นเป็นค่าความแข็งของแป้งผสมหลังการเกิดรีโทรเกรเดชันก่อนนำไปใช้ในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยพบว่าค่าความแข็งของแป้งผสมสูตรที่มีการเติม CMC ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.7 นั้นต่ำกว่าสูตรควบคุม นั่นแสดงว่ามีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยกว่าสูตรควบคุม จึงเหมาะแก่การคัดเลือกไปใช้ในการผลิตขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังนั้นแป้งผสมของสูตรที่นำมาผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ได้แก่ แป้งผสมที่เติม 0.3, 0.4 และ 0.7% CMC จากผลการทดลองพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งผสมที่ไม่มีการเติม CMC (Control) มีค่าแรงดึง เท่ากับ 0.68 N ซึ่งมีค่าแรงดึงอยู่ในช่วงเดียวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งผสมที่มีการเติม CMC คือ 0.58 - 0.86 N แต่อย่างไรก็ตามเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งผสมที่เติม 0.4% CMC จะให้ค่าแรงดึงมากที่สุดและมีค่ามากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยค่าแรงดึงนี้เป็นค่าที่แสดงความแข็งแรงของเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นขาดหักได้ยาก เหมาะแก่การนำไปใช้ในการบริโภคและแปรรูปต่อไปได้

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ค่าแรงดึง (Tensile strength) ของแป้งผสมที่ผ่านกระบวนการทำแห้งต่างกัน

ตัวอย่าง	แรงดึง (N)
0% CMC (Control)	$0.68\pm0.17^{a,b}$
0.3% CMC	0.58 ± 0.05^{a}
0.4% CMC	0.86 ± 0.11^{c}
0.7% CMC	$0.75\pm0.11^{b,c}$

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลขององค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว

จากการเปรียบเทียบแป้งทั้ง 2 ชนิด แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง โดยทั่วไปแป้งข้าวมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 5-33 (Kong *et al.,* 2015) โดยแป้งข้าวเจ้าที่วิเคราะห์ได้ในการวิจัยครั้งนี้นั้นมาจำแนกตามประเภทของแป้งตามปริมาณแอมิโลส จัดอยู่ในกลุ่มของแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณแอมิโลสประมาณร้อยละ 26 ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 25-27 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dehsukcharoen (1986) และการที่มี

แป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนประกอบมาก จะส่งผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าแป้งมันสำปะหลังมีการคืนตัว(Setback) ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณแอมิโลสที่มีอยู่มากในแป้งข้าวเจ้า ซึ่งแอมิโลสในแป้งข้าวจะเกิดการพองตัวขึ้นขณะเกิดเจลาติไนเซชัน และเมื่อเม็ดแป้งแตกก็ส่งผลให้แอมิโลสหลุดออกมาสร้างร่างแหใหม่ในระหว่างที่ทำให้เย็น ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งข้าวแข็งแรงขึ้น (Adebowale *et al,* 2005) ซึ่งก็จะสอดคล้องกับค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ที่สูงนั่นเอง นอกจากนั้น ค่าการคืนตัวยังเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งบอกถึงความคงตัวของเจล และความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogadration) ของแป้งอีกด้วย โดยแป้งที่มีค่าการคืนตัวสูงจะสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Yang & Tao, 2008) ดังนั้นชี้ให้เห็นว่า แป้งข้าวเจ้าจึงสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่ายกว่าแป้งมันสำปะหลัง

นอกจากนั้นการผสมแป้งต่างชนิดยังส่งผลต่อการขึ้นรูปของเส้นก๋วยเตี๋ยวอีกด้วย คือเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้ามากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีลักษณะขาดและร่วน เนื่องจากเม็ดแป้งข้าวเจ้า มีโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงมาก เมื่อนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนจึงเกิดการพองตัวของแป้งได้ต่ำ (Rujirapisit, 2006) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีแป้งมันสำปะหลังมากเกิน ก็จะส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีลักษณะนิ่มและขาดได้ง่าย เนื่องจากเม็ดแป้งมันสำปะหลัง มีความคงตัวต่ำมากและนำมาผสมกับแป้งข้าวเจ้าที่มีความคงตัวสูง จึงทำให้ความคงตัวของ แป้งเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีความคงตัวลดลง เกิดการพองตัวของแป้งเพิ่มขึ้น (Adebowale *et al.,* 2005)

2. อิทธิพลของสารให้ความคงตัวต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งผสม

การที่เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.4 และ 0.7 จะให้เนื้อสัมผัสด้านความเหนียว นุ่ม ยืดหยุ่นดี และไม่ขาดง่ายหลังการลวก เนื่องจาก CMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความสามารถหรือสมบัติการดูดซับน้ำ (water holding capacity; WHC) ดังนั้นการเติม CMC ลงไปในแป้งผสม มันจะไปเพิ่มการจับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง จึงทำให้ผลิตได้จึงมีความยืดหยุ่นได้มากขึ้น (Rattanapanon, 2004; Su *et al.,* 2010; Jarnsuwan & Thongngam, 2011) และความสามารถในการการดูดซับน้ำนี้ จึงส่งผลให้ค่า water activity (a_w) ของแป้งผสมที่มีการเติม CMC เพื่อนำไปใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม

