Thai Science and Technology Journal Vol. 34 No. 1 January-February 2026 ISSN 3027-6365 (Online)

Thai Science and Technology Journal
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Journal Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj

สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชและแป้งชนิดต่างๆ และผลของแป้งควินัวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลผสม

Physicochemical Properties of Various Starches and Flours and the Effect of Quinoa Flour on Composite Gel Texture

วรดา พฤกษวานิช, กมลวรรณ แจ้งชัด*, เทพกัญญา หาญศีลวัต

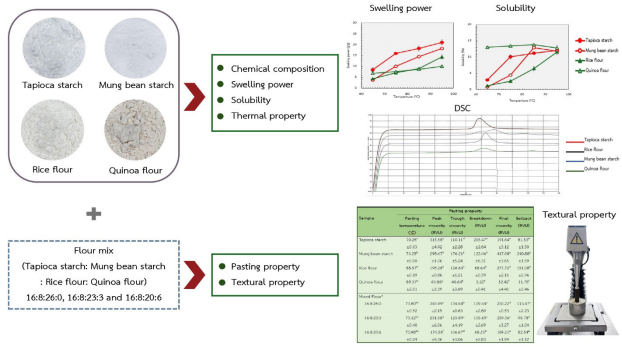
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 109000

Vorada Prueksavanich, Kamolwan Jangchud*, Thepkunya Harnsilawat

Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok 10900

Received 29 May 2025; Received in revised 15 August 2025; Accepted 1 September 2025

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

This research aimed to investigate the chemical composition and physicochemical properties of tapioca starch, mung bean starch, rice flour, and quinoa flour, as well as the textural characteristics of quinoa composite flour gels prepared from these four ingredients. The flour mixtures studied had weight ratios of 16:8:26:0, 16:8:23:3 and 16:8:20:6, respectively. The results showed that quinoa flour had the highest protein and fat contents at 21.86% and 9.17%, respectively. Mung bean starch exhibited the highest amylose content at 33.76%, whereas quinoa flour had the lowest amylose content at 13.75%. Increasing temperature resulted in higher swelling power and solubility for all starches and flours. Tapioca starch and mung bean starch showed greater swelling power than rice flour and quinoa flour in the temperature range of 75–95°C, while quinoa flour exhibited the highest solubility. Rice flour had the highest gelatinization temperature (T_p), whereas quinoa flour required the lowest gelatinization enthalpy (ΔH). Regarding pasting properties, quinoa flour had the lowest breakdown and setback value, at 3.22 RVU and 11.78 RVU, respectively. Among the individual starch and flour gels, tapioca starch gel had the lowest hardness. The analysis of the physical properties of gel prepared from composite flour revealed that replacing rice flour with quinoa flour tended to decrease gel hardness.

คำสำคัญ

ความแข็ง; แป้งควินัว; แป้งผสม; เจลแป้ง; สมบัติทางเคมีกายภาพ

Keywords

Hardness;
Quinoa flour;
Composite flour gels;
Physicochemical property

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว และลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้งผสมทั้ง 4 ชนิด โดยแป้งผสมดังกล่าวที่ศึกษามีอัตราส่วนเท่ากับ 16:8:26:0, 16:8:23:3 และ 16:8:20:6 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการศึกษา พบว่า แป้งควินัวมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงสุด ร้อยละ 21.86 และ 9.17 ตามลำดับ สตาร์ชถั่วเขียวมีปริมาณแอมิโลสสูงสุด ร้อยละ 33.76 และแป้งควินัวมีปริมาณแอมิโลสต่ำสุด ร้อยละ 13.75 การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้สตาร์ชและแป้งมีค่ากำลังการพองตัวและการละลายเพิ่มขึ้น โดยสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียวมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัวในช่วงอุณหภูมิ 75-95 °C ขณะที่แป้งควินัวมีค่าการละลายสูงสุด แป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ (T_p) สูงสุด ขณะที่แป้งควินัวมีพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์ (ΔH) ต่ำสุด สำหรับสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่า แป้งควินัวมีค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด และค่าการคืนตัวกลับต่ำสุด เท่ากับ 3.22 RVU และ 11.78 RVU ตามลำดับ และเจลสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่าความแข็งต่ำสุด จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเจลแป้งผสม พบว่า การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งควินัวทำให้ค่าความแข็งของเจลแป้งผสมมีแนวโน้มลดลง

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** kamolwan.j@ku.ac.th

DOI: 10.14456/tstj.2026.4

1. บทนำ

แป้งเป็นส่วนประกอบหลักในอาหารหลายชนิด และมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของอาหาร โดยแป้งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารสร้างเจล สารเสริมความคงตัว และสารทำให้เกิดเนื้อสัมผัส [1] การเลือกใช้แป้งให้เหมาะสมกับอาหารนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติสำคัญหลายประการของแป้ง เช่น การเกิดเจลาติไนเซชัน การเปลี่ยนแปลงความหนืด กำลังการพองตัวและการละลาย [2] เม็ดสตาร์ชมีขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งพฤกษศาสตร์ของแป้ง ได้แก่ ธัญพืช หัวใต้ดิน ราก และพืชตระกูลถั่ว ซึ่งแป้งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์หลัก 2 ชนิด คือ แอมิโลส และแอมิโลเพคติน โดยแอมิโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้น ส่วนแอมิโลเพกตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่ง ทำให้มีความแตกต่างกันทั้งในโครงสร้าง สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ โดยแอมิโลสมีแนวโน้มที่จะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่าย ส่งผลให้ได้โครงสร้างเจลที่แข็งแรงกว่าเจลที่ได้จากแอมิโลเพกติน [3] เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนสุก โครงสร้างของเจลแป้งที่ได้จะแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ การใช้แป้งผสมจะส่งผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชัน และการเปลี่ยนแปลงความหนืด [4] โดยการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งบอกถึงการที่โครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ เช่น การพองตัวของเม็ดสตาร์ช [2] ซึ่งแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงโครงสร้างร่างแหภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมาก ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้น้อย [5] หากแป้งแต่ละชนิดมีสัดส่วนของปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน กำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจะเปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของปริมาณแป้งผสม กระบวนการเจลาติไนเซชันสามารถศึกษาได้โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริเมทรี เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคหรือสถานะขององค์ประกอบต่างๆ ในอาหาร เช่น การสุก และการคืนตัวของแป้ง [6] และเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยพารามิเตอร์ของสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขึ้นอยู่กับการพองตัว และการละลายของเม็ดสตาร์ช ดังนั้นการใช้แป้งผสมแทนการใช้แป้งชนิดเดียว โดยมีปริมาณแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน จะช่วยให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

