

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและเจลแป้งเปียกของแป้งข้าวสาลีพื้นเมืองปลูกในภาคเหนือประเทศไทย

Physicochemical and Pasting Characteristics of Local Wheat Flour Grown in the Northern Thailand

พรสุดา สุริยวงศ์¹ อรวรรณ ปัญญาเพลินพิศ¹ สายบัว เข้มเพชร² สุพรรณิการ์ กล่อมจอหอ²
และนักษิณี ปัญญาใหญ่^{1*}

Pornsuda Suriyawong¹, Orawan Panyapleanpit¹, Saibua Khempet², Supannika Klomjoho²
and Naksit Panyoyai^{1*}

¹ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50330

²ภาควิชาเทคโนโลยีและพัฒนากิจการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50330

¹Department of Agro-Industry, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand 50330

²Department of Agricultural Technology and Development, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University
Chiang Mai, Thailand 50330

*Corresponding author: naksit_pan@cmru.ac.th

Received: August 05, 2021

Revised: March 07, 2023

Accepted: March 24, 2023

Abstract

The study was about the physicochemical and pasting characteristics of 21 local northern wheat flour varieties grown in Chiang Mai (CM), Lamphun (LP) and Mae Hong Son (MH). The objective of this research was to analyze the chemical values in percentages (crude protein, starch, and gluten), physical values (water absorption and dough hardness), and rheological values from starch pasting (peak viscosity, final viscosity, and setback viscosity). The statistical analysis was carried out using cluster analysis of physicochemical characteristics and principal component analysis (PCA) of pasting characteristics. The results showed that all samples of local wheat flour contained two macromolecule components. Gluten helped in dough structure development, and a starch gel occurred when heat starch was in excess water. The higher protein content of wheat flour caused the lower gel viscosity values. PCA revealed that starch and protein were the constituents associated with starch gel formation. Gluten was involved in a network structure formation within the dough by kneading local wheat flour in the presence of water until the dough formed an elastic and sheet-like structure. The natural combination of protein and starch affected the overall quality of local wheat flour. In the northern region, 11 local wheat varieties exhibited medium protein content (CMS2, CMS4, CMF1, CMF3, CMF4, LP2, LP3, LP5, MH1, MH3, and MH4) and four local wheat varieties showing low protein content (CMR1, CMS1, LP4, and MH2). The physicochemical and pasting characteristics of all categorized samples were not statistically different from those of the Thai industrial standard of wheat flour ($p>0.05$). None of the

local wheat flour had a flour quality comparable to that of a high protein content. The research supported future work on local wheat breeding for flour utilization in Thai food products.

Keywords: physicochemical properties, pasting, rheology, local wheat flour, the northern of Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและเจลแป็งเปียกของแป้งข้าวสาลีสายพันธุ์ภาคเหนือปลูกในเชียงใหม่ (CM) ลำพูน (LP) และแม่ฮ่องสอน (MH) จำนวนรวม 21 สายพันธุ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ค่าทางเคมีคิดเป็นร้อยละ (โปรตีนทั้งหมด สตาร์ช กลูเตน) ค่าทางกายภาพ (การดูดซับน้ำและความแข็งแรงของแป้งโด) และค่าทางรีโอโลยีจากการเกิดเจลแป็งเปียก (ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และการคืนตัว แป็ง) และวิเคราะห์สถิติด้วยการจัดกลุ่มและองค์ประกอบหลักที่สัมพันธ์ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA) ผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวสาลีพื้นเมืองทุกตัวอย่างมีโปรตีนกลูเตนช่วยในการสร้างโครงสร้างโด และมีสตาร์ช แป็งที่เกิดเจลแป็งเปียกได้ปริมาณโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีที่มากขึ้นส่งผลต่อความหนืดที่ลดลง การวิเคราะห์ PCA พบว่าสตาร์ชและโปรตีนกลูเตนเป็นองค์ประกอบที่สัมพันธ์กับการเกิดเจลแป็งเปียกเกี่ยวข้องกับโครงสร้างร่างแหในก้อนโด ปริมาณโปรตีนที่มากส่งผลต่อความหนืดเจลแป็งเปียกที่ลดลง กลูเตนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างร่างแหในก้อนโดโดยการนวดผสมแป้งสาลีพื้นเมืองกับน้ำจนได้โดที่ยืดเป็นสายยาวและรีดเป็นแผ่นได้ ผลของโปรตีนกลูเตนและสตาร์ชที่ผสมกันตามธรรมชาติส่งผลต่อการจัดคุณภาพโดยรวมของแป้งสาลีพื้นเมือง แป้งข้าวสาลีสายพันธุ์ภาคเหนือมีโปรตีนปานกลางจำนวน 11 สายพันธุ์ ได้แก่ CMS2, CMS4, CMF1, CMF3, CMF4, LP2, LP3, LP5, MH1, MH3, และ MH4 และแป้งข้าวสาลีสายพันธุ์ภาคเหนือที่มีโปรตีนต่ำจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ CMR1, CMS1, LP4, และ MH2 มีคุณภาพทางเคมีกายภาพและการเกิดเจลแป็ง

ข้าวสาลีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสาลีในระดับอุตสาหกรรมไทย ($p>0.05$) แต่ยังไม่มีการศึกษาสายพันธุ์ภาคเหนือที่นำมาศึกษามีคุณภาพเทียบเท่ากับแป้งสาลีชนิดโปรตีนสูง ผลการวิจัยนี้เป็นข้อมูลส่งเสริมการปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวสาลีพื้นเมืองเพื่อใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารไทยได้

คำสำคัญ: สมบัติเคมีกายภาพ เจลแป็งเปียก รีโอโลยี แป้งสาลีพื้นเมือง ภาคเหนือประเทศไทย

คำนำ

ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) เป็นแหล่งอาหารหนึ่งที่มีปริมาณการบริโภคทั่วโลก เช่น สถิติในปี พ.ศ. 2564–2565 รายงานประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน มีการบริโภคข้าวสาลีมากที่สุดถึง 14.85 ล้านตัน รองลงมาคือ สหภาพยุโรป และอินเดีย (Statista, 2022) ในประเทศไทยปริมาณการบริโภคข้าวสาลีเป็นรองจากข้าวเจ้า (*Oryza sativa* L. var. Indica) และข้าวเหนียว (*Oryza sativa* var. Glutinosa) และมีการนำข้าวสาลีจากต่างประเทศและปลูกในประเทศไทยส่วนหนึ่ง

การปลูกข้าวสาลีในประเทศไทยมีแหล่งปลูกในภาคเหนือบนแถบภูเขาสูง ซึ่งมีการปลูกข้าวสาลีพื้นเมืองกันมานานตั้งแต่การส่งเสริมพืชเมืองหนาวในสมัยรัชกาลที่ 9 เพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารและลดการบุกกรุ๊ปาด้านน้ำของเกษตรกรบนพื้นที่สูง โดยหลังการเก็บเกี่ยวข้าวไร่ ก็จะเสริมด้วยการปลูกข้าวสาลีหลังนา เพื่อเป็นแหล่งอาหารในชุมชนและส่งเสริมการท่องเที่ยว มีศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน วิจัยพันธุ์ข้าวสาลีเพื่อขยายพันธุ์ให้กับเกษตรกร

ในชุมชนพื้นที่สูงได้ปลูกในช่วงตุลาคมถึงพฤศจิกายน ให้ผลผลิตในเดือนธันวาคม และเริ่มการเก็บเกี่ยวมกราคมถึงมีนาคม (Komchadluck, 2017)

