



อิทธิพลของการไม่ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วาฟเฟิลกรอบปลอดกลูเตน

Influence of milling methods on physicochemical properties of Thai rice flour (Riceberry) and its application for gluten free crispy waffle

คันสนีย์ อุดมระติ^{1*} พชร ตั้งตระกูล¹ และ งามจิตร โลวิทุร²

¹ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

²ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

*Corresponding Author, E-mail: ifrsnu@ku.ac.th

Received: 23 April 2018 | Revised: 20 August 2018 | Accepted: 4 October 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการไม่แห้ง และไม่ผสมต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วาฟเฟิลกรอบปลอดกลูเตน จากการทดลองพบว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แห้งมีปริมาณโปรตีน สตาร์ชเสียหาย (damaged starch) และดัชนีการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งไม่ผสม แป้งไม่แห้งและไม่ผสมมีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกัน ในขณะที่แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสมมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าแป้งไม่แห้ง และเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าแป้งไม่ผสมประกอบด้วยอนุภาคใยอาหารหรือไฟเบอร์ (fiber) จากเยื่อหุ้มเมล็ดขนาดใหญ่ปะปนอยู่กับอนุภาคเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความหนืดพบว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แห้งมีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด ความหนืดสุดท้าย และเขตแบบคสูงกว่าแป้งไม่ผสม ในขณะที่ค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดลดลงมีค่าต่ำกว่าแป้งไม่ผสม แป้งไม่ผสมใช้พลังงานในการเกิดเจลที่ในเซชันสูงกว่าแป้งไม่แห้งและเกิดเจลที่ในเซชันที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งไม่แห้งเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเจลแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน พบว่าเจลแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่จากการไม่ทั้งสองวิธีเกิดรีโทรเกรเดชันแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในด้านเนื้อสัมผัสเจลแป้งข้าวไม่แห้งมีความแข็งและความเหนียวสูงกว่าแป้งไม่ผสม และเมื่อใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่แทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์วาฟเฟิลกรอบปลอดกลูเตน พบว่าแป้งไม่ผสมเป็นแป้งที่เหมาะสมในการทำวาฟเฟิลกรอบปลอดกลูเตนเนื่องจากให้เนื้อสัมผัสคล้ายวาฟเฟิลกรอบที่ทำจากแป้งสาลี

ABSTRACT

The objectives of this research are to study the effect of milling methods (dry milling and semi-dry milling) on components and physicochemical properties of rice flour (Riceberry) and to utilize Riceberry flour in gluten free crispy waffle recipe, replacing wheat flour. Dry-milled riceberry flour contained higher protein content, damaged starch (%) and water absorption index (WAI), compared to semi-dry milling. There was no difference in amylose content of both milled samples. The larger average particle size was found in semi-dry-milled sample, which contained the large particle of fiber and small particle of starch granules as observed by microscope. For

pasting properties, pasting temperature, final viscosity, and setback of dry-milled riceberry flour showed the higher values than those of semi-dry-milled sample, while the values of peak viscosity and breakdown of dry-milled flour were lower values than semi-dry-milled flour. In terms of gelatinization and retrogradation, semi-dry-milled riceberry flour consumed larger energy for gelatinization (ΔH_{gel}) and showed lower temperatures of gelatinization ($T_{o_{gel}}$, $T_{p_{gel}}$, and $T_{c_{gel}}$), compared to dry-milled flour. There were small differences in energy (ΔH_{retro}) and temperatures ($T_{o_{retro}}$, $T_{p_{retro}}$, and $T_{c_{retro}}$) of retrogradation of both milled riceberry flour gels after stored at refrigerated temperature for 7 days. The lower hardness and stickiness values of semi-dry-milled riceberry gel were observed. For utilization, semi-dry-milled riceberry flour may be more suitable ingredient in gluten free crispy waffle, compared to dry-milled rice flour and has potential to replace wheat flour, in term of texture.

คำสำคัญ: แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ การโม่ สมบัติทางเคมีและกายภาพ

Keywords: Riceberry flour, Milling, Physicochemical properties

บทนำ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวเจ้าที่ได้รับการพัฒนาพันธุ์ โดยการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวหอมมะลิ) จากสถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) มีการปลูกอย่างแพร่หลาย ลักษณะเด่นของข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ เยื่อหุ้มเมล็ดมีสีม่วงดำ มีกลิ่นหอม และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (β -carotene) 63 ไมโครกรัม/100กรัม แกมมาโอไรซานอล (γ -oryzanol) 462 ไมโครกรัม/100กรัม สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol compounds) 113.5 มิลลิกรัม/100 กรัม วิตามินอี (α -tocopherol) 678 ไมโครกรัม/100กรัม และมีโฟเลต (folate) สูง 48.1 ไมโครกรัม/100 กรัม (พรัตน์ และคณะ, 2560) ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีส่วนช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ลดการอักเสบ ลดระดับไขมันในเลือด และลดโคเรสเตอรอล เมื่อนำมาหุงสุกมีกลิ่นหอม และให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่มเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ข้าวไรซ์เบอร์รียังมีใยอาหารสูงเมื่อเทียบกับข้าวเจ้าขัดขาวทั่วไป ถ้านำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มาผ่านกระบวนการขัดสีจะได้เมล็ดข้าวที่มีสีขาวเนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีรงควัตถุได้ถูกขัดสีออกไป ทำให้สูญเสียวิตามิน แร่ธาตุ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และใยอาหาร โปรตีนในข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดการแพ้ จึงสามารถนำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหารปลอดกลูเตน ซึ่งในปัจจุบันกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ตลาดของผลิตภัณฑ์

ปลอดกลูเตนเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยผลิตภัณฑ์อาหารปลอดกลูเตนที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้าเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค

ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคและมีการขายอย่างแพร่หลาย ในการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ทำได้โดยนำข้าวเปลือกไรซ์เบอร์รี่มาผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือก ซึ่งจะได้ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เต็มเมล็ดสามารถขายได้ราคาดี และข้าวหักหรือข้าวท่อน (ข้าวไม่เต็มเมล็ด) ขายได้ในราคาต่ำมากประมาณ 8 บาท/กิโลกรัม ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพิ่มมูลค่าข้าวท่อนไรซ์เบอร์รี่โดยการนำมาแปรรูปเป็นแป้งข้าว จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่นนำไปเป็นส่วนประกอบในอาหารคาวหวาน โดยศึกษาผลของวิธีการโม่ต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อใช้เป็นองค์ความรู้ในการเลือกใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสตามที่ต้องการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การโม่แป้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ โม่แห้ง (dry milling) โม่น้ำหรือโม่เปียก (wet milling) และโม่ผสม (semi-dry-milling) (1) โม่แห้ง เป็นการนำข้าวที่ผ่านการทำความสะอาดแบบแห้งแล้วเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งเป็นแป้งผงแบ่งที่ได้จากการโม่แห้งเป็นผงแบ่งค่อนข้างหยาบ ข้อดีของวิธีการนี้คือเกิดของเสียน้อย (2) โม่เปียก เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตแป้งข้าวโดยเฉพาะในประเทศไทยและทวีปเอเชีย แป้งที่ได้มีความ

ละเอียดและมีสิ่งเจือปนน้อย ข้อเสียของวิธีการนี้คือทำให้เกิดน้ำเสียมาก และ (3) ไม่ผสม เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีการไม่เปียก และการไม่แห้ง คือมีการปรับปริมาณน้ำในข้าวให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 25 ก่อนจะนำมาเข้าเครื่องบดและทำให้แห้งเนื่องจากรงควัตถุ (pigments) ในข้าวที่มีสีเป็นสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ แอนโทไซยานิน (สีม่วง และสีน้ำเงิน) โปรแอนโทไซยานิน (สีแดง) และ แครโทีนอยด์ (สีเหลือง) (Kraithong et al., 2018) วิธีการไม่เปียกเป็นวิธีที่มีการใช้น้ำปริมาณมากจึงไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เนื่องจากทำให้สูญเสียรงควัตถุและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ละลายน้ำไปกับน้ำทิ้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีไม่แห้งและไม่ผสมในการผลิตแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ การไม่แห้งและไม่ผสมเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากจึงง่ายต่อการนำไปผลิตและขยายกำลังผลิตในระดับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กลุ่มแม่บ้าน และวิสาหกิจชุมชนกลุ่มชาวนาผู้ปลูกข้าว เป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชน อีกทั้งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดน้ำทิ้งไม่มากการจัดการน้ำทิ้งจึงไม่ยุ่งยากนัก

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาผลของวิธีการไม่แห้งและไม่ผสมต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และการนำแป้งข้าวไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างฟิล์มกรอบปลอดกลูเตน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ที่เก็บเกี่ยวในปีพ.ศ. 2559 เมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความชื้น 9.50% (ฐานเปียก)

1. วิธีการเตรียมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.1. วิธีไม่แห้ง ไม่ข้าว 5 กิโลกรัม ด้วยเครื่อง pin mill (Alpine 160Z, Augsburg, Germany) ประกอบด้วยจานบดตัวอย่างจำนวน 2 แผ่น แต่ละแผ่นมีจำนวนเข็ม 600 อัน วางประกบกันและหมุนด้วยความเร็วรอบ 5,800 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในไม่ตัวอย่างข้าว 5 กิโลกรัมประมาณ 30 นาที นำแป้งที่ได้บรรจุในถุงปิดสนิทก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

1.2. วิธีไม่ผสม ชั่งข้าว 5 กิโลกรัม เมล็ดข้าวมีความชื้นเริ่มต้น 9.50% (ฐานเปียก) ล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนแช่ข้าวในน้ำ 20 นาที ทำให้สะเด็ดน้ำ ชั่งน้ำหนักข้าวหลังสะเด็ดน้ำเพื่อใช้คำนวณปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวหลังสะเด็ดน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องเติมในการปรับความชื้นของเมล็ดข้าว

ให้มีความชื้นก่อนไม่ผสมประมาณ 30% โดยปริมาณน้ำหลังสะเด็ดน้ำและปริมาณน้ำที่เติมมีปริมาณรวมเท่ากับ 1.03 กิโลกรัม ความชื้นของข้าวหลังปรับความชื้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 30.30 (ฐานเปียก) นำไปบดไม่ด้วยเครื่องไม่ supper powder mill (SPM-R200, Nishimura powder engineering Co., LTD., Japan) อบแป้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสประมาณ 4 ชั่วโมง เก็บแบ่งในถุงปิดสนิท

ในการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพใช้แป้งที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ส่วนการวิเคราะห์ขนาด ลักษณะอนุภาคของแป้ง เนื้อสัมผัส และการทำวาล์ฟฟิล์มกรอบใช้แป้งที่ไม่ผ่านการร่อน

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

- 2.1. ความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000)
- 2.2. ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)
- 2.3. ปริมาณโปรตีน คัดแปลงจากวิธีของ AACC (2000)

3. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าว

3.1. ค่าสี ตรวจวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Datacolor international) ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L^* a^* และ b^*

L^* ความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยที่ค่า 0 แสดงถึงความสว่างน้อย และ ค่า 100 แสดงถึงความสว่างมาก

a^* แสดงถึงสีเขียวและสีแดง โดยที่ $-a^*$ แสดงถึงสีเขียว และ $+a^*$ แสดงถึงสีแดง

b^* แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลือง โดยที่ $-b^*$ แสดงถึงสีน้ำเงิน และ $+b^*$ แสดงถึงสีเหลือง

3.2. ขนาดอนุภาค (particle size) ของแป้ง ตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser diffraction particle size analyzer (Master-sizer 2000, Malvern instruments, UK.)