จากการศึกษาสมบัติเนื้อสัมผัสของเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า และสตาร์ชมันสำปะหลังของ Seetapan et al. [7] พบว่า การใช้แป้งข้าวเจ้าผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 1:1 ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของเจลแป้งมีค่าความแข็ง ความสามารถเกาะตัวรวมกัน ความหยืดหยุ่น การทนต่อการเคี้ยวสูงขึ้น แป้งต่างชนิดเมื่อนำมาผสมกันจะทำให้สมบัติของเจลแป้งเปลี่ยนไปและส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Wu et al. [8] ได้ศึกษาผลของสตาร์ชถั่วเขียวต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยการใช้สตาร์ชถั่วเขียวทดแทนแป้งข้าวเจ้าปริมาณร้อยละ 0, 2, 5 และ 8 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชถั่วเขียว ส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น จึงทำให้แป้งผสมมีการเกิดรีโทรเกรเดชัน และสมบัติด้านเนื้อสัมผัสดีขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนยังมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาของ Sahagún et al. [9] พบว่า การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยโปรตีนเวย์หรือทดแทนด้วยโปรตีนจากไข่ขาวส่งผลทำให้เลเยอร์เค้กมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

ควินัวเป็นธัญพืชเทียม และมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกับธัญพืช มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ควินัวสีขาวมีปริมาณโปรตีนมากถึง ร้อยละ 15-17 ซึ่งสูงกว่าธัญพืชอื่นๆ ถึงสองเท่า มีกรดแอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด เช่น ไลซีน ทรีโอนีน และเมไทโอนีน [10] ด้วยสมบัติเหล่านี้ควินัวจึงเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ รวมถึงการเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร จากการศึกษาของ Araujo-Farro et al. [11] พบว่า สามารถใช้แป้งควินัวทดแทนแป้งข้าวเจ้าในบิสกิตได้ร้อยละ 50 โดยผลิตภัณฑ์

Science34-N1.indd 43 11/3/2569 BE 10:16

ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น ได้แก่ ปริมาณโปรตีนใยอาหาร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และให้เนื้อสัมผัสของบิสกิตที่มีความนุ่มมากกว่าใช้แป้งข้าวเจ้าชนิดเดียว และการศึกษาของ Feng et al. [12] โดยทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งควินัวร้อยละ 10-50 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งควินัว ส่งผลให้ความสามารถในการละลายและกำลังการพองตัวมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำมาผลิตเป็นขนมปังนึ่ง พบว่า ขนมปังมีค่าความแข็งและความสามารถในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น และค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งควินัว โดยขนมปังนึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวร้อยละ 20 ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งชนิดต่างๆ และแป้งผสมจะช่วยทำให้เลือกชนิดแป้งและปริมาณที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้นโดยเฉพาะทางด้านเนื้อสัมผัส ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า แป้งควินัว และแป้งผสมทั้ง 4 ชนิด โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะอาหารหวานที่มีเนื้อสัมผัสเป็นเจลจากแป้งผสม และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภครวมถึงผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

แป้งข้าวเจ้า จากบริษัท โรงเส้นหมี่ซอเฮง จำกัด แป้งมันสำปะหลัง จากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งไทย จำกัด แป้งถั่วเขียว จากบริษัท สิทธินันท์ จำกัด และเมล็ดควินัว จากมูลนิธิโครงการหลวง

การเตรียมแป้งควินัว โดยนำเมล็ดควินัวมาแช่ในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงล้างด้วยน้ำหลายครั้งจนกระทั่งน้ำที่ล้างใส เพื่อช่วยกำจัดสารซาโปนินส่วนที่เคลือบอยู่โดยรอบเมล็ดควินัว จากนั้นสะเด็ดน้ำออก พักทิ้งไว้ในตะแกรงเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น B.W.S บริษัท ดับเบิ้ลเอส เทรดดิ้ง จำกัด, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จนเมล็ดควินัวมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 ก่อนนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (รุ่น WF-10B บริษัท สยามเวลท์ฟู้ด จำกัด, ประเทศไทย) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช บรรจุแป้งควินัวที่ได้ในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนปิดสนิทและเก็บที่อุณหภูมิ 2-4 °C สำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

ในการทดลองเจลแป้งผสมใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยมีจำนวน 2 ซ้ำ การเตรียมแป้งผสมทำโดยนำสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว นำมาผสม 3 อัตราส่วน คือ 16:8:26:0, 16:8:23:3 และ 16:8:20:6 โดยน้ำหนักตามลำดับ

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

นำสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้าโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC [13] และวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส โดยวิธี Amperometric titration with potassium iodate solution โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Takeda and Hizukuri [14] และ Gibson et al. [15]