ข้าวสาลีต่างประเทศมีการนำไปแปรรูปเป็นแป้งข้าวสาลี ที่มีลักษณะเป็นผงและมีคุณภาพแตกต่างกันตามปริมาณของกลูเตน (Gluten) ในข้าวสาลี ประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดลิน (Gliadin) โดยโปรตีนสองชนิดนี้เมื่ออุ้มน้ำไว้จะเกิดลักษณะกลูเตนที่สามารถเก็บกักแก๊ส หากนวดผสมให้เข้ากันจะเกิดลักษณะก้อนแป้งที่ยืดหยุ่นและเหนียวเรียกว่า โด (Dough) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery) ทั้งหลาย (Ortolan and Steel, 2017)

ในทางการค้าแป้งสาลีจำแนกออกตามปริมาณโปรตีนหยาบในแป้งสาลี ได้แก่ (1) แป้งสาลีชนิดหนัก (Hard wheat) ได้จากข้าวสาลีพันธุ์หนักที่มีโปรตีนร้อยละ 12-14 เนื้อแป้งหยาบ สีครีมเหมาะทำผลิตภัณฑ์ขนมปัง พืชชา โรตี บะหมี่ (2) แป้งสาลีชนิดเบา (Soft wheat) ได้จากข้าวสาลีพันธุ์เบาที่มีโปรตีนร้อยละ 7-9 เนื้อแป้งละเอียด บาง นุ่ม สีขาว ใช้ทำผลิตภัณฑ์ เช่น เค้ก ซาลาเปา และ (3) แป้งอเนกประสงค์ (All-purpose flour) เป็นแป้งที่ได้จากการผสมแป้งสาลีชนิดหนักและแป้งสาลีชนิดเบาให้มีโปรตีนร้อยละ 10-11 สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ เช่น คุกกี้ พาย พัฟ สังขยา (Veraverbeke and Declcour, 2002)

คุณภาพและมาตรฐานแป้งสาลีของประเทศไทยที่กำหนดไว้ เช่น มาตรฐานแป้งสาลีอเนกประสงค์ (มอก. 375-2524) กำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 ปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยคุณภาพของแป้งสาลียังกำหนดถึงคุณสมบัติในการนำไปใช้งานในเรื่อง การขึ้นฟู (Baking quality) การดูดซึมน้ำ และเวลาที่ใช้ในการผสมจนขึ้นเป็นก้อนโด (Thai Industrial Standards Institute, 1981)

รีโอโลยี เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมไหลของวัสดุอาหาร เช่น การเกิดเจลแป้งเปียก (Pasting) ของน้ำแป้งที่นำมาทวนขณะให้ความร้อน

เมื่อดำเนินการจะเกิดการดูดซับน้ำเอาไว้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น แป้งส่วนหนึ่งจะเริ่มพองตัว ปล่อยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินไหลออกมาทำให้เกิดความหนืดของแป้งเปียก (Pasting viscosity) และหากเพิ่มความร้อน เม็ดแป้งจะแตกออกและเกิดความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (Peak viscosity) ณ จุดนี้แป้งจะหนืดมากกลายเป็นเจล และมีพฤติกรรมไหลแบบไดลาแทนท์ (Dilatant) หรือเชียร์ ทิคเคนนิง (Shear thickening) ต่อจากนั้นความหนืดของเจลแป้งจะลดลงตามเวลา หากมีการลดอุณหภูมิ เจลแป้งลงความหนืดของเจลจะเพิ่มมากขึ้น และเกิดการคืนตัวของแป้งอย่างช้า ๆ (Short retrogradation) ณ ที่ความหนืดสุดท้ายค่าหนึ่ง (Final viscosity) ซึ่งแป้งแต่ละชนิด เช่น แป้งสาลีมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เฉพาะ และปริมาณขององค์ประกอบในแป้ง เช่น ปริมาณโปรตีนส่งผลต่อความหนืดด้วย (Balet *et al.*, 2019)

การวิจัยของ Ferrari *et al.* (2014) รายงานการศึกษารีโอโลยีแป้งข้าวสาลีจำนวน 49 สายพันธุ์ โดยใช้การทดสอบการดูดน้ำจนเกิดโดแป้งสาลีด้วย Farinograph และการยืดตัวของโดแป้งสาลีด้วย Extensinograph พบว่าการดูดน้ำของแป้งจนเกิดโดในแป้งสาลีชนิดอ่อนใช้เวลา 60 วินาที และในแป้งสาลีชนิดแข็งใช้เวลา 660 วินาที ส่วนการยืดตัวของโดแป้งสาลีชนิดอ่อนใช้พลังงาน 0.31 ไนน์ต่อตารางเมตร ส่วนแป้งสาลีชนิดแข็งใช้พลังงาน 1.84 ไนน์ต่อตารางเมตร โดยทดสอบวิธีเดียวกันนี้กับกลูเตน พบว่ามีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกันในกลูเตนชนิดอ่อนและชนิดแข็ง โดยใช้พลังงาน 24 และ 142 ไนน์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และกลูเตนมีความสัมพันธ์น้อยกับปริมาณโปรตีนรวม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chammek *et al.* (1988) พบว่าปริมาณโปรตีนและกลูเตนในข้าวทริติเคลี (Triticale) ซึ่งเป็นข้าวผสมพันธุ์กันระหว่างข้าวสาลีและข้าวไรน์ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ความสัมพันธ์เชิงเส้น $r=0.018$) โดยข้าวนี้มีโปรตีนในช่วงร้อยละ 13.44-17.87 ที่ความชื้นร้อยละ 14 และปริมาณกลูเตนโดยน้ำหนักแห้งร้อยละ 1.26-7.02 ข้าวสายพันธุ์ GENARO 81 มีโปรตีน

และกลูเตนเหมาะสมนำไปใช้ไม่เป็นแป้งอเนกประสงค์ได้ดี (โปรตีนร้อยละ 16.83 ฐานแห้ง กลูเตนแห้งร้อยละ 6.26) ส่วนพันธุ์ YAVAROS ใช้เป็นแป้งเค้ก (โปรตีนร้อยละ 20.23 ฐานแห้ง กลูเตนแห้งร้อยละ 1.26)

ตั้งที่งานวิจัยข้าวสาลีพื้นเมืองประเทศไทยมีการศึกษาไม่แพร่หลาย รวมทั้งการศึกษาคุณภาพแป้งสาลีในประเทศไทยระบุว่าปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีอาจไม่มีความสัมพันธ์กัน งานวิจัยจึงนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแป้งข้าวสาลีพื้นเมืองสายพันธุ์ในภาคเหนือประเทศไทยในด้านโครงสร้างเม็ดแป้ง วิเคราะห์คุณภาพพื้นฐานทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความชื้น โปรตีนทั้งหมด กลูเตนเปียก การดูดซึมน้ำ แร่ก่อก่อนโดแป้ง รวมทั้งใช้เทคนิครีโอโลยี การเกิดเจลแป้งสาลีขณะให้ความร้อนไปประกอบการจัดกลุ่มคุณภาพข้าวสาลีพื้นเมือง แล้วเปรียบเทียบกับแป้งสาลีในทางการค้าที่มีปริมาณโปรตีนระดับต่าง ๆ อธิบายผลการจัดกลุ่มด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis, PCA)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมี

ข้าวสาลีจำนวน 21 ตัวอย่าง ได้จากสายพันธุ์เพาะปลูกในภาคเหนือในปีฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ. 2562–2563 ข้าวสาลีพื้นเมืองสายพันธุ์ภาคเหนือ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสายพันธุ์เชียงใหม่ รหัส CM จำนวน 10 สายพันธุ์ กลุ่มสายพันธุ์ลำพูน รหัส LP จำนวน 6 สายพันธุ์ และกลุ่มสายพันธุ์แม่ฮ่องสอน รหัส MH จำนวน 5 สายพันธุ์ โดยแต่ละสายพันธุ์เป็นพันธุ์ที่พัฒนาโดยศูนย์วิจัยข้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือ นำไปทดลองปลูกในพื้นที่เชียงใหม่ (ฝาง และสะเมิง) พื้นที่ลำพูน และพื้นที่แม่ฮ่องสอน แล้วคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่และดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมมาทำการวิจัยครั้งนี้ ให้รหัสในการวิจัย คือ CMF1–CMF5 ข้าวสาลีพื้นเมืองสายพันธุ์อำเภอฝาง เชียงใหม่ และ CMS1–CMS3 ข้าวสาลีพื้นเมืองสายพันธุ์อำเภอสะเมิง เชียงใหม่ CMR1 และ CMR2 ข้าวสาลี

พื้นเมืองสายพันธุ์ผสมจากการปรับปรุงพันธุ์ เชียงใหม่ LP1–LP6 ข้าวสาลีพื้นเมืองสายพันธุ์ลำพูน และ MH1–MH5 ข้าวสาลีพื้นเมืองสายพันธุ์แม่ฮ่องสอน โดยนำเมล็ดข้าวสาลีจาก 21 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 2 กิโลกรัม มาเตรียมแป้งสาลีจากข้าวสาลีพื้นเมือง 21 สายพันธุ์ แยกจากกันก่อนนำไปวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ และการเกิดเจลแป้งเปียกต่อไป แป้งข้าวสาลีทางการค้า 2 ยี่ห้อ จาก United Flour Mill (กรุงเทพฯ) และแหลมทองสหการ (กรุงเทพฯ) ยี่ห้อหนึ่งมี 3 ตัวอย่าง ได้แก่ แป้งสาลีโปรตีนสูง แป้งสาลีอเนกประสงค์มีโปรตีนปานกลาง และแป้งสาลีโปรตีนต่ำ รวมทั้งหาค่าดัชนีตัวอย่างทางการค้า 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 กิโลกรัม นอกจากนี้สตาร์ชสาลี (Wheat starch) และกลูเตน (บริษัท พีทีเค โชนิชั่น แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด กรุงเทพฯ) สารเคมีในการวิเคราะห์โปรตีน ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดบอริก เมทิลเรด โพแทสเซียมซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99 น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำกลั่นเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี

การเตรียมแป้งข้าวสาลี

เมล็ดข้าวสาลีนำมาทำความสะอาดโดยการเป่า แยกเอาส่วนที่เป็นเศษกรวด ทราเยออกไป ก่อนนำไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบด (Foss Model Cyclotec 1903, USA) และร่อนด้วยเครื่องร่อนอัตโนมัติ (Octagon 200, UK) และเก็บแป้งที่อยู่บนตะแกรงขนาด 40 เมช ไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิท จากนั้นนำไปบดในตู้อบให้แป้งสาลีทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 นาน 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกปิดสนิทไว้ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์โครงสร้างเม็ดแป้งข้าวสาลี

ผงแป้งสาลีนำมาเคลือบด้วยทองคำ แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Philips XL30 SEM, England) สภาวะการใช้สุญญากาศสูงที่ ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ ตำแหน่งจุดขนาด 4.5–5 ระยะส่อง 10 มิลลิเมตร กำลังขยาย 350–750 เท่า

การวิเคราะห์เคมีกายภาพแป้งข้าวสาลี

การวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธีคเจล์ดฮาว (Kjeldahl method) การคำนวณโปรตีนใช้ค่าตัวแปรคงที่ 5.7 (Ferrari *et al.*, 2014) ปริมาณกลูเตนเปียกทำโดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 นาน 5 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง (AACC Method 38-12A) (Causgrove, 2004a) การดูดซึมน้ำโดยการปล่อยน้ำกลั่นลงบนแป้งสาลี (10 กรัม) แล้ววัดจนกว่าแป้งสาลีจะขึ้นรูปเป็นก้อนโดได้ บันทึกปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้หารด้วยน้ำหนักแป้งสาลีคำนวณเป็นร้อยละ ส่วนผงแป้งสาลีนำมาวิเคราะห์ความชื้นโดยใช้ตามวิธีการของ (AACC Method 44-15A) (Causgrove, 2004b) การวิเคราะห์สตราซ์ซีใช้การคำนวณจากหนึ่งร้อยละโปรตีนความชื้น และเถ้า (เถ้าที่ 550°ซ.) และแรงกดตัวอย่างก้อนโดทรงกลมน้ำหนัก 10 กรัม ใช้หัววัดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. อัตราเร็วการกดทับ 1 มม.ต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28°ซ. ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Stable Micro System, UK)

การวิเคราะห์รีโอโลยีน้ำแป้งข้าวสาลี

การชั่งตัวอย่างแป้ง 2 กรัมลงในกระบอก เติมน้ำกลั่นลงไปจนน้ำหนักครบ 20 กรัม นำไปทดสอบด้วยรีโอมิเตอร์ (Model Physica MCR 51, Anton Paar, Austria) ใช้หัววัดแป้ง ST24/2D-2V-2V สภาวะการทดสอบ คือ กวนให้ความร้อน 50°ซ. นาน 1 นาที เพิ่มความร้อนและกวนผสมไปจนถึง 95°ซ. อัตรา 6°ซ. ต่อนาที คงอุณหภูมิไว้ที่ 95°ซ. นาน 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 50°ซ. อัตรา 6°ซ. ต่อนาที และคงที่อุณหภูมิ 50°ซ. นาน 4 นาที การวิเคราะห์ผลความหนืดโดยใช้โปรแกรม

Rheoplus วิเคราะห์ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดที่แบ่งกลับคืนตัว (Setback) และความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ในหน่วย มิลลิพาสคาล.วินาที (mPa.s) ตัวอย่างทำ 5 ซ้ำ รายงานค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรมวิเคราะห์ ดังนี้ 1) สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย 2) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่นัยสำคัญ 0.05 3) การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis) (Wessa, 2017) และ 4) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ด้วย RStudio version 4.1.0 (2021)

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์โครงสร้างเม็ดแป้งข้าวสาลี

สัณฐานของเม็ดแป้งข้าวสาลีพื้นเมืองภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า เม็ดแป้งข้าวสาลีมีลักษณะ 2 แบบ คือ เป็นแบบแบนและมีความนูน (Lenticular shape) และแบบทรงกลม (Spherical shape) ที่มีขนาดเล็กกว่าแบบแรก (Figure 1A) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสตราซ์ซีทางการค้า (Figure 1D และ 1E) มีลักษณะรูปทรงเม็ดแป้งใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ แป้งข้าวสาลีพื้นเมืองมีองค์ประกอบโปรตีนกลูเตนที่มีลักษณะอนุภาคขรุขระ มีขนาดใหญ่และเล็กกว่าเม็ดแป้ง (Figure 1B) เมื่อเปรียบเทียบกับกลูเตนทางการค้าพบว่า มีลักษณะคล้ายกัน (Figure 1H และ 1I) คือ ไม่มีรูปทรงที่ชัดเจน