3.3. สตาร์ชเสียหาย (starch damage) ใช้ชุดตรวจวิเคราะห์ starch damage assay kit (Megazyme, USA)

3.4. ดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index: WAI) ชั่งแป้งข้าว 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่ทราบน้ำหนักเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร คนผสมทุกๆ 5 นาที ด้วยแท่งแก้ว เป็นเวลา 30 นาที ฉีดล้างส่วนที่ติดบนแท่งแก้วคนด้วยน้ำกลั่น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที เทส่วนใสด้านบนทิ้ง นำหลอดทดลองที่มีตะกอนด้านล่างไปชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าการดูดซับน้ำดังสมการ (1)

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน}}{\text{น้ำหนักแป้ง}} \quad (1)$$

3.5. สมบัติด้านความหนืด เตรียมแป้งที่มีความเข้มข้น 9.5% เพื่อวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA 4, Newport, Australia) ตามวิธีการของ AACC (2000) เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (Trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) และค่าเซตแบค (setback)

3.6. เจลาทีไนเซชัน (การสุก) และรีโทรเกรเดชัน (การคืนตัว) ของแป้ง ตรวจสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter: DSC) (Diamond, Perkin-Elmer, Norwalk, USA) ซึ่งแป้งในถ้วยใส่ตัวอย่างอะลูมิเนียม (aluminium) และเติมน้ำกลั่นด้วยไซริงค์ (microsyringe) ให้มีอัตราส่วนแป้งต่อน้ำโดยน้ำหนักเท่ากับ 30:70 ปิดฝาให้สนิท และวางตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเกิดเจลาทีไนเซชันด้วยเครื่อง DSC ใช้ถ้วยใส่ตัวอย่างอะลูมิเนียมเปล่าเป็นตัวอ้างอิง และกำหนดอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 ถึง 95 องศาเซลเซียส โดยอัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที วิเคราะห์การเกิดเจลาทีไนเซชัน จากอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, $T_{o_{gel}}$) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature, $T_{p_{gel}}$) อุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature, $T_{c_{gel}}$) และพลังงานในการเกิดเจลาทีไนเซชัน (ΔH_{gel}) จากนั้นนำถ้วยที่เก็บตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เพื่อวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชันด้วยเครื่อง DSC โดยการให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 95 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที วิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชัน จากอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, $T_{o_{retro}}$) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature, $T_{p_{retro}}$) อุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature, $T_{c_{retro}}$) และพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกรีโทรเกรด (enthalpy, ΔH_{retro})

3.7. เนื้อสัมผัสของเจลแป้ง เตรียมแป้งที่มีความเข้มข้น 17% (w/w) กวนน้ำแป้งด้วยเครื่องกวนใบพัด (IKA-Labortechnik, RW 20 DZM, Germany) ที่ความเร็ว 250

รอบ/นาที ในอ่างน้ำเดือด จนอุณหภูมิแป้งสูงถึง 85 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 5 นาที เทแป้งที่ชั้นหนืดลงในภาชนะอะลูมิเนียม นำไปนึ่งในหม้อนึ่งน้ำเดือดนาน 25 นาที ทั้งให้เจลแป้งเย็นตัวที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 ชั่วโมง นำเจลแป้งไปตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Stable micro system, TA-XT2i, UK) ทดสอบการกด (compression) โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สภาวะในการทดสอบแสดงดังต่อไปนี้ Pre-Test Speed, Test Speed และ Post-Test Speed เท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร/วินาที ระยะหัววัดตกลงในตัวอย่างเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

4. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคแป้ง

ใช้สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.2% (w/w) ย้อมสีเม็ดแป้ง เพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างอนุภาคเม็ดแป้งและอนุภาคไฟเบอร์ได้อย่างชัดเจน ส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 20 เท่า

5. การประยุกต์ใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในผลิตภัณฑ์วaffleกรอบปลอดกลูเตน

นำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ทั้ง 2 วิธี ทดแทนการใช้แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์วaffleกรอบ สูตรและวิธีการทำวaffleกรอบ แป้งข้าว 55 กรัม ไข่ไก่ 2 ฟอง น้ำตาลทราย 40 กรัม และเนยละลาย 50 กรัม ผสมเข้ากับน้ำตาลลงไปอ่างผสมตีให้เข้ากันจนน้ำตาลละลาย ใส่เนยละลายคนผสม จากนั้นใส่แป้งผสมให้เข้ากัน จนเป็นเนื้อครีมเหลว (batter) เทส่วนผสมเหลวลงเครื่องทำวaffleกรอบ (Severin, SEV-2082, Germany) ให้ความร้อนระดับปานกลาง (เบอร์ 2) นาน 3-4 นาที รายงานลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัส

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 2 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีและกายภาพของ แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ด้วยวิธีต่างๆ

แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่แห้ง และโม่ผสมมีความชื้นอยู่ในช่วง 9-12% (ตารางที่ 1) แป้งข้าวควรมีความชื้นต่ำกว่า 13% เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ (มาตรฐานอุตสาหกรรม, 2529) ส่วนปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ทั้งสองวิธีมีค่าประมาณ 17% จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เมื่อหุงสุกมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหนียว (งามชื่น, 2541) Juliano (1992) แบ่งข้าวออกเป็น 5 กลุ่มตามระดับแอมิโลสดังนี้ (1) ข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 0-2 (2) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสดำร่อยละ 5-12 (3) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสดำร่อยละ 13-20 (4) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางร้อยละ 20-25 และ (5) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงร้อยละ 25-33 จากการทดลองพบว่าปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แห้งและโม่ผสมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนประมาณ 8% โดยปริมาณโปรตีนของแป้งโม่ผสมมีค่าต่ำกว่าแป้งที่ผ่านการโม่แห้ง สอดคล้องกับการทดลองของ Asmeda et al. (2015) อาจเป็นเพราะโปรตีนบางส่วนและ/หรือรำที่ติดมากับข้าวถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการล้างและแช่ข้าวของการโม่ผสม แป้งโม่แห้งมีปริมาณสารซเสียหามากกว่าแป้งโม่ผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการโม่แห้ง เมล็ดข้าวมีความแข็งเมื่อถูกบดด้วยแรงกลด้วยเครื่องโม่ pin mill เม็ดสตาร์ชถูกทำลายเกิดความเสียหายมากกว่า ในขณะที่การโม่ผสมมีการปรับความชื้นของเมล็ดข้าวเป็น 30% ก่อนการโม่ทำให้เมล็ดข้าวนิ่ม จึงง่ายต่อการบดเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เม็ดสตาร์ชจึงเกิดความเสียหายน้อย