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง

2.3.1 กำลังการพองตัวและการละลาย

ชั่งตัวอย่างแป้งแต่ละชนิด 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ที่ทราบน้ำหนัก เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 °C พร้อมกับเขย่าตลอดในระดับคงที่ด้วยเครื่อง Shaking water bath เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนทริฟิว (รุ่น โรตินา380R บริษัท เฮตทิช กรุ๊ป, ประเทศเยอรมนี) ที่ความเร็วรอบ 4,000

Science34-N1.indd 44 11/3/2569 BE 10:16

รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เทส่วนใสด้านบนลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักคงที่ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักแป้งส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนหลอดทดลองที่มีตะกอนด้านล่างนำไปชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Li and Corke [16] การคำนวณกำลังการพองตัว (Swelling power) และการละลาย (Water solubility index) ตามสมการ

$$\text{กำลังการพองตัว (กรัมต่อกรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น x (100 - ร้อยละการละลาย)}}$$

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่ละลายน้ำ x 100}}{\text{น้ำหนักแป้งเริ่มต้น}}$$

2.3.2 เจลาทิไนเซชัน

วิเคราะห์การเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งแต่ละชนิด ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) (รุ่น DSC-7 บริษัท เพอร์กินเอลเมอร์ จำกัด, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ตามวิธีการของ Kim et al. [17] โดยชั่งตัวอย่างแป้งที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว 3.0-3.5 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ละลายในน้ำกลั่น ในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำโดยน้ำหนักเท่ากับ 30:70 บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใส่ในภาชนะบรรจุ (Pan) ของเครื่อง DSC เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ (Onset temperature (°C), T_o) อุณหภูมิที่กระบวนการเจลาติไนซ์เกิดขึ้นสูงสุด (Peak temperature (°C), T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนซ์ (Conclusion temperature (°C), T_c) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์ (Enthalpy (J/k), ΔH)

2.3.3 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

วิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งแต่ละชนิด และแป้งผสม ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (รุ่น RVA-4 บริษัท เพอร์กินเอลเมอร์ จำกัด, ประเทศออสเตรเลีย) ตามวิธีการของ Li and Corke [16] เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (Pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด หรือค่าการแตกตัว (Breakdown viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) และค่าการคืนตัวกลับ (Setback)

2.4 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลแป้ง

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลแป้งแต่ละชนิด และแป้งผสม โดยเตรียมตัวอย่างน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 20 (w/w) กวนน้ำแป้งด้วยเครื่องกวนใบพัดที่ความเร็ว 500 รอบ/นาที ในอ่างน้ำเดือด จนอุณหภูมิน้ำแป้งถึง 85 °C กวนแป้งเวลา 15 นาที เทน้ำแป้งข้นหนืดประมาณ 70-75 กรัม ลงใส่ภาชนะอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูง 30 มิลลิเมตร นำไปนึ่งในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (98 ± 2 °C) นาน 20 นาที จากนั้นนำไปไล่ฟองอากาศออกด้วยเครื่องสุญญากาศเป็นเวลา 5 นาที ทิ้งให้เจลแป้งเย็นตัวที่อุณหภูมิห้องนาน 3 ชั่วโมง โดยการเปิดฝาทิ้งไว้นาน 30 นาที ก่อนทำการปิดฝา และนำเจลแป้งที่อยู่ในถ้วยอะลูเนียมไปวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (รุ่น TA.XT พลัส บริษัท สเตเบิลไมโครซิสเท็ม จำกัด, ประเทศสหราชอาณาจักร) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Byars and Singh [18] ใช้หัววัดทรงกระบอก (Cylindrical probe) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร สภาวะในการทดสอบคือ Pre-test speed, Test speed และ Post-test speed เท่ากับ 1.00, 0.5 และ 10 มิลลิเมตร/วินาที หัววัดกดลงในตัวอย่างร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง และรายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness)

Science34-N1.indd 45 11/3/2569 BE 10:16

2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistical 26.0

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว ที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดัง Tabel 1 พบว่า แป้งควินัวมีปริมาณโปรตีนมากกว่าสตาร์ชและแป้งชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 21.86 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณโปรตีนในสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว และแป้งข้าวเจ้ามีร้อยละ 0.06, 0.28 และ 7.75 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Yang et al. [19] ที่รายงานว่าแป้งควินัวสีขาวมีปริมาณโปรตีนมากถึงร้อยละ 17 โดยน้ำหนักแห้ง และอุดมไปด้วยกรดแอมิโนจำเป็นหลายชนิด เช่น ไลซีน ทรีโอนีน และเมไทโอนีน เป็นต้น [10] นอกจากนี้แป้งควินัวยังมีปริมาณไขมัน เส้นใยหยาบและเถ้ามากกว่าแป้งชนิดอื่น มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.17, 2.60 และ 2.65 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังมีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 33.76 รองลงมา คือ แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งควินัว ร้อยละ 29.37, 19.01 และ 13.75 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอมิโลสของแป้งควินัวมีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Dong et al. [20] พบว่า แป้งควินัวจากประเทศจีน มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 7.44

3.2 สมบัติทางเคมีกายภาพ

จากการวิเคราะห์กำลังการพองตัวของสตาร์ชและแป้งทั้ง 4 ชนิด ที่ศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 65-95 °C แสดงดัง Figure 1 พบว่า สตาร์ชและแป้งทุกชนิดมีค่ากำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยกำลังการพองตัวของสตาร์ชขึ้นอยู่กับความสามารถในการจับน้ำของโมเลกุลสตาร์ชกับพันธะไฮโดรเจน [21]

Table 1 Chemical composition (% dry weight) of tapioca starch, mung bean starch, rice flour, and quinoa flour.