การที่ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งผสมสูตรควบคุมมีค่าต่ำกว่าแป้งผสมที่การเติม CMC ชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันของผลิตภัณฑ์ แสดงว่าแป้งผสมที่มีการเติม CMC ลงไปจะช่วยลดการเกิดรีโทเกรเดชันของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวได้ โดย CMC จะเข้าไปขัดขวางโมเลกุลของแอมิโลสในการจับกับโมเลกุลของน้ำและอุ้มไว้ในโครงสร้าง ซึ่งจะช่วยลดการสร้างร่างแหใหม่ของแอมิโลสในระหว่างกระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชันนั่นเอง (Muira *et al.,* 1992; Philpot *et al.,* 2006; Rujirapisit, 2006)

นอกจากนั้นการที่ค่าแรงดึง (Tensile strength) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากแป้งที่มีการเติม CMC จะช่วยปรับปรุงด้านเนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ธัญพืชได้ เนื่องมาจากสารให้ความคงตัวมีสมบัติในเรื่องเนื้อสัมผัสและการอุ้มน้ำที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง (Gimeno *et al.,* 2004; Su *et al.,* 2010) จึงทำให้แป้งผสมที่มีการเติม CMC ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แล้วนำไปเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติม CMC

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า ปริมาณสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วน 65 : 35 ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว ยืดหยุ่นและไม่ขาดง่าย เมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 70 : 30 จะให้เส้นที่มีลักษณะร่วน และ 60 : 40 จะให้เส้นที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มจนเส้นก๋วยเตี๋ยวขาดได้ง่าย และปริมาณ CMC ร้อยละ 0.4 นั้นเหมาะสมที่สุดในการนำมาผสมในแป้งเพื่อใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากช่วยลดการเกิดรีโรเกรเดชันและยังช่วยให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีความแข็งแรงเหนียวนุ่มและไม่ขาดง่าย

เอกสารอ้างอิง

Adebowale, K.O., Afolabi, T.A., & Olu-Owolabi, B.I. (2005). Hydrothermal treatments of Finger millet (Eleusine coracana) starch. *Food Hydrocolloid*, *19*, 974–983.

AOAC. (2000). Official Method of Analysis of AOAC International. (17th ed). Washington D.C., USA: The Association of Official Analytical Chemists.

Bao, J., Sun, M., Zhu, L., & Corke, H. (2004). Analysis of quantitative trait loci for some starch properties of rice (*Oryza sativa* L.): Thermal properties, gel texture and swelling volume. *Journal of Cereal Science*, *39*(3), 379-385.

Chungcharoen, A., & Lund, D.B. (1987). Influence of solutes and water on rice starch gelatinization. *Cereal chemistry*, *64*(4), 240-243.

Dehsukcharoen, O. (1986). *Some Properties of Various Starch for Applications*. Master's Thesis. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Gidley, M.J., & Bulpin, P.V. (1987). Crystallisation of malto-oligosaccharides as models of the crystalline forms of starch: Minimum chain-length requirement for the formation of double-helices. *Carbohydrate Research*, *161*, 291-300.

Gimeno, E., Moraru, C.I., & Kokini, J.L. (2004). Effect of Xanthan Gum and CMC on the Structure and Texture of Corn Flour Pellets Expanded by Microwave Heating. *Cereal Chemistry*, *81*(1), 100-107.

Jarnsuwan, S., & Thongngam, M. (2011). Effects of Hydrocolloids on Microstructure and Textural Characteristic of Instant Noodles. In *Proceeding in the Asean Food Conference*, (pp. 632-635). Bangkok: Bitec.

Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, *16*, 334-340.

Kong, X., Zhu, P., Sui, Z., & Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinization temperature combinations. *Food Chemistry*, *172,* 433-440.

Lu, S., Chen, L.N., & Lii, C.Y. (1997). Correlations between the fine structure, physicochemical properties, and retrogradation of amylopectins from Taiwan rice varieties. *Cereal Chemistry*, *74*(1), 34-39.

Miles, M.J., Morris, V.J., Orford, P.D., & Ring, S.G. (1985). Recent observations on starch retrogradation. In *New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates.* (pp. 109-114). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Muira, M., Nishimura, A., & Katsuta, K. (1992). Influence of addition of polyols and food emulsifiers on the retrogradation rate of starch. *Journal of Food Structure*, *11*, 225-236.

Nussinovitch, A., Roy, I., & Peleg, M., (1990). Testing Bread Slices in Tension Mode. *Cereal Chemistry*, *67*(1), 101-103.

Philpot, K., Martin, M., Burardo, V., Willoughby, D., & Fitzgerald, M. (2006). Environmental factors that affect the ability of amylose to contribute to retrogradation in gels made from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*, 5182-5190.

Rattanapanon, N. (2004). *Food Chemistry*. Bangkok: Odean Store Publisher. (in Thai)

Rujirapisit, P. (2006). *Food Composition and Physicochemical Properties of Flour and Starch from Ground Chesnut* (*Eleocharisdulcis Trin.*). University Report. Faculty of Science, University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok. (in Thai)

Su, J., Huang, Z., Yuan, X., Wang, X., & Li, M. (2010). Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. *Carbohydrate Polymers*, *79*(1), 145–153.

Thaunkhong, K., Uttapap, D., Puncha-arnon, S., Rungsardthong, V., & Puttanlek, C. (2014). Study on paste behavior of native and modified canna starches for use as a thickening agent. *KMUTT Research and Development Journal*, *37*(1), 61-76. (in Thai)

Yang, Y., & W.-Y. Tao. (2008). Effect of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour. *Food Research International*, *41*, 937-940.

Yao, Y., Zhang, J.M., & Ding, X.L. (2002). Structure-retrogradation relationship of rice starch in purified starches and cooked rice grains: A statistical investigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(25), 7420-7425.