รงควัตถุในข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้แก่ แอนโทไซยานิน (สีม่วงและสีน้ำเงิน) โพรแอนโทไซยานิน (สีแดง) และ แคโรทีนอยด์ (สีเหลือง) จากการทดลองพบว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แห้งมีค่า L^* และ a^* (สีแดง) ต่ำกว่าแป้งโม่ผสม ในขณะที่มีค่า b^* (สีเหลือง) สูงกว่าแป้งโม่ผสม (ตารางที่ 2) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในระหว่างการโม่แห้งเกิดความร้อนสูงรงควัตถุบางส่วนอาจถูกทำลายจึงทำให้ค่า a^* (สีแดง) ลดลง และความร้อนในระหว่างการโม่แห้งอาจช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่มีเอนไซม์

เกี่ยวข้อง (enzymatic browning) และไม่เกี่ยวข้องกับการเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เกิดเป็นสีน้ำตาลคล้ำจึงทำให้ค่า b^* (สีเหลือง) เพิ่มขึ้น และค่า L^* ลดลง แป้งโม่ผสมมีลักษณะปรากฏที่ดี คือมีสีม่วงสว่างไม่คล้ำ เนื่องจากในระหว่างการโม่เกิดความร้อนน้อย ดังนั้นรงควัตถุและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอาจถูกทำลายหรือสูญเสียน้อยกว่าการโม่แห้ง

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser diffraction particle size analyzer เป็นค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคเม็ดแป้งและอนุภาคกากใยหรือไฟเบอร์ (fiber) จากเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว โดยแป้งโม่ผสมมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าแป้งโม่แห้ง อาจเป็นเพราะวิธีการโม่ผสมมีการแช่ข้าวระยะเวลาล้นๆและปรับความชื้นของเมล็ดข้าวให้มีความชื้นประมาณ 30% ทำให้ไฟเบอร์ของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกลิ้งไรซ์เบอร์รี่นิ่มและเหนียว เครื่องโม่ผสมแบบ super powder mill ไม่สามารถทำให้ไฟเบอร์เหล่านี้เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากได้ ดังนั้นแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่โม่ผสมจึงมีอนุภาคขนาดใหญ่ของไฟเบอร์ปะปนอยู่ จากเส้นกราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาคขนาดต่างๆในแป้งข้าวโม่ผสมแสดงลักษณะมีสองพีก (รูปที่ 1) โดยอนุภาคของพีกที่หนึ่งมีขนาดเล็กอยู่ในช่วงประมาณ 8-200 μm ซึ่งน่าจะเป็นอนุภาคของเม็ดแป้ง ส่วนพีกที่สองเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (~200-4000 μm) น่าจะเป็นอนุภาคของไฟเบอร์ สามารถยืนยันได้จากภาพจากกล้องจุลทรรศน์ที่แสดงให้เห็นว่าแป้งโม่ผสมประกอบด้วยอนุภาคไฟเบอร์ขนาดใหญ่และอนุภาคเม็ดแป้งขนาดเล็ก (รูปที่ 2a และ 2b) โดยอนุภาคของเม็ดแป้งติดสีน้ำเงินเข้มเนื่องจากถูกย้อมด้วยสารละลายไอโอดีน ส่วนอนุภาคไฟเบอร์ไม่ติดสีน้ำเงิน (รูปที่ 2a) และอนุภาคไฟเบอร์มีสีแดงเมื่อใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำให้แป้งกระจายตัว (รูปที่ 2b) ลักษณะพื้นฐานของอนุภาคเม็ดแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคเม็ดแป้งของแป้งโม่แห้งมีขนาดใหญ่ซึ่งเกิดจากการที่เม็ดแป้งเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งการโม่แห้งมีข้อจำกัดเรื่องอนุภาคเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ (Gomez et al., 2010) ส่วนอนุภาคเม็ดแป้งของแป้งโม่ผสมมีขนาดเล็กกระจายตัวจำนวนมาก (รูปที่ 2a) เนื่องจากการโม่ผสมมีการนำเมล็ดข้าวแช่น้ำและปรับความชื้นเป็น 30% ก่อนนำไปโม่ เมล็ดข้าวจึงมีลักษณะนิ่มทำให้ถูกโม่เป็นอนุภาคขนาดเล็กได้ง่าย โดยขนาดอนุภาคของแป้งเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยผลของวิธีการโม่

แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของอาหาร แสดงรายละเอียดในหัวข้อ (2) “การประยุกต์ใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในผลิตภัณฑ์วaffleเฟลกรอบปลอดกลูเตน” (รูปที่ 5) Murakami et al. (2015) ได้ศึกษาผลของอนุภาคแป้งข้าวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง พบว่าขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวที่มีขนาดอนุภาค 75-106 ไมครอน มีโพรงอากาศในเนื้อขนมปังมากกว่า ทำให้ขนมปังที่ได้ขึ้นฟูและมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวที่มีขนาดอนุภาค 106-150, 45-75 และ น้อยกว่า 45 ไมครอน จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่