Compositions	Tapioca starch	Mung bean starch	Rice flour	Quinoa flour
Moisture*	11.43 ± 0.03^{a}	11.43 ± 0.02^{a}	11.51 ± 0.01^{a}	6.13 ± 0.08^{b}
Protein	0.06 ± 0.10^{c}	0.28 ± 0.11^{c}	7.75 ± 0.34^{b}	21.86 ± 0.47^{a}
Fat	0.20 ± 0.14^{c}	0.18 ± 0.02^{c}	0.64 ± 0.30^{b}	9.17 ± 0.41^{a}
Crude fiber	0.18 ± 0.05^{b}	0.45 ± 0.04^{b}	0.45 ± 0.10^{b}	2.60 ± 0.06^{a}
Carbohydrate	99.33 ± 0.11^{a}	99.09 ± 0.10^{a}	90.80 ± 0.40^{b}	63.72 ± 0.88^{c}
Ash	0.23 ± 0.0^{c}	0.01 ± 0.0^{d}	0.37 ± 0.0^{b}	2.65 ± 0.0^{a}
Amylose Content	19.01 ± 0.52^{c}	33.76 ± 0.10^{a}	29.37 ± 0.56^{b}	13.75 ± 0.20^{d}

Mean ± SD within the same row with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

*% wet weight

Science34-N1.indd 46 11/3/2569 BE 10:16

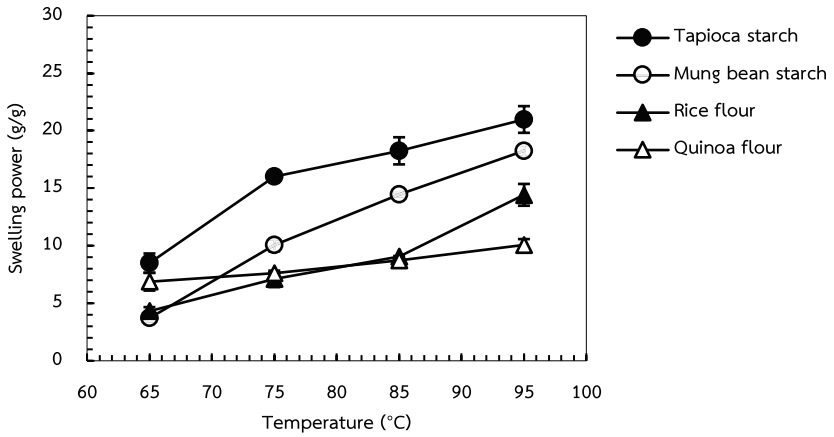


Figure 1 Effect of temperature on swelling power of tapioca starch, mung bean starch, rice flour, and quinoa flour.

เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชและแป้งแต่ละชนิดในช่วงอุณหภูมิ 65-95 °C พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียวมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัวทุกช่วงอุณหภูมิ ยกเว้นสตาร์ชถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 65 °C มีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งควินัว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Photinam et al. [22] พบว่า สตาร์ชถั่วเขียวในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 75 °C พันธะบริเวณผลึกและบริเวณอสัณฐานของเม็ดสตาร์ชยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้สตาร์ชเกิดการพองตัวต่ำ และในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 75 °C พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างสตาร์ชเริ่มอ่อนตัวลง และถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแพร่กระจายเข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวได้มากขึ้น จากการศึกษาเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95 °C พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชถั่วเขียวมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว ทั้งนี้น่าจะเนื่องมาจากขนาดของเม็ดสตาร์ช และองค์ประกอบทางเคมีของแป้ง เมื่อพิจารณาขนาดของเม็ดสตาร์ช พบว่า สตาร์ชถั่วเขียวมีขนาดเม็ดสตาร์ชใหญ่ที่สุดเท่ากับ 22.09 ไมโครเมตร [23] รองลงมา ได้แก่ สตาร์ชมันสำปะหลังมีขนาด 15 ไมโครเมตร [24] แป้งข้าวเจ้ามีขนาด 4.94 ไมโครเมตร [25] และแป้งควินัวมีขนาด 1.71 ไมโครเมตร [26] จากการศึกษาของ Wattanachant et al. [27] พบว่าค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 85 °C เนื่องจากสตาร์ชมันสำปะหลังมีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้า โดยเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของสายโมเลกุลที่อยู่ติดกันถูกทำลายได้ง่ายกว่าเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่มีการขยายตัวและกำลังการพองตัวสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดขนาดเล็ก นอกจากนี้ค่ากำลังการพองตัวของแป้งเพิ่มขึ้น เมื่อมีการสกัดไขมันออกจากแป้ง จากการศึกษา พบว่า แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัวมีปริมาณไขมันมากกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียว ดังแสดงใน Table 1 โดยไขมันสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสได้ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดสตาร์ช จึงไปยับยั้งการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชได้ [28] ส่งผลทำให้แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัวมีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่า นอกจากนี้แป้งที่มีโปรตีนสูงทำให้มีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าอีกด้วย [29]

ค่าการละลายของสตาร์ช และแป้งที่ศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 65-85 °C พบว่า ค่าการละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากแป้งเกิดการเจลาติไนซ์มากขึ้น