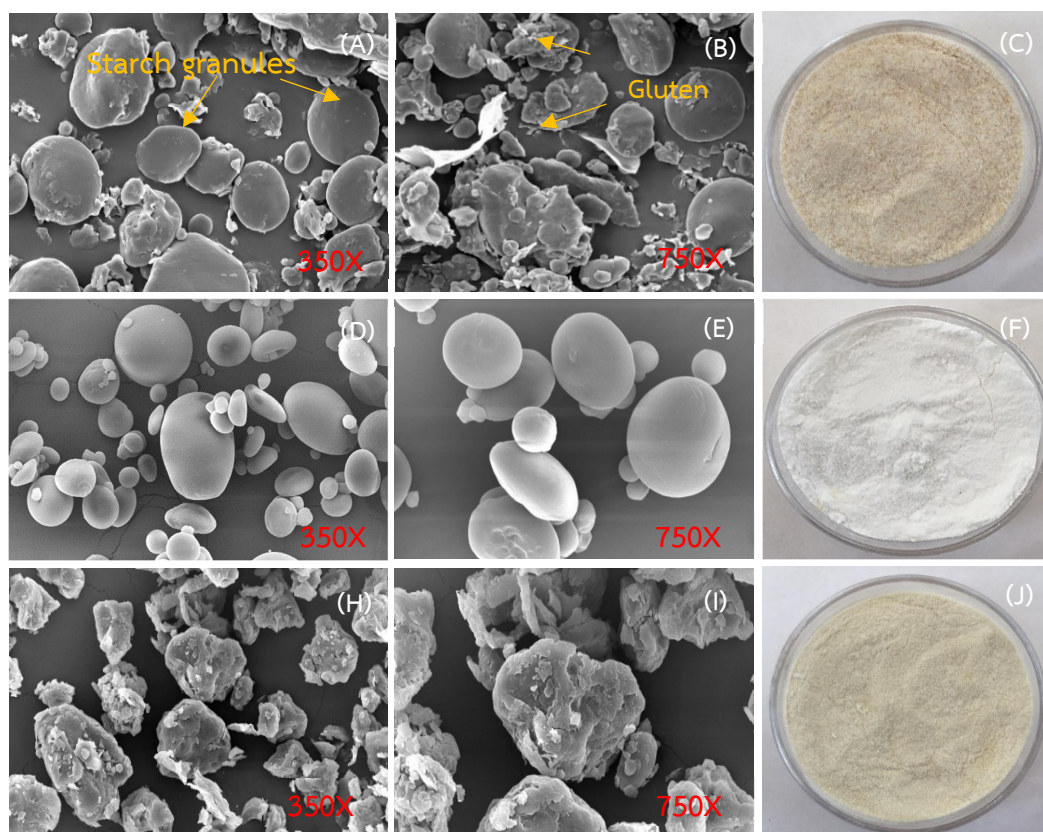


Figure 1 morphology of local wheat flour (A, B, C), Commercial wheat starch granules (D, E, F), and commercial gluten granules (H, I, J)

การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพแป้งข้าวสาลี

แป้งสาลีพื้นเมืองมีคุณภาพทางด้านเคมีที่สำคัญ คือ ปริมาณโปรตีน (Table 1) แป้งข้าวสาลี 21 ตัวอย่าง มีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 9.42 โดยมีปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ ร้อยละ 11.13 และต่ำสุดร้อยละ 4.75 การวิเคราะห์กลุ่ม แป้งข้าวสาลีพื้นเมืองตามปริมาณโปรตีนเปรียบเทียบกับ แป้งสาลีทางการค้า 6 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่มีโปรตีนสูง 2 ตัวอย่าง (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 13.61) โปรตีนปานกลาง (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 10.30) และโปรตีนต่ำ (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.64) ด้วยผลทางสถิติพบว่า แป้งข้าวสาลีพื้นเมือง ส่วนใหญ่ (14 ตัวอย่าง) จัดกลุ่มเป็นแป้งที่มีโปรตีนปานกลาง (โปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 10.29) สายพันธุ์ CF2 และสายพันธุ์ CF4 มีโปรตีนสูงสุดและต่ำสุดในกลุ่ม คือ ร้อยละ 10.34 และร้อยละ 9.28 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยโปรตีนทั้ง 14

ตัวอย่าง เท่ากับ 10.29 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้า ($p>0.05$) และมีแป้งข้าวสาลี 4 ตัวอย่าง จัดเป็นแป้งสาลีโปรตีนต่ำ (โปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 8.63) โดยสายพันธุ์ MH3 และสายพันธุ์ CMR2 มีโปรตีนสูงสุดและต่ำสุดในกลุ่ม คือ ร้อยละ 8.91 และร้อยละ 4.75 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยโปรตีน ทั้ง 4 ตัวอย่าง เท่ากับ 8.63 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้า ($p>0.05$) ส่วนกรณีของตัวอย่าง CMS2, MH5, LP1 แม้ว่าจะจัดเป็น กลุ่มแป้งข้าวสาลีที่มีโปรตีนสูงมีโปรตีนร้อยละ 11.08 ร้อยละ 11.12 และ 11.13 เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสาลี 21 สายพันธุ์ แต่คุณภาพโปรตีนต่ำกว่าแป้งสาลีทางการค้า ทั้ง 2 ตัวอย่าง ที่มีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 13 ($p\leq 0.05$) โปรตีนหลักที่พบในแป้งข้าวสาลี คือ โปรตีนกลูเตน

ที่จัดเป็นองค์ประกอบเคมีสำคัญให้แป้งสาลีมีความยืดหยุ่นและเหนียว แป้งสาลีพื้นเมืองมีกลูเตนในปริมาณประมาณร้อยละ 40 ของโปรตีนทั้งหมดในข้าวสาลี ซึ่งโปรตีนชนิดนี้มีความสามารถในการอุ้มน้ำในขณะนวดได้ จึงทำให้แป้งสาลีเกิดก้อนแป้งโดที่เป็นโครงสร้างแห่ซับซ้อน จาก Table 1 แป้งสาลีพื้นเมือง LP1 ซึ่งจัดเป็นแป้งสาลีพื้นเมืองตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้สูงสุดประมาณร้อยละ 46.60 แต่อย่างน้อยกว่าแป้งสาลีทางการค้า จึงส่งผลต่อการอุ้มน้ำที่ต่ำและแรงกดก้อนโดที่ได้จากการนวดแป้งที่น้อยกว่าเช่นกัน ($p \leq 0.05$) ในขณะที่แป้งสาลีพื้นเมือง ที่มีโปรตีนปานกลางและโปรตีนต่ำมีค่าเฉลี่ยปริมาณกลูเตน การอุ้มน้ำ และแรงกดโดไม่แตกต่างจากแป้งสาลีทางการค้า ($p > 0.05$)

แป้งสาลีพื้นเมืองทุกตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 9.31 ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำกว่ามาตรฐานแป้งสาลีอเนกประสงค์ของประเทศไทยที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 14 (Thai Industrial Standards Institute, 1981) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์พวกเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้น องค์ประกอบที่เหลือในแป้งสาลีเป็นสตาρχประมาณร้อยละ 77 และแป้งสาลีพื้นเมืองนี้ให้พลังงานทั้งหมดจากการคำนวณจากโปรตีนและสตาρχโดยเฉลี่ย 308 กิโลแคลอรีต่อแป้งสาลีพื้นเมือง 100 กรัม

Table 1 summary of protein and dough characteristics obtained from 21 local wheat flour varieties comparison with two samples of commercial wheat flour

Physicochemical parameter	Crude protein (%)	Wet gluten (%)	Water absorption (%)	Compression force (N)
Hard wheat dough (N=3)				
Maximum (LP1)	11.13±0.12 ^b	46.60±0.85 ^b	56.80±0.95 ^b	0.623±0.012 ^a
Minimum (CMS2)	11.08±0.05 ^b	33.87±0.66 ^d	55.36±0.78 ^c	0.512±0.011 ^d
Average	11.12±0.22 ^b	38.77±0.44 ^c	56.12±0.66 ^b	0.543±0.015 ^c
Commercial wheat 1	13.63±0.15 ^a	64.23±0.32 ^a	64.23±0.52 ^a	0.557±0.011 ^b
Commercial wheat 2	13.60±0.12 ^a	63.60±0.14 ^a	63.66±0.19 ^a	0.556±0.014 ^b
Medium wheat dough (N=14)				
Maximum (CMF2)	10.34±0.13 ^a	35.17±0.52 ^a	57.71±0.42 ^a	0.523±0.021 ^b
Minimum (CMF4)	9.28±0.09 ^b	23.24±0.32 ^c	52.61±0.62 ^c	0.445±0.017 ^a
Average	10.29±0.14 ^a	27.32±0.24 ^b	55.47±0.55 ^b	0.478±0.024 ^a
Commercial wheat 1	10.32±0.12 ^a	27.88±0.26 ^b	55.12±0.44 ^b	0.467±0.024 ^a
Commercial wheat 2	10.28±0.03 ^a	27.32±0.31 ^b	55.33±0.16 ^b	0.479±0.021 ^a