ผ่านการไม่แห้ง และไม่ผสมมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำอยู่ในช่วงค่า 13-14 โดยที่แป้งไม่แห้งมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำสูงกว่าไม่ผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อาจเนื่องมาจากแป้งไม่แห้งมีปริมาณสตาร์ชเสียหายและปริมาณโปรตีนสูงกว่าไม่ผสม (ตารางที่ 1) โดยน้ำสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้มากขึ้นในบริเวณที่เม็ดแป้งเกิดการเสียหาย ส่วนโปรตีนเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic groups) จึงมีความสามารถในการช่วยอุ้มน้ำ (Hsu et al., 2015)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและสตาร์ชเสียหายของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่างๆ

ตัวอย่าง	ความชื้น (%) (ฐานเปียก)	แอมิโลส (%) (ฐานแห้ง)	โปรตีน (%) (ฐานแห้ง)	สตาร์ชเสียหาย (%) (ฐานแห้ง)
แป้งไม่แห้ง	9.11 ^b ± 0.29	17.24 ^a ± 0.29	8.45 ^a ± 0.05	4.21 ^a ± 0.03
แป้งไม่ผสม	11.45 ^a ± 0.28	17.10 ^a ± 0.30	8.11 ^b ± 0.11	1.86 ^b ± 0.06

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2 ค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่างๆ

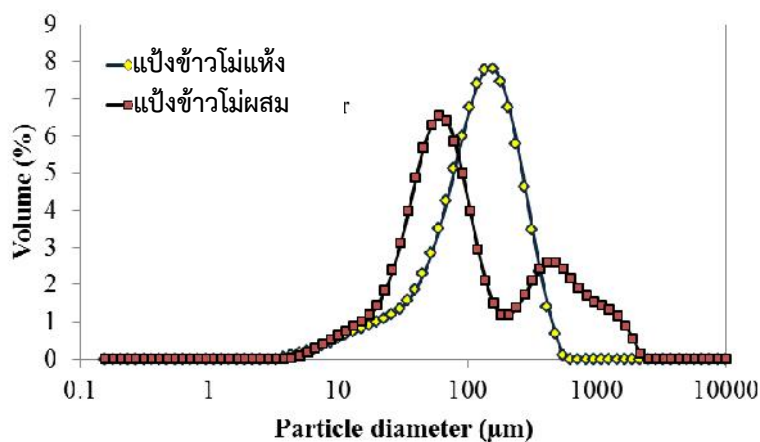
ตัวอย่าง	L*	a*	b*
แป้งไม่แห้ง	68.63 ^b ± 0.21	2.61 ^b ± 0.00	3.86 ^a ± 0.04
แป้งไม่ผสม	72.95 ^a ± 0.24	5.32 ^a ± 0.01	3.60 ^b ± 0.04

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

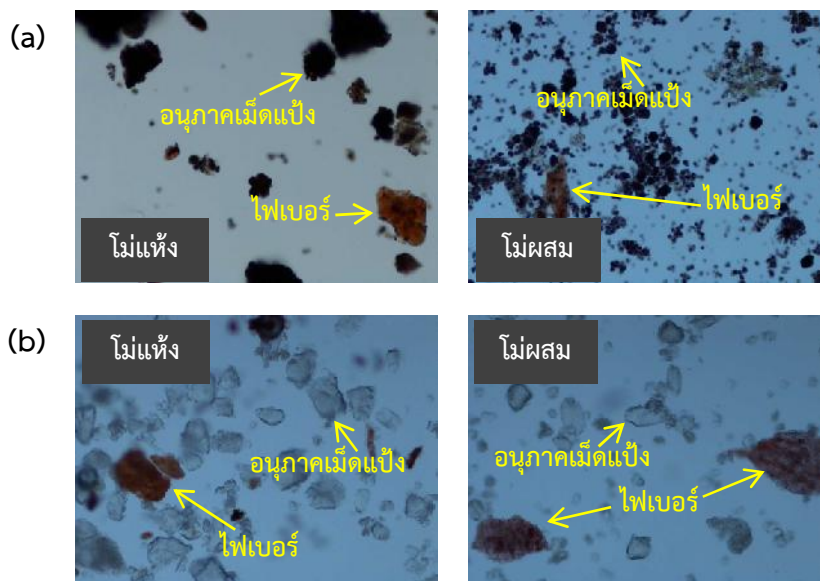
ตารางที่ 3 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่างๆ

ตัวอย่าง	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	ดัชนีการดูดซับน้ำ
แป้งไม่แห้ง	133.63 ^b ± 0.68	14.09 ^a ± 0.05
แป้งไม่ผสม	221.80 ^a ± 2.48	13.26 ^b ± 0.01

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 1 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่างๆ



รูปที่ 2 อนุภาคเม็ดแป้งและอนุภาคไฟเบอร์ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่างๆ โดยใช้ (a) สารละลายไอโอดีน และ (b) น้ำกลั่น เป็นของเหลวที่ทำให้เม็ดแป้งกระจายตัว

สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer: RVA) แสดงดังรูปที่ 3 และจากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแป้งไม่แห้งมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าแป้งไม่ผสมมากโดยอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งไม่แห้งมีค่าเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งไม่ผสมมีค่าเท่ากับ 77 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะแป้งไม่แห้งมีอนุภาคแป้งขนาดใหญ่กว่าแป้งไม่ผสม (รูปที่ 2) น้ำแพร่เข้าไปในอนุภาคแป้งที่มีขนาดใหญ่ได้ช้ากว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กเนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำน้อยกว่า จึงทำให้แป้งไม่แห้งใช้เวลาและอุณหภูมิที่สูงกว่าเพื่อให้เม็ดแป้งเริ่มพองตัวและ/หรือเริ่มเกิดเจลในเซชัน และ/หรืออาจเป็นเพราะแป้งไม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าไม่ผสม (ตารางที่ 1) โดยโปรตีนสามารถยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง (คันทันย์, 2548; Toe et al., 2000) โดย Hamaker and Griffin (1993) รายงานว่าพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีน ยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชข้าวในระหว่างการเกิดเจลในเซชัน สอดคล้องกับ Hamaker and Griffin (1990) ซึ่งพบว่าการทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนในสตาร์ชข้าวด้วย dithiothreitol / 2- mercaptoethanol ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้มากขึ้น แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสมมีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าแป้งไม่แห้งอาจเนื่องมาจากอนุภาคเม็ดแป้งมีขนาดเล็ก (ตารางที่ 3) เม็ดแป้งจึงมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำมาก และ