Science34-N1.indd 47 11/3/2569 BE 10:16

โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสตาร์ชกับน้ำ ทำให้เม็ดสตาร์ชบวมและโมเลกุลของสตาร์ชหลุดออกมามากขึ้น ส่งผลให้เกิดการละลายเพิ่มขึ้น [30] โดยสตาร์ชถั่วเขียว และแป้งควินัว มีแนวโน้มค่าการละลายลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 °C แสดงดัง Figure 2 แป้งควินัวมีค่าการละลายมากกว่าสตาร์ชและแป้งชนิดอื่นทุกช่วงอุณหภูมิ โดยแป้งควินัวมีค่าการละลายร้อยละ 12.84-13.04 จากการศึกษาของ Contreras-Jiménez et al. [31] พบว่า แป้งควินัวมีค่าการละลายร้อยละ 10.62 ที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งค่าการละลายแสดงถึงการไหลออกของแอมิโลสออกจากเม็ดสตาร์ช [32] ที่เกิดขึ้นระหว่างการพองตัวของเม็ดสตาร์ช [33] นอกจากนี้แล้วแป้งควินัวยังมีองค์ประกอบทางเคมีชนิดอื่นที่ละลายน้ำได้ เช่น ใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยในแป้งควินัวมีใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 22 ของปริมาณใยอาหารทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณมากกว่าที่พบในแป้งสาลีหรือแป้งข้าวโพด ประมาณร้อยละ 15 [34]

การศึกษาสมบัติการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ซึ่งเป็นกระบวนการที่แป้งเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นอสัณฐานหรือไม่เป็นระเบียบเมื่อแป้งผสมกับน้ำ และได้รับความร้อน [35] จาก Table 2 พบว่า ค่า T_o ซึ่งเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชถั่วเขียว (68.88 °C) มีค่าสูงที่สุด แสดงว่าโครงสร้างมีความเสถียรสูง (เปลี่ยนสภาพยากกว่า) [36] สำหรับแป้งข้าวเจ้าในการศึกษานี้ พบว่า T_o มีค่าค่อนข้างต่ำ (62.30 °C) จากการรวบรวมงานวิจัยของ Singh et al. [37] พบว่า แป้งข้าวเจ้าแต่ละสายพันธุ์มีค่า T_o ตั้งแต่ 57-70 °C ขณะที่ค่า T_p ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่กระบวนการเจลาติไนซ์เกิดขึ้นสูงสุด จากงานวิจัยนี้ พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีค่า T_p สูงที่สุด (78 °C) แสดงถึงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งที่หนาแน่นในแป้งข้าวเจ้า รองลงมา ได้แก่ สตาร์ชถั่วเขียว (72.72 °C) แป้งควินัว (71.33 °C) และสตาร์ชมันสำปะหลัง (69.28 °C) ตามลำดับ

พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์หรือ ΔH แสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างผลึกทั้งหมดในแป้ง [38] โดยแป้งควินัวมีค่า ΔH ต่ำสุด (7.14 J/g) แสดงว่าใช้พลังงานน้อยในการทำลายโครงสร้างภายในของแป้ง จากการศึกษาของ Contreras-Jiménez et al. [31] พบว่า แป้งควินัวพันธุ์ “real” จากประเทศโคลอมเบีย มีค่า T_o, T_p และ T_c เท่ากับ 50 °C, 63.13 °C และ 71.17 °C ตามลำดับ โดยมีค่า ΔH ค่อนข้างต่ำเท่ากับ 2.04 J/g จากงานวิจัยนี้ พบว่า ΔH ของแป้งควินัวมีค่าต่ำอาจเป็นผลจากแป้งควินัวที่นำมาวิเคราะห์

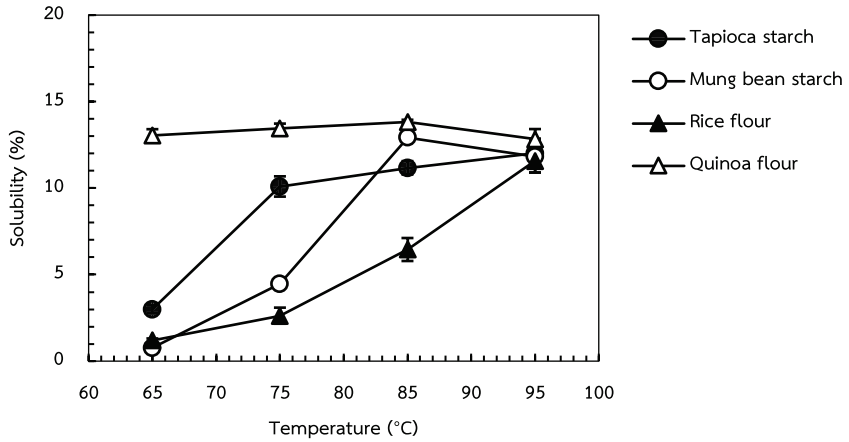


Figure 2 Effect of temperature on solubility of tapioca starch, mung bean starch, rice flour, and quinoa flour.

Science34-N1.indd 48 11/3/2569 BE 10:16

Table 2 Thermal property of tapioca starch, mung bean starch, rice flour, and quinoa flour.

Samples	T_0 (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
Tapioca starch	64.58 ± 0.12[b]	69.28 ± 0.42[d]	77.35 ± 0.58[d]	15.92 ± 0.29[a]
Mung bean starch	68.88 ± 0.08[a]	72.72 ± 0.09[b]	78.49 ± 0.10[c]	14.17 ± 0.46[b]
Rice flour	62.30 ± 0.23[d]	78.00 ± 0.01[a]	85.72 ± 0.34[a]	12.38 ± 0.35[c]
Quinoa flour	64.20 ± 0.16[c]	71.33 ± 0.29[c]	80.16 ± 0.17[b]	7.14 ± 0.41[d]

Mean±SD within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

DSC อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะได้สกัดไขมันออกแล้ว แต่ยังคงมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 21.86) จึงมีผลทำให้ปริมาณสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบในแป้งควินัวลดลง

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA ดังแสดงใน Table 3 พบว่า แป้งข้าวเจ้าและแป้ง ควินัวมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงที่สุด รองลงมา คือ สตาร์ชถั่วเขียว และสตาร์ชมันสำปะหลัง โดยแป้งข้าวเจ้าและแป้งควินัวมีขนาดเม็ดสตาร์ชเล็กกว่าสตาร์ชอีกสองชนิด ซึ่งขนาดของเม็ดสตาร์ชนั้นมีผลต่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงความหนืด กล่าวคือ แป้งที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กมักต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการพองตัว ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงกว่าแป้งที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ [39]