Table 1 (Continued)

Physicochemical parameter	Crude protein (%)	Wet gluten (%)	Water absorption (%)	Compression force (N)
Soft wheat dough (N=4)				
Maximum (MH3)	8.91±0.10 ^a	30.70±0.54 ^c	55.68±0.20 ^a	0.412±0.002 ^c
Minimum (CMR2)	4.75±0.31 ^b	12.33±0.62 ^a	45.00±0.46 ^b	0.256±0.007 ^a
Average	8.63±0.17 ^a	21.33±0.63 ^b	54.33±0.76 ^a	0.330±0.032 ^b
Commercial wheat 1	8.65±0.22 ^a	21.23±0.21 ^b	55.22±0.73 ^a	0.332±0.041 ^b
Commercial wheat 2	8.63±0.21 ^a	22.33±0.27 ^b	55.33±0.88 ^a	0.326±0.012 ^b

1) Hard wheat doughs are CMS2, MH5, LP1. 2) Medium wheat doughs are CMF1-CMF5, CMS1, CMR1, LP2-LP5, MH1, MH2, and MH4. 3) Soft wheat doughs are CMS3, CMR2, MH3, LP6. 4) For each type of wheat dough, the superscript with different letters (a, b, c, d) within the same column is significantly different ($p \leq 0.05$) by using LSD test.

การวิเคราะห์รีโอโลยีน้ำแป้งข้าวสาลี

แป้งข้าวสาลีมีองค์ประกอบผสมระหว่างโปรตีนและสตาร์ช ซึ่งปริมาณสตาร์ชมีมากกว่าร้อยละ 76.27 ถึง 83.75 (Table 2) ขึ้นกับปริมาณความผันแปรโปรตีนในแป้งข้าวสาลีนั้น รีโอโลยีของสารละลายน้ำแป้งข้าวสาลีสามารถติดตามได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดัง Figure 2(A) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำแป้งพร้อมการกวนผสม ความหนืดของสารละลายจะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าอุณหภูมิมากกว่า 60°C. เม็ดแป้งจะดูดน้ำและเกิดการพองตัวและความหนืดเพิ่มขึ้นสูงมากจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ที่อุณหภูมิก่อน 95°C. เมื่อคงอุณหภูมิไว้ที่ระดับสูงสุดนี้ เม็ดแป้งที่เกิดเจลสมบูรณ์มีความหนืดลดลงในขณะกวนผสม ความหนืดลดลงจากจุดสูงสุดลงมาที่จุดต่ำสุด (Holding strength) และหากว่าเพิ่มเวลาในการกวนและลดอุณหภูมิให้ต่ำลงมาที่ 50°C. อย่างช้า ๆ ความหนืดของแป้งก็เพิ่มขึ้นอีกครั้ง จนมีความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ที่อุณหภูมิ 50°C. และการกลับคืนตัวของโมเลกุลแป้งจากความหนืด ณ จุดต่ำสุดหลังเกิดเจลและความหนืดสุดท้าย เรียกว่า การคืนตัวของแป้งสาลีในช่วงเวลาสั้น ๆ (Setback viscosity)

ความหนืดของแป้งข้าวสาลีแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบที่มีในแป้ง โดย Figure 2 แสดงสตาร์ชข้าวสาลีบริสุทธิ์ให้เจลที่มีความหนืดมากที่สุด เจลมีความใส ส่วนกลูเตนเกิดเจลได้น้อยกว่าสตาร์ชประมาณ 5 เท่า และให้ความหนืดต่ำที่สุด แป้งสาลีตัวอย่างทางการค้าที่มีปริมาณโปรตีนทั้งหมด ที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเกิดเจลและความหนืดที่ได้แตกต่างกันด้วย โดยแป้งสาลีทางการค้าที่มีปริมาณโปรตีนมากมีแนวโน้มให้เจลแป้งที่มีความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และการคืนตัวของแป้งน้อยกว่าแป้งที่มีโปรตีนต่ำกว่า แนวโน้มนี้พบทั้งในแป้งสาลีทางการค้าและแป้งสาลีพื้นเมือง ลักษณะสีของเจลแป้งของแป้งสาลีตัวอย่างทางการค้ามีสีน้ำตาลของกลูเตน เช่นเดียวกับแป้งสาลีพื้นเมืองที่มีสีน้ำตาลเข้มกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งสาลีพื้นเมืองไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสีแป้ง (Bleaching)

ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งสาลีพื้นเมืองส่วนใหญ่ที่แสดงใน Table 2 ให้เจลแป้งเปียกมีความหนืดปานกลางจำนวน 11 ตัวอย่าง แป้งสาลีพื้นเมืองให้เจลแป้งเปียกมีความหนืดสูง 6 ตัวอย่าง และแป้งสาลีพื้นเมืองให้เจลแป้งเปียกมีความหนืดต่ำ 4 ตัวอย่าง โดยกลุ่มแป้งสาลี

พื้นเมืองที่ให้เจลแข็งเปื่อยกความหนืดปานกลางและกลุ่มแป้งสาลีพื้นเมืองที่ให้เจลแข็งเปื่อยกมีความหนืดต่ำ มีค่าเฉลี่ยปริมาณสตาร์ช ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลงจากจุดสูงสุดลงมาถึงจุดต่ำสุด และความหนืดสุดท้าย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแป้งสาลีทางการค้า ($p>0.05$) ยกเว้นกลุ่มแป้งสาลีพื้นเมืองที่จัดให้เป็นกลุ่มเจลที่มีความหนืดสูง (CMR2, CMS4, CMF2, MH4,

LP2, LP6) พบว่าให้เจลแข็งเปื่อยกที่ไม่มีค่าวิเคราะห์โอโลยี เหมือนกับตัวอย่างทางการค้า เช่น CMR2 มีความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และความหนืดลดลงจากจุดสูงสุดลงมาถึงจุดต่ำสุด เท่ากับ 1250, 1,794 และ 1,430 mPa.s ตามลำดับ ซึ่งมีค่าทั้ง 3 มากกว่าตัวอย่างทางการค้า ส่วน CMF2 มีค่าวิเคราะห์โอโลยีที่ต่ำกว่า ตัวอย่างทางการค้าเช่นกัน