เกิดอันตรกิริยา (interaction) กับน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนได้มาก จึงทำให้มีความหนืดสูง (Prasad et al., 2012) และ/หรืออาจเป็นเพราะแป้งไม่ผสมมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าแป้งไม่แห้งเล็กน้อย ซึ่งโปรตีนยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง (Gomez et al., 2010; Sodhi and Singh, 2003) จึงทำให้ความหนืดสูงสุดของแป้งไม่แห้งมีค่าต่ำกว่า แป้งข้าวที่ให้ความหนืดสูงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดเช่น น้ำเกรวี่หรือน้ำสลัด ค่าความหนืดลดลง (breakdown) ของแป้งไม่ผสมมีค่าสูงกว่าแป้งไม่แห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hsu et al. (2015) ที่รายงานแป้งข้าวที่ให้ค่าความหนืดสูงสุดมากจะมีค่าความหนืดลดลงมากเช่นกัน เนื่องจากเม็ดแป้งไม่ทนต่อความร้อนและแรงเฉือนในระหว่างการทำให้เม็ดแป้งสุก ส่วนค่าความหนืดสุดท้ายและเซตแบคของแป้งไม่แห้งมีค่าสูงกว่าแป้งไม่ผสม อาจเป็นเพราะแป้งไม่แห้งมีปริมาณสตาร์ชเสียหาย (%) สูงกว่าแป้งไม่ผสม (ตารางที่ 1) ทำให้โมเลกุลแอมิโลสสามารถแพร่ออกมานอกเม็ดสตาร์ชได้ง่ายและเกิดการคั่นตัวหรือรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าทำให้มีค่าเซตแบคสูง และอาจเป็นเพราะแป้งไม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งไม่ผสม (ตารางที่ 1) จึงอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและโปรตีน (amylose-protein complex) มากกว่า โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและโปรตีนทำให้ความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคและ

เพิ่มขึ้น ในขณะที่ทำให้ความหนืดสูงสุดและความหนืดลดลงมีค่าลดลง (Alcázar-Alay and Meireles, 2015)

พลังงานในการเกิดเจลลาติโนเซชัน (ΔH_{gel}) และอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติโนเซชัน ($T_{o_{gel}}$, $T_{p_{gel}}$ และ $T_{c_{gel}}$) ตรวจวัดด้วยเครื่อง DSC โดยค่า ΔH_{gel} เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงปริมาณหรือความแข็งแรงของโครงร่างผลึกในเม็ดสตาร์ช (Morrison and Azudin, 1987) ปริมาณเกลียวคู่ของโมเลกุลแอมิโลเพกทิน จำนวนพันธะไฮโดรเจน (Sasaki and Matsuki, 1998) เป็นพลังงานรวมที่ใช้ในการทำลายพันธะไฮโดรเจน และอาจมีแรงวันเดอร์วาลส์ร่วมด้วยเล็กน้อย (Tester, 1997) ค่า $T_{o_{gel}}$, $T_{p_{gel}}$ และ $T_{c_{gel}}$ บ่งบอกความเสถียร ความสมบูรณ์และขนาดของโครงร่างผลึก (Morrison and Azudin, 1987; Singh et al., 2003) จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาติโนเซชัน ($T_{o_{gel}}$) ของแป้งข้าวที่ผ่านการไม่ทั้งสองวิธีอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 64-65 องศาเซลเซียส ซึ่งแป้งไม่แห้งมีค่า $T_{o_{gel}}$ และ $T_{p_{gel}}$ สูงกว่าแป้งไม่ผสม ซึ่งสอดคล้องค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนของแป้งไม่แห้งมีค่าสูงกว่าแป้งไม่ผสม (ตารางที่ 4) จึงกล่าวได้ว่าแป้งไม่ผสมเกิดการสุกสมบูรณ์ได้ง่ายกว่าแป้งไม่แห้งเล็กน้อยเนื่องจากมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติโนเซชันต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของแป้งไม่ผสมขนาดเล็กกว่า แป้งไม่แห้งทำให้น้ำแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้ดีและเร็วกว่าในระหว่างการเกิดเจลลาติโนเซชัน การสุกของแป้งจึงเกิดขึ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ (Ye et al., 2016) และอาจเป็นเพราะแป้งไม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ซึ่งโปรตีนสามารถแย่งจับน้ำ (คันสนีย์, 2548) จึงทำให้แป้งไม่แห้งใช้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติโนเซชันสูงกว่าแป้งไม่ผสม ในขณะที่แป้งไม่แห้งมีค่า ΔH_{gel} ต่ำกว่าแป้งไม่ผสม อาจเป็นเพราะโครงร่างผลึกในเม็ดแป้งไม่แห้งบางส่วนถูกทำลายเนื่องจากแรงเฉือนและความร้อนในระหว่างการไม่แห้ง ซึ่งสัมพันธ์กับค่าสตาร์ชเสียหายที่สูงกว่าแป้งไม่ผสม (ตารางที่ 1) และสอดคล้องกับการทดลองของ Naivikul and Tuntrakul (2014) และ Suksumboon and Naivikul (2006) ซึ่งรายงานว่าแป้งข้าวที่ผ่านการไม่แห้งใช้พลังงานในการเกิดเจลลาติโนเซชันต่ำกว่าแป้งไม่ผสมและไม่เปียก โดยกราฟการดูดกลืนความร้อนในการเกิดเจลลาติโนเซชันจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4a และเมื่อวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งสุกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน พบว่าแป้ง