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียว มีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้ง ควินัว ซึ่งสอดคล้องกับค่ากำลังการพองตัว ดังแสดงใน Figure 1 โดยพบว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียวมีค่ากำลังการพองตัวสูง ซึ่งสตาร์ชที่มีความสามารถในการพองตัวสูง จะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดสูงขึ้นด้วย [40] นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความหนืดสูงสุดมีความสอดคล้องกับค่า ΔH ที่อาจแสดงถึงโครงสร้างที่เป็นผลึกและเป็นเกลียวคู่ (Double helix) ของแอมิโลเพกติน โดยผลการศึกษาของ Gupta et al. [41] พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด และค่า ΔH ของสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกของค่าความหนืดสูงสุด และค่า ΔH ขณะที่ค่าการแตกตัว พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียว มีค่าการแตกตัวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Araujo-Farro et al. [11] ที่รายงานว่าแป้งควินัวมีค่าการแตกตัวต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง แสดงถึงความสามารถในการทนต่อความร้อนและแรงกวนได้ดี [42] จากผลดังกล่าว เมื่อมีการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งควินัวในแป้งผสม จะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการแตกตัวลดลง แสดงถึงความสามารถในการพองตัวลดลง นอกจากนี้แป้งควินัวยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งโปรตีนอาจยับยั้งหรือชะลอการพองตัวของเม็ดสตาร์ชได้ [43] ดังนั้นการทดแทนแป้งควินัวในแป้งผสมจะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการแตกตัวลดลง แสดงถึงความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง [44] แต่ในขณะเดียวกันยังคงความเสถียรของความหนืดภายใต้ความร้อนและแรงเฉือนได้ดี

เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัวกลับ พบว่า สตาร์ชถั่วเขียวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุด (ร้อยละ 33.76) มีค่าการคืนตัวกลับสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า

Science34-N1.indd 49 11/3/2569 BE 10:16

Table 3 Pasting properties and gel texture of tapioca starch, mung bean starch, rice flour, quinoa flour, and flour mix.

Samples	Pasting properties						Gel texture
	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Hardness (N)
Tapioca starch	70.28^{c} ± 0.03	315.58^{a} ± 4.92	110.11^{d} ± 2.28	205.47^{a} ± 2.64	191.64^{e} ± 3.12	81.53^{e} ± 1.50	0.12^{e} ± 0.02
Mung bean starch	73.28^{b} ± 0.00	298.67^{b} ± 1.06	176.21^{a} ± 5.24	122.46^{b} ± 6.31	417.08^{a} ± 3.65	240.88^{a} ± 1.59	9.77^{a} ± 0.86
Rice flour	88.57^{a} ± 0.19	195.28^{e} ± 0.86	126.64^{c} ± 1.21	68.64^{d} ± 0.39	277.72^{b} ± 2.15	151.08^{b} ± 0.96	2.38^{b} ± 0.15
Quinoa flour	89.37^{a} ± 2.01	43.86^{g} ± 3.39	40.64^{e} ± 3.69	3.22^{e} ± 0.41	52.42^{f} ± 4.41	11.78^{f} ± 0.46	1.25^{d} ± 0.48
Mixed Flour*							
16:8:26:0	73.80^{bc} ± 0.52	243.89^{c} ± 2.19	134.44^{b} ± 0.63	109.44^{c} ± 2.60	230.22^{d} ± 0.53	113.47^{c} ± 2.23	2.08^{bc} ± 0.01
16:8:23:3	73.12^{bc} ± 0.40	231.58^{d} ± 6.06	125.89^{c} ± 4.19	105.69^{c} ± 2.69	239.36^{c} ± 3.27	95.78^{d} ± 1.04	1.75^{bcd} ± 0.09
16:8:20:6	73.98^{bc} ± 0.04	174.54^{f} ± 5.36	106.67^{d} ± 3.06	68.25^{d} ± 2.83	189.21^{e} ± 1.94	82.54^{e} ± 1.12	1.56^{cd} ± 0.05

Mean ± SD within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

* The ratios of mixed flour are tapioca starch, mung bean starch, rice flour, and quinoa flour, respectively.

Science34-N1.indd 50 11/3/2569 BE 10:16

สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งควินัว ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณแอมิโลสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าการคืนตัวกลับของแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแอมิโลสในแป้งแต่ละชนิด ดังแสดงใน Table 1 เมื่อแป้งถูกให้ความร้อนและทำให้เย็นลง แอมิโลสที่หลุดออกมาจากแกรนูลจะจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่สามารถอุ้มน้ำได้ดี และมีความคงตัวของความหนืดสูงขึ้น [5] การเพิ่มปริมาณแป้งควินัวในแป้งผสมทำให้ค่าการคืนตัวกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งควินัวในแป้งผสม พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งควินัวทำให้สารละลายแป้งมีค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกตัว และค่าการคืนตัวกลับลดลง แสดงถึงความสามารถในการทนต่อความร้อนและแรงเฉือนได้ดี รวมถึงมีแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง ส่งผลให้ค่าความแข็งของเจลแป้งมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่ามากกว่าค่าความหนืดต่ำสุด แสดงถึงแป้งมีสมบัติในการเกิดเจลเมื่อเย็นตัวลง (หลังการเย็นตัว) [45] ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมไทยที่ต้องการลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเจลนุ่ม เช่น ขนมเปียกปูนอ่อน