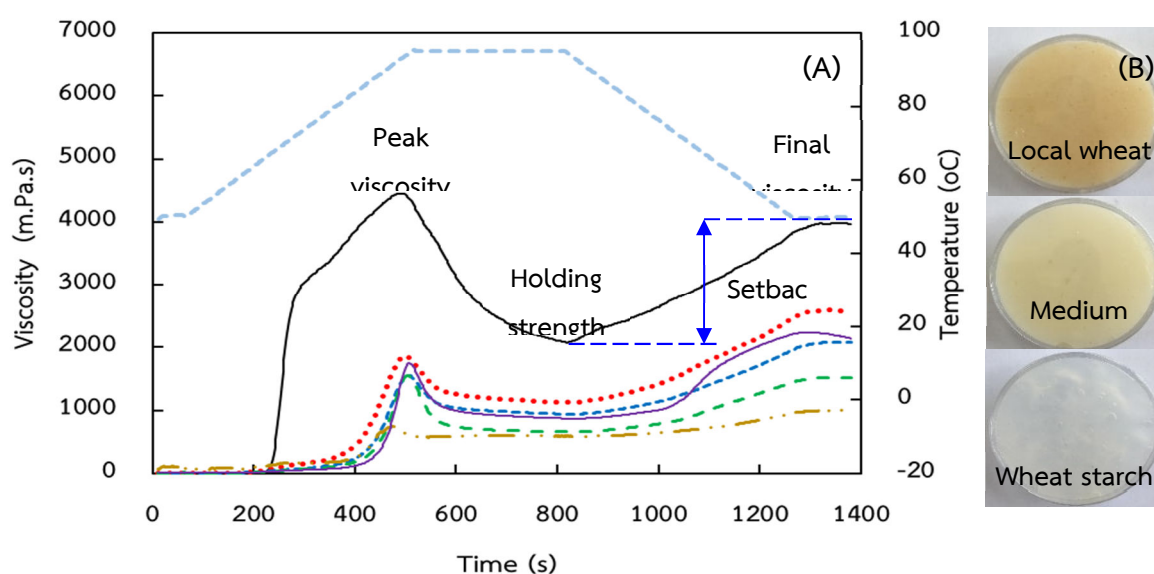


Figure 2 pasting of wheat starch gelatinization arranged successfully upwards, wheat gluten, hard wheat, medium wheat, local wheat, soft wheat, and wheat starch (A), and wheat gel characteristics (B)

Table 2 summary of pasting characteristics obtained from 21 local wheat flour varieties comparison with two samples of commercial wheat flour

Rheological parameter	Starch (%)	Peak viscosity (mPa.s)	Final viscosity (mPa.s)	Setback (mPa.s)
Hard wheat gel (N=6)				
Maximum (CMR2)	77.42±0.56 ^a	1,250±2.45 ^a	1,794±4.66 ^a	1,430±2.16 ^a
Minimum (CMF2)	72.37±0.78 ^d	740±3.26 ^d	1,033±3.15 ^d	686±3.14 ^d
Average	75.89±0.88 ^b	950±1.26 ^c	1,436±5.01 ^c	1,025±4.78 ^b
Commercial wheat 1	73.27±0.45 ^c	1,145±1.63 ^b	1,529±2.63 ^b	861±3.22 ^c
Commercial wheat 2	73.33±0.68 ^c	1,142±2.18 ^b	1,532±3.26 ^b	858±4.10 ^c
Medium-soft wheat gel (N=11)				
Maximum (CMS1)	79.22±0.78 ^a	1,698±2.16 ^a	2,116±4.15 ^a	1,636±2.16 ^a
Minimum (CMS2)	78.16±0.58 ^b	1,576±2.45 ^c	1,165±4.12 ^c	1,033±4.10 ^c
Average	78.56±0.21 ^b	1,640±3.78 ^b	1,532±3.25 ^b	1,266±3.77 ^b
Commercial wheat 1	78.18±0.32 ^b	1,635±4.15 ^b	1,522±5.16 ^b	1,249±2.12 ^b
Commercial wheat 2	78.21±0.77 ^b	1,632±4.12 ^b	1,536±3.41 ^b	1,278±1.08 ^b
Soft wheat gel (N=4)				
Maximum (CMS3)	83.75±0.56 ^a	1,912±4.12 ^a	2,142±4.78 ^a	1,616±2.45 ^a
Minimum (LP5)	79.60±0.42 ^c	1,747±3.16 ^c	1,519±3.24 ^c	1,247±2.36 ^c
Average	82.63±0.23 ^b	1,859±4.15 ^b	2,602±2.44 ^b	1,490±1.48 ^b
Commercial wheat 1	82.85±0.71 ^b	1,866±3.26 ^b	2,595±3.12 ^b	1,485±1.92 ^b
Commercial wheat 2	82.22±0.26 ^b	1,862±5.12 ^b	2,598±4.65 ^b	1,488±2.14 ^b

1) Hard wheat gels are CMR2, CMS4, CMF2, MH4, LP2, LP6. 2) Medium wheat gels are CMF3-CMF5, CMS1, CMS2, LP1, LP3, MH1-MH3, MH5. 3) Soft wheat gels are CMF1, CMR1, CMS3, LP5. 4) For each type of wheat gel samples, the superscript with different letters (a, b, c) within the same column is significantly different ($p \leq 0.05$) using LSD test.

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของแป้งสาลีพื้นเมือง

แป้งสาลีเป็นแป้งที่มีองค์ประกอบเคมีสำคัญ 2 ชนิดรวมกัน คือ โปรตีน และสตาร์ช ดังนั้นคุณสมบัติของแป้งข้าวสาลีจึงเป็นคุณลักษณะผสมระหว่างองค์ประกอบทางเคมีทั้งสอง แม้ว่าโปรตีนและสตาร์ชเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่แต่ด้วยคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและ

รีโอโลยีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การอธิบายคุณลักษณะของแป้งสาลีมีความซับซ้อนทางโครงสร้างเคมี จึงใช้การอธิบายด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อให้เข้าใจภาพรวมของแป้งข้าวสาลีพื้นเมืองนำไปสู่การจัดกลุ่มและเทียบเคียงกับแป้งสาลีทางการค้าได้

โดย Figure 3(A) แสดงถึงองค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบของแป้งข้าวสาลีพื้นเมืองที่มีคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และเจลแป้งเปียกอธิบายด้วยแกน PCA1 คือ องค์ประกอบที่ 1 โปรตีนกลูเตนได้ร้อยละ 46.6 ใช้ อธิบายคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ (Table 1) ส่วนแกน PCA2 คือ องค์ประกอบที่ 2 อธิบายโดยสตาร์ชข้าวสาลี ได้ร้อยละ 29.8 และรีโอโลยีหรือการเกิดเจลแป้งเปียก (Table 2) ได้โดยภาพรวมทั้งสององค์ประกอบอธิบาย

ความสัมพันธ์ได้ร้อยละ 76.4 โดยปัจจัยที่ 1 (หรือ PCA1) ชี้ว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่ให้ผลมากต่อโครงสร้างของ แป้งสาลีเมื่อมีการดูดซึมน้ำเข้าไป โดยส่งผลต่อการอุ้มน้ำ ของกลูเตนเปียกและให้โครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรงสามารถ ต้านต่อแรงกดโดได้ ดังนั้น โปรตีนจึงเป็นองค์ประกอบที่มี ผลต่อโครงสร้างโด โดยเฉพาะกลูเตนที่แข็งแรงมากจึงต้อง ใช้แรงกดก้อนโดมากขึ้น แป้งสาลีที่มีโปรตีนสูงจึงมี โครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรง

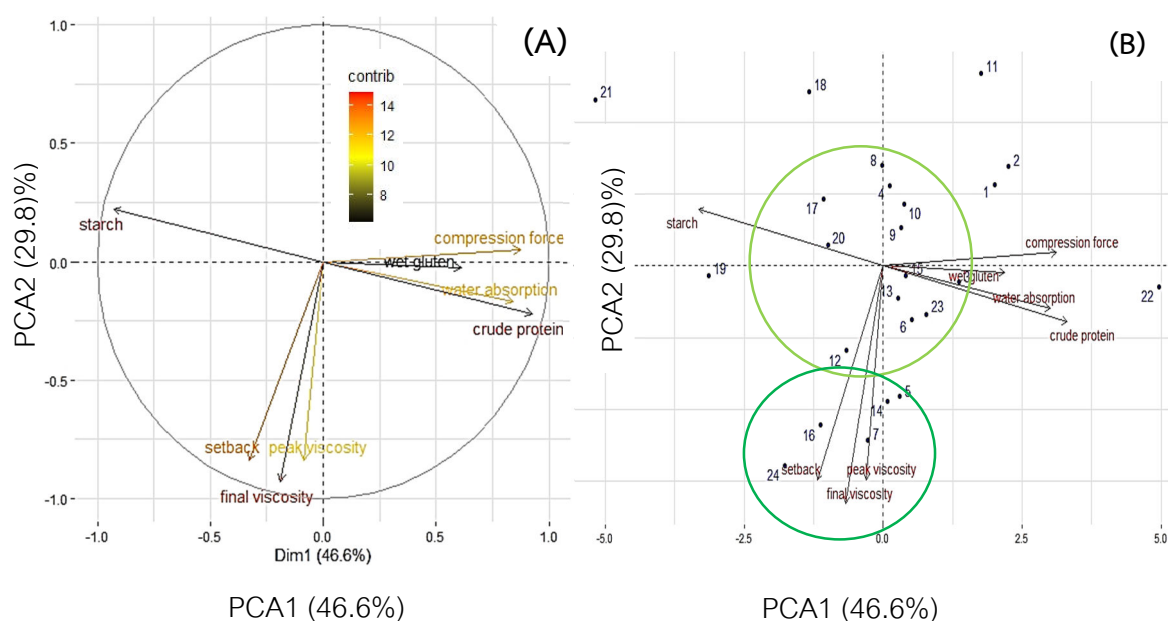


Figure 3 Principal component analysis of physicochemical and pasting characteristics obtained results from 21 local wheat flour varieties showing variance contribution (A) and cluster analysis (B)

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบเคมีที่เกี่ยวข้องน้อยกับการดูดน้ำให้เกิดโดที่อุณหภูมิต่ำ แต่สตาร์ชมีความ เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลแป้งที่แสดงด้วยองค์ประกอบที่ 2 (หรือ PCA2) ว่าสตาร์ชทำให้เกิดความหนืดสุดท้ายของ สารละลายน้ำแป้งเมื่อให้ความร้อนโดยเฉพาะการคืนตัวของเจลแป้งภายหลังให้ความร้อน มุมใน Figure 3(A) โดย PCA ขององค์ประกอบสตาร์ชอยู่ชิดกับองค์ประกอบ Setback ส่วนกลูเตน มีส่วนเกี่ยวข้องในการขัดขวางการ เกิดเจลของแป้งข้าวสาลีส่งผลต่อค่าความหนืดในการเกิด

เจลสูงสุดและความหนืดของเจลสุดท้ายดังพิจารณาได้ จากค่ามุมมอง Crude protein ในกราฟ PCA อยู่ชิดกับ องค์ประกอบความหนืดสูงสุดมากที่สุด แล้วตามด้วย องค์ประกอบความหนืดของเจลตอนสุดท้าย ดังนั้น องค์ประกอบทางรีโอโลยีของน้ำแป้งข้าวสาลีจึงอธิบาย ด้วยองค์ประกอบโปรตีนและสตาร์ชควบคู่กัน

การกระจายของคุณลักษณะโดยรวมพิจารณา ทั้งการเกิดก้อนโดและเจลแป้งเปียกของแป้งข้าวสาลี พื้นเมืองแสดงใน Figure 3(B) พบว่าจัดแบ่งกลุ่มแป้งข้าว

สาธิตพื้นเมืองเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการแสดงคุณลักษณะคล้ายแป้งสาธิตที่มีโปรตีนปานกลาง (หรือแป้งอเนกประสงค์ทางการค้า) มีจำนวนตัวอย่างข้าวสาธิต 11 ตัวอย่าง ได้แก่ CMS2, CMS4, CMF1, CMF3, CMF4, LP2, LP3, LP5, MH1, MH3 และ MH4 และกลุ่มที่มีการแสดงคุณลักษณะคล้ายแป้งสาธิตที่มีโปรตีนต่ำ มีจำนวนตัวอย่างข้าวสาธิต 4 ตัวอย่าง ได้แก่ CMR1, CMS1, LP4 และ MH2 ส่วนแป้งข้าวสาธิตที่มีโปรตีนสูงจากพันธุ์พื้นเมืองนั้นยังไม่มีตัวอย่างใดที่ให้คุณลักษณะทางเคมีกายภาพหรือรีโอโลยีใกล้เคียงกับแป้งข้าวสาธิตโปรตีนสูงทางการค้า

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและรีโอโลยีของแป้งข้าวสาธิตพันธุ์พื้นเมืองในภาคเหนือประเทศไทย จำนวน 21 ตัวอย่าง พบว่าองค์ประกอบเคมี 2 องค์ประกอบ คือ โปรตีนกลูเตน และสตาร์ชข้าวสาธิตมีผลต่อคุณลักษณะเคมีกายภาพ โดยกลูเตนเป็นโปรตีนหนึ่งในข้าวสาธิตที่สำคัญต่อการเกิดโครงสร้างของก้อนแป้งที่ทนต่อน้ำ มีลักษณะยืดหยุ่น เหนียว เก็บรักษาได้ดี ซึ่งเป็นโปรตีนที่เฉพาะแป้งสาธิต (Ortolan and Steel, 2017; Veraverbeke and Declercq, 2002) แม้รายงานวิจัยของ Ferrari *et al.* (2014) รายงานว่า กลูเตนในแป้งสาธิตอาจไม่ได้แปรผันตรงกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด ดังนั้น การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งสาธิตจึงควรรายงานกลูเตนและปริมาณโปรตีนควบคู่ ในทางอุตสาหกรรมอาหารไทยมักใช้โปรตีนทั้งหมดเป็นเกณฑ์การจัดคุณภาพและการนำแป้งสาธิตไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปกำหนดปริมาณโปรตีนทั้งหมดไว้ในช่วง ร้อยละ 10.5-13 เหมาะสมกับการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ

การเกิดเจลแข็งเปี้ยวของแป้งข้าวสาธิตเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบสตาร์ชแป้งที่เกิดเจลได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยการเกิดเจลแป้งสาธิตนั้นตามธรรมชาติมีกลูเตนผสม

อยู่ด้วยทำให้เจลแข็งที่ได้มีความหนืดแตกต่างกันไป เพราะกลูเตนมีผลต่อการเกิดเจลแข็งข้าวสาธิต เมื่อเพิ่มปริมาณกลูเตนลงในสตาร์ชแป้งร้อยละ 2 ส่งผลให้ค่ารีโอโลยี ได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของแป้งลดลง (Chen *et al.*, 2010) โดยปริมาณกลูเตนแห้ง (Dry gluten) ในข้าวสาธิตพันธุ์พื้นเมืองมีค่าในช่วงร้อยละ 2.43-11.42 หากค่ากลูเตนแห้งมากกว่าร้อยละ 18 จะเกิดการแยกชั้นระหว่างสตาร์ชและโปรตีน

เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทำให้ทราบว่ากลูเตนและสตาร์ชต่างมีบทบาทในการกำหนดคุณลักษณะของแป้งข้าวสาธิต องค์ประกอบทั้งสองผสมกันมีผลต่อคุณภาพแป้งสาธิต องค์ประกอบโปรตีนกลูเตนเป็นหลักกำหนดคุณลักษณะรีโอโลยีและสตาร์ชเป็นองค์ประกอบรองที่กำหนดความหนืดของเจลในระหว่างให้ความร้อน Ferrari *et al.* (2014) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักวิเคราะห์คุณภาพของโดแป้งข้าวสาธิตจำนวน 59 พันธุ์ พบว่าการวัดการยืดของแป้งโดสัมพันธ์กับการทดสอบการอบแป้งสาธิต (Baking) และใช้หลักการนี้ในการจัดประเภทตามความแข็งแรงของโดได้ดีในโดที่เนื้อแน่นและโดเนื้อเบา (โปรตีนสูงและโปรตีนน้อย)