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ทั้ง 2 วิธี เกิดรีโทรเกรเดชันน้อยและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าพลังงานในการสลายผลึกรีโทรเกรด (ΔH_{retro}) อยู่ในช่วง 0.1-0.4 จูล/กรัมแป้ง (ตารางที่ 6) และอุณหภูมิในการสลายโครงร่างผลึกรีโทรเกรด ($T_{o_{retro}}$, $T_{p_{retro}}$ และ $T_{c_{retro}}$) ของแป้งข้าวที่ผ่านการไม่ทั้ง 2 วิธีมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย กราฟการดูดกลืนความร้อนในการเกิดสลายโครงร่างผลึกรีโทรเกรดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4b

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเนื้อสัมผัสของเจลแป้งไม่แห้งมีความแข็งและความเหนียวมากกว่าเจลแป้งไม่ผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% อาจเป็นเพราะการไม่แห้งมีปริมาณสตาร์ชเสียหายมากกว่าแป้งไม่ผสม (ตารางที่ 1) เมื่อแป้งเกิดเจลลาติโนเซชันโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพกทินสามารถแพร่ออกมานอกเม็ดสตาร์ชได้ง่ายโดยเฉพาะบริเวณที่เม็ดแป้งถูกทำลาย เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงทำให้เจลมีความแข็ง ยืนยันได้จากค่าเซตแบคของไม่แห้งสูงกว่าไม่ผสม (ตารางที่ 4) ส่วนโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกทินอิสระที่แพร่ออกมาช่วยทำให้เจลแป้งมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนแป้งไม่ผสมมีอนุภาคไฟเบอร์ขนาดใหญ่จากเยื่อหุ้มเมล็ดปะปนอยู่ (รูปที่ 2b) ไฟเบอร์เหล่านี้อาจจะขัดขวางการเชื่อมต่อของโครงร่างแห (gel network) ของโมเลกุลสตาร์ชทำให้เจลแป้งไม่แข็งแรง เนื้อสัมผัสจึงนุ่ม และ

ลักษณะปรากฏของวอฟเฟิลกรอบปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนการใช้แป้งสาลีแสดงดังรูปที่ 5 เมื่อใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่แห้ง และไม่ผสมพบว่าส่วนผสมเหลว (batter) ในการทำวอฟเฟิลมีความหนืดใกล้เคียงกัน เมื่อเทส่วนผสมเหลวลงบนถาดของเครื่องทำวอฟเฟิล ส่วนผสมเหลวไหลและแผ่ขยายเต็มถาดพิมพ์เนื่องจากไม่หนืดเกินไป โดยแป้งไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม่ที่แตกต่างกันทำให้วอฟเฟิลกรอบที่ได้มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยวอฟเฟิลกรอบที่ทำจากแป้งไม่แห้งมีความหนา มีฟองอากาศแทรกตัวอยู่น้อยทำให้มีเนื้อสัมผัสแน่นแข็ง ในขณะที่การใช้แป้งข้าวไม่ผสมทำให้วอฟเฟิลกรอบมีเนื้อสัมผัสคล้ายวอฟเฟิลที่ทำจากแป้งสาลีมากที่สุด โดยมีฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อวอฟเฟิลมาก ดังนั้นแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสมจึงเป็นแป้งข้าวเหมาะสำหรับใช้ทำวอฟเฟิลกรอบปลอดกลูเตน ทั้งนี้วิธีการไม่แป้งที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะผลิตภัณฑ์อาหารที่

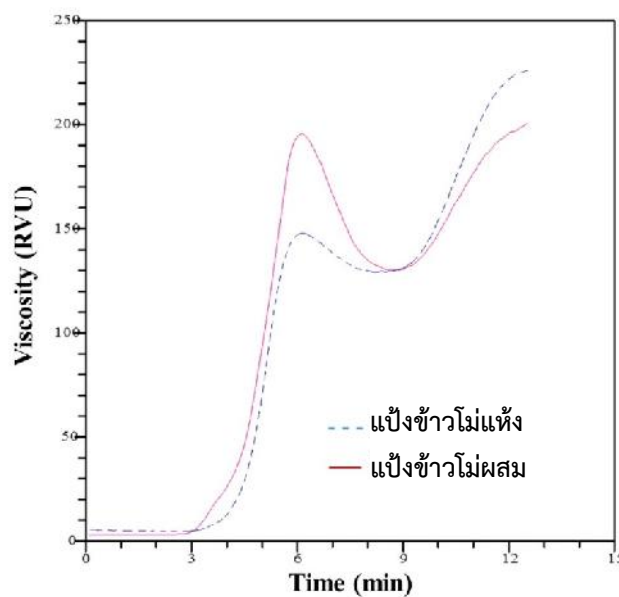
ต้องการ เช่นในผลิตภัณฑ์ขนมอบการใช้แป้งข้าวโม้แห้งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีเนื่องจากมีปริมาณสตาร์ชเสียหายมาก ในขณะที่แป้งข้าวที่มีอนุภาคเม็ดแป้งขนาดเล็กเหมาะสำหรับทำขนมไทยเนื่องจากเม็ดแป้งขนาดเล็กทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เนียน

ละเอียด เหนียว และให้ความรู้สึกมันในปาก (oily mouthfeel) ส่วนแป้งข้าวที่มีอนุภาคเม็ดแป้งขนาดใหญ่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็ง แตกเปราะ (fracturability) และความพรุน (porosity) ในเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 4 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ด้วยวิธีต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback from Trough (RVU)	Pasting temperature (°C)
แป้งโม้แห้ง	147.36 ^b ± 6.85	129.17 ^a ± 4.46	18.19 ^b ± 2.41	226.31 ^a ± 7.79	97.14 ^a ± 3.35	85.50 ^a ± 0.85
แป้งโม้ผสม	196.08 ^a ± 6.51	129.33 ^a ± 2.70	66.75 ^a ± 3.99	199.86 ^b ± 3.91	70.53 ^b ± 1.25	76.85 ^b ± 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ด้วยวิธีต่างๆ