3.3 เนื้อสัมผัส

การวัดเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง พบว่า เจลสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งควินัว มีค่าความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเจลสตาร์ชถั่วเขียวมีค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมา คือ แป้งข้าวเจ้า แป้งควินัว และสตาร์ชมันสำปะหลัง ตามลำดับ เนื่องมาจากกระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งในระหว่างการเกิดเจล โดยปริมาณแอมิโลสเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง [46] ซึ่งสตาร์ชถั่วเขียวมีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุด (ร้อยละ 33.76) จะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี เมื่อพิจารณาเจลแป้งผสม พบว่า ค่าความแข็งของเจลแป้งผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งควินัว ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคืนตัวกลับ ดังแสดงใน Table 3 ทั้งนี้นอกจากปริมาณแอมิโลสของแป้งควินัวต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าแล้ว ยังเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของแป้งควินัวที่มีปริมาณใยอาหาร และไขมันสูง จึงมีผลต่อการชะลอกระบวนการรีโทรเกรเดชันของแป้ง ส่งผลให้ค่าความแข็งของเจลแป้งผสมมีแนวโน้มลดลง [47]

4. สรุปผลการทดลอง

ชนิด และปริมาณของสตาร์ชหรือแป้ง ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชหรือแป้งชนิดนั้น แป้งควินัวมีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงกว่าสตาร์ช และแป้งชนิดอื่น ขณะที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำสุด สำหรับสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งควินัว พบว่า ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด และค่าการคืนตัวกลับมีค่าต่ำสุด เจลของแป้งควินัวมีค่าความแข็งต่ำแต่สูงกว่าเจลของสตาร์ชมันสำปะหลัง การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งควินัวในแป้งผสมทำให้เจลแป้งผสมที่ได้ทนต่อความร้อนและแรงเฉือนได้ดี และทำให้ค่าความแข็งของเจลแป้งมีแนวโน้มลดลง การศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการนำแป้งผสมควินัวไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงวัยที่มีลักษณะเป็นเจลนุ่มและมีโปรตีนสูงขึ้น

5. References

[1] Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N. and Gulli, M., 2022, Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review, Trends Food Sci. Technol. 125: 154-165.

[2] Li, S., Zhang, Y., Wei, Y., Zhang, W. and Zhang, B., 2014, Thermal, pasting and gel textural properties of commercial starches from different botanical sources, J. Bioprocess. Biotech. 4(4): 1000161.

Science34-N1.indd 51 11/3/2569 BE 10:16

[3] Ren, Y., Yuan, T.Z., Chigwedere, C.M. and Ai, Y., 2021, A current review of structure, functional properties, and industrial applications of pulse starches for value added utilization, Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 20(3): 3061-3092.

[4] Waterschoot, J., Gomand, S.V., Willebrords, J.K., Fierens, E. and Delcour, J.A., 2014, Pasting properties of blends of potato, rice and maize starches, Food Hydrocoll. 41: 298-308.

[5] Srirat, K. and Piyachomkwan, K., 2007, Technology of Flour, Kasetsart University, Bangkok, 303 p. (in Thai)

[6] Udomrati, S., 2021, Determination of phase transition using differential scanning calorimetry, Food J. 51(2): 14-22. (in Thai)

[7] Seetapan, N., Limparyoon, N., Gamonpilas, C., Methacanon, P. and Fuongfuchat, A., 2015, Effect of cryogenic freezing on textural properties and microstructure of rice flour/tapioca starch blend gel, J. Food Eng. 151: 51-59.

[8] Wu, F., Meng, Y., Yang, N., Tao, H. and Xu, X., 2015, Effects of mung bean starch on quality of rice noodles made by direct dry flour extrusion, LWT-Food Sci. Technol. 63(2): 1199-1205.

[9] Sahagún, M., Bravo-Núñez, Á., Báscones, G. and Gómez, M., 2018, Influence of protein source on the characteristics of gluten-free layer cakes, LWT. 94: 50-56.

[10] Tirkey, I.A. and Paul, V., 2023, Research article recognition of quinoa as complete protein: Essential amino acid content of quinoa, Int. J. Adv. Multidiscip. Res. 10(8): 8645-8647.

[11] Araujo-Farro, P.C., do Amaral Sobral, J.P. and Menegalli, F.C., 2005, Comparison of Starch Pasting and Retrogradation Properties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Rice, Potato, Cassava, Wheat and Corn Starches, In Proceedings of the 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering. pp. 14-18.

[12] Feng, Y., Zhu, Y., Wang, Z. and Li, X., 2023, Effects of whole quinoa flour addition on the pasting property, dough rheology, and steam bread textural property of wheat flour, Int. Food Res. J. 30: 1212-1220.

[13] AOAC, 2012, Official Method of Analysis of Association of Official Analysis Chemists, 19th Ed., Washington D.C.

[14] Takeda,Y. and Hizukuri, S., 1987, Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine, Carbohydr. Res. 168(1): 79-88.

[15] Gibson, T.S., Solah, V.A. and McClearyt, B.V., 1997, A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with Concanavalin A., J. Cereal Sci. 25(2): 111-119.

[16] Li, J. and Corke, H., 1999, Physicochemical properties of normal and waxy Job's tears (*Coix lachrymal-jobi* L.) starch, Cereal Chem. 76(3): 413-416.

Science34-N1.indd 52 11/3/2569 BE 10:16

[17] Kim, Y.S., Wiesenborn, D.P., Orr, P.H. and Grant, L.A., 1995, Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry, J. Food Sci. 60(5): 1060-1065.

[18] Byars, J.A. and Singh, M., 2016, Rheological and textural properties of pulse starch gels, Starch-Stärke. 68(7-8): 778-784.

[19] Yang, C., Zhu, X., Liu, W., Huang, J., Xie, Z., Yang, F. and Wei, Y., 2024, Quantitative analysis of the phenolic compounds and antioxidant activities of six quinoa seed grains with different colors, LWT-Food Sci. Technol. 203: 116384.