การวิเคราะห์คุณภาพแป้งข้าวสาธิตพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกใน 3 จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน และแม่ฮ่องสอน พบว่าคุณภาพแป้งข้าวสาธิตที่ได้ เปรียบเทียบค่าปริมาณโปรตีน ค่ากลูเตนเปียก ค่าปริมาณสตาร์ช และค่าความหนืดสูงสุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยโปรตีนในแป้งข้าวสาธิตพันธุ์พื้นเมืองที่ร้อยละ 9.42 ค่ากลูเตนเปียก ร้อยละ 25.15 ค่าปริมาณสตาร์ชร้อยละ 79.63 และค่าความหนืดสูงสุด 1,273.37 mPa.s ทั้งเป็นเพราะสายพันธุ์ข้าวสาธิตที่ศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือ ได้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวสาธิตพื้นเมืองมาหลายรุ่นให้มีการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศหนาวและการปลูกบนพื้นที่สูงได้ดี แม้ว่าปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของทั้ง 21 สายพันธุ์ต่ำกว่ามาตรฐานแป้งสาธิตโปรตีนปานกลางร้อยละ 10 ดังนั้นการคัดเลือกบางสายพันธุ์ที่ให้แป้งสาธิตคุณภาพทาง

รีโอโลยีใกล้เคียงกับแป้งสาลีทางการค้า เช่น CMS1 ให้โปรตีนร้อยละ 9.86 และ MH2 ให้โปรตีนร้อยละ 10.11 ไปส่งเสริมการปลูกและใช้ประโยชน์ในพื้นที่สูงภาคเหนือ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ข้าวสาลีเป็นแหล่งอาหารสำรองที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่สูงปลูกเพื่อสร้างรายได้หลังการทำนา การวิจัยองค์ประกอบเคมีโปรตีนกลูเตนมีผลต่อการอมน้ำและโครงสร้างของก้อนโด กลูเตนยังมีผลต่อการเกิดเจลแป้งข้าวสาลีที่ให้ความร้อน แป้งข้าวสาลีพันธุ์พื้นเมืองมีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ มีโปรตีนในระดับปานกลาง ส่งผลให้เกิดเจลแป้งที่มีความหนืดปานกลางและความหนืดต่ำ ผลวิเคราะห์เคมีกายภาพของแป้งข้าวสาลีพันธุ์พื้นเมืองปลูกในภาคเหนือ ประเทศไทย 3 จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน และแม่ฮ่องสอน จำนวน 21 สายพันธุ์ พบว่าทั้ง 3 จังหวัดมีผลผลิตข้าวสาลีที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับข้าวสาลีทางการค้าที่มีโปรตีนปานกลาง ดังนี้ เชียงใหม่ 5 สายพันธุ์ (CMS2, CMS4, CMF1, CMF3 และ CMF4) ลำพูน และแม่ฮ่องสอนจังหวัดละ 3 สายพันธุ์ (LP2, LP3, LP5, MH1, MH3 และ MH4) โดยค่าเคมีกายภาพ เช่น โปรตีนหยาบในช่วงร้อยละ 9.28-10.34 กลูเตนเปียกในช่วงร้อยละ 23.24-35.17 สตาร์ชในช่วงร้อยละ 78.16-79.22 และค่ารีโอโลยี เช่น ความหนืดสูงสุด 1,165-2,116 mPa.s เช่นเดียวทั้ง 3 จังหวัด มีผลผลิตข้าวสาลีที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับข้าวสาลีทางการค้าที่มีโปรตีนต่ำ ดังนี้ เชียงใหม่ 2 สายพันธุ์ (CMR1 และ CMS1) ลำพูนและแม่ฮ่องสอนจังหวัดละ 1 สายพันธุ์ (LP4 และ MH2) โดยค่าเคมีกายภาพ เช่น โปรตีนหยาบในช่วงร้อยละ 4.75-8.91 กลูเตนเปียกในช่วงร้อยละ 12.33-30.70 สตาร์ชในช่วงร้อยละ 79.60-83.75 และค่ารีโอโลยี เช่น ความหนืดสูงสุด 1,747-1,912 m Pa.s ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแป้งสาลีทางการค้าทั้ง 2 ตัวอย่าง ($p>0.05$) ข้อมูลพื้นฐานจากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำ

แป้งข้าวสาลีพื้นเมืองไปใช้ในแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร เพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบเกษตรในท้องถิ่น การวิจัยปรับปรุงพันธุ์ข้าวสาลีโดยเฉพาะสายพันธุ์พื้นเมืองที่ให้โปรตีนสูงมากกว่าร้อยละ 13 ยังไม่พบในการศึกษาครั้งนี้ ควรมีการศึกษาปัจจัยในการเพิ่มไนโตรเจนของข้าวสาลีพื้นเมืองในแปลงเกษตร เช่น การให้น้ำ การปรับปรุงดิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2563 เรื่อง การศึกษาลักษณะทางพืชไร่ ศักยภาพการให้ผลผลิต และคุณภาพข้าวสาลีพันธุ์ดีเด่น ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- Balet, S., A. Guelpa, G. Fox and M. Manley. 2019. Rapid Visco Analyzer (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: a review. *Food Analytical Methods* 12: 2344-2360.
- Causgrove, P. 2004a. *AACC Method 38-12A, Wet Gluten, Dry Gluten, Water-binding Capacity and Gluten Index in Wheat and Flour Testing Methods*. Minnesota: Cereals & Grains Association. 6 p.
- _____. 2004b. *AACC Method 44-15A, Moisture-air Oven Methods in Wheat and Flour Testing Methods*. Minnesota: Cereals & Grains Association. 4 p.

- Chammek, C., P. Sawangsak and O. Naivikul.
1998. Quality of various triticale varieties grown in Thailand. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 22(3): 193-199. [in Thai]
- Chen, J., Z. Deng, P. Wu, J. Tian and Q. Xie.
2010. Effect of gluten on pasting properties of wheat starch. **Agricultural Science in China** 9(12): 1836-1844.
- Ferrari, M.C., M.T.P.S. Clerici and Y.K. Chang.
2014. A comparative study among methods used for wheat flour analysis and for measurements of gluten properties using the Wheat Gluten Quality Analyser (WGQA). **Food Science and Technology Campinas** 34(2): 235-242.
- Komchadluck. 2017. **Growing wheat on a high land**. [Online]. Available <https://www.komchadluek.net/news/agricultural/255731> (November 8, 2022). [in Thai]
- Ortolan, F. and C.J. Steel. 2017. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: a review. **Compressive Reviews in Food Science and Food Safety**. 16(3): 369-381.
- Statista. 2022. **Wheat consumption worldwide in 2020/2021**. [Online]. Available <https://www.statista.com/statistics/10940> (May 18, 2021).
- Thai Industrial Standards Institute. 1981. **Industrial Standards of All-purpose Wheat Flour**. Bangkok: Ministry of Industry. 5 p. [in Thai]
- Veraverbeke, W.S. and J.A. Declcour. 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. **Critical Review in Food Science and Nutrition** 42(3): 179-208.
- Wessa, P. 2017. **Hierarchical clustering (v1.0.5) in free statistics software (v1.2.1), office for research Development and Education**. [Online]. Available https://www.wessa.net/rwasp_hierarchicalcl (November 8, 2022).