[20] Dong, J., Huang, L., Chen, W., Zhu, Y., Dun, B. and Shen, R., 2021, Effect of heat-moisture treatments on digestibility and physicochemical property of whole quinoa flour, Foods. 10(12): 3042.

[21] Jia, R., Cui, C., Gao, L., Qin, Y., Ji, N., Dai, L. and Sun, Q., 2023, A review of starch swelling behavior: Its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality, Carbohydr. Polym. 321: 121260.

[22] Photinam, R., Moongngarm, A. and Paseephol, T., 2016, Process optimization to increase resistant starch in vermicelli prepared from mung bean and cowpea starch, Emir. J. Food Agric. 28(7): 449-458.

[23] Phrukwiwattanakul, P., Wichienchotand, S. and Sirivongpaisal, P., 2014, Comparative studies on physico-chemical properties of starches from jackfruit seed and mung bean, Int. J. Food Prop. 17(9): 1965-1976.

[24] Mishra, S. and Rai, T., 2006, Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches, Food Hydrocoll. 20(5): 557-566.

[25] Noosuk, P., Hill, S.E., Pradipasena, P. and Mitchell, J.R., 2003, Structure-viscosity relationships for Thai rice starches, Starch-Stärke. 55(8): 337-344.

[26] Velásquez-Barreto, F.F., Miñano, H.A., Alvarez-Ramirez, J. and Bello-Pérez, L.A., 2021, Structural, functional and chemical properties of small starch granules: Andean quinoa and kiwicha, Food Hydrocoll. 120(1): 106883.

[27] Wattanachant, S., Muhammad, S.K.S., Hashim, D.M. and Rahman, R.A., 2002, Suitability of sago starch as a base for dual-modification, Songklanakarin J. Sci. Technol. 24(3): 431-438.

[28] Singh, N., Kaur, L., K.S. Sandhu, K.S., Kaur, J. and Nishinar, K., 2006, Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches, Food Hydrocoll. 20(4): 534-542.

[29] Yu, S., Ma, Y., Menager, L. and Sun, D.W., 2012, Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars, Food Bioprocess Technol. 5(2): 626-637.

[30] Tester, R.F. and Morrison, W.R., 1990, Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids, Cereal Chem. 67(6): 551-557.

Science34-N1.indd 53 11/3/2569 BE 10:16

[31] Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O.L. and Rodríguez-García, M.E., 2019, Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch, Food chem. 298(1): 124982.

[32] Ahamed, N.T., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R. and Pal, M., 1996, Physicochemical and functional properties of Chenopodium quinoa starch, Carbohydr. Polym. 31: 99-103

[33] Jiao, A., Yang, Y., Li, Y., Chen, Y., Xu, X. and Jin, Z., 2020, Structural properties of rice flour as affected by the addition of pea starch and its effects on textural properties of extruded rice noodles, Int. J. Food Prop. 23(1): 809-819.

[34] Lamothe, L.M., Srichuwong, S., Reuhs, B.L. and Hamaker, B.R., 2015, Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans, Food chem. 167(1): 490-6.

[35] Ratnayake, W.S. and Jackson, D.S., 2007, A new insight into the gelatinization process of native starches, Carbohydr. Polym. 67(4): 511-529.

[36] Li, W., Shu, C., Zhang, P. and Shen, Q., 2011, Properties of starch separated from ten mung bean varieties and seeds processing characteristics, Food Bioprocess Technol. 4(5): 814-821.

[37] Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. and Gill, B.S., 2003, Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources, Food Chem. 81(2): 219-231.

[38] Chung, H.J. and Liu, Q., 2010, Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma-irradiation, Int. J. Biol. Macromol. 47(2): 214-222.

[39] Huang, C.C., 2009, Physicochemical, pasting and thermal properties of tuber starches as modified by guar gum and locust bean gum, Int. J. Food Sci. Technol. 44(1): 50-57.

[40] Ragaee, S. and Abdel-Aal, E.S.M, 2006, Pasting properties of starch and protein in selected cereal and quality of their food products, Food Chem. 95(1): 9-18.

[41] Gupta, M., Bawa, A.S. and Semwal, A.D., 2009, Morphological, thermal, pasting, and rheological properties of barley starch and their blends, Int. J. Food Prop. 12(3): 587-604.

[42] León, A.E., Barrera, G.N., Pérez, G.T., Ribotta, P. D. and Rosell, C.M., 2006, Effect of damaged starch levels on flour-thermal behaviour and bread staling, Eur. Food Res. Technol. 224(2): 187-192.

[43] Chanapamokkhot, H. and Thongngam, M., 2007, The chemical and physico-chemical properties of sorghum starch and flour, Agr. Nat. Resour. 41(5): 343-349.

Science34-N1.indd 54 11/3/2569 BE 10:16

[44] Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., León, A.E. and Pérez, G.T., 2010, Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality, Food Bioprocess Technol. 3(4): 577-585.

[45] Aphichachan, U. and Jiamyangyuen, S., 2006, Production and utilization of pregelatinized rice flour and its application in reduced-fat donut cake, Univ. Thai Chamb. Commer. J. (UTCC). 26(3): 32-45. (in Thai)

[46] Sandhu, K.S. and Singh, N., 2007, Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties, Food Chem. 101(4): 1499-1507.

[47] De Bock, P., Daelemans, L., Selis, L., Raes, K., Vermeir, P., Eeckhout, M. and Van Bockstaele, F., 2021, Comparison of the chemical and technological characteristics of wholemeal flours obtained from amaranth (*Amaranthus* sp.), quinoa (*Chenopodium quinoa* w.) and buckwheat (*Fagopyrum* sp.) seeds, Foods. 10(3): 651.

Science34-N1.indd 55 11/3/2569 BE 10:16