ตารางที่ 5 ค่าพลังงาน (ΔH_{gel}) และอุณหภูมิ (T_{ogel} , T_{pgel} , $T_{c_{gel}}$) ในการเกิดเจลในเซชันของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ด้วยวิธีต่างๆ

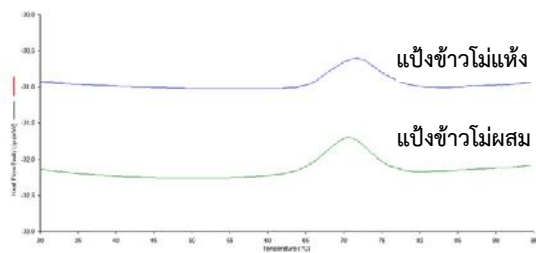
ตัวอย่าง	ΔH_{gel} (J/g)	T_{ogel} (°C)	T_{pgel} (°C)	$T_{c_{gel}}$ (°C)
แป้งโม้แห้ง	2.22 ^b ± 0.10	65.16 ^a ± 0.11	71.44 ^a ± 0.35	77.02 ^a ± 0.52
แป้งโม้ผสม	2.87 ^a ± 0.05	64.32 ^b ± 0.04	70.54 ^b ± 0.01	76.24 ^a ± 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

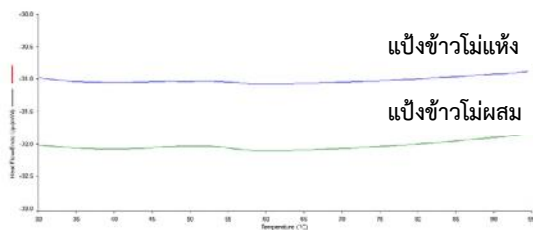
ตารางที่ 6 ค่าพลังงาน (ΔH_{retro}) และอุณหภูมิ (T_{Oretro} , T_{Pretro} , T_{Cretro}) ในการสลายโครงสร้างผลึกรีโทรเกรดของเจลแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม้มด้วยวิธีต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นนาน 7 วัน

ตัวอย่าง	ΔH_{retro} (J/g)	T_{Oretro} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{Pretro} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{Cretro} ($^{\circ}\text{C}$)
แป้งไม่แห้ง	$0.13^b \pm 0.01$	$45.31^a \pm 0.66$	$52.51^a \pm 0.48$	$57.06^a \pm 0.28$
แป้งไม่ผสม	$0.42^a \pm 0.04$	$43.04^b \pm 0.09$	$51.76^a \pm 0.46$	$56.76^a \pm 0.25$

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(a)



(b)

รูปที่ 4 การดัดแปลงความร้อนในการเกิด (a) เจลาทีไนเซชัน และ (b) การสลายโครงสร้างผลึกรีโทรเกรด ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม้มด้วยวิธีต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์

ตารางที่ 7 ค่าความแข็ง (hardness) และการยึดติด (adhesiveness) ของเจลแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม้มด้วยวิธีต่างๆ

ตัวอย่าง	ความแข็ง (N)	การยึดติด (J/m^3)
แป้งไม่แห้ง	$1.43^a \pm 0.05$	$-5.79^b \pm 0.49$
แป้งไม่ผสม	$0.61^b \pm 0.19$	$-2.42^a \pm 0.91$

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. การประยุกต์ใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม้มด้วยวิธีต่างๆ ในผลิตภัณฑ์วaffle เกล็ดกรอบปลอดกลูเตน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 5 วaffle เกล็ดกรอบที่ทำจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการไม้มด้วยวิธีต่างๆ และแป้งสาลี (a) แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แห้ง (b) แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสม และ (c) แป้งสาลี

สรุปผลการวิจัย

วิธีการโม่ที่แตกต่างกันทำให้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะปรากฏ ขนาดอนุภาค และสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน การโม่ผสมเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการผลิตแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เนื่องจากรงควัตถุ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ วิตามิน และแร่ธาตุน่าจะสูญหายไปในช่วงการโม่ผสมน้อยกว่าโม่แห้งเนื่องจากในช่วงการโม่ผสมเกิดความร้อนไม่มาก แป้งโม่ผสมจึงน่าจะเกิดกลิ่นหืนช้ากว่าและอายุการเก็บรักษาที่นานกว่าแป้งโม่แห้ง และเมื่อนำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการโม่ผสมมาทำวาฟเฟิลกรอบให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของวาฟเฟิลที่ดีและใกล้เคียงกับเนื้อสัมผัสของวาฟเฟิลกรอบที่ทำจากแป้งสาลี

เอกสารอ้างอิง

- งามชื่น คงเสรี. (2541) ผลิตภัณฑ์ข้าว ใน คณะกรรมการกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหาร สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ เอกสารการสอนชุดวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร หน่วยที่ 2. นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. หน้า 45-96.
- พรรัตน์ สันชัยพานิช, กุศลภัส บุตรพงษ์, ศศพินท์ ดิชนิล และเรณู ทวีชชาติ วิทยากุล. (2560). ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใส่ทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ เนื้อสัมผัสและลักษณะคุณภาพ. วารสารวิจัย มสศ 10: 69-80.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แป้งข้าวเจ้า. มอก. 638. (2529). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: 13 หน้า.
- คันสนีย์ อุดมระติ. (2548). การเกิดเจลลาตินในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวพันธุ์ต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 162 หน้า.
- A.A.C.C. (2000). Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th ed. St. Paul, MN: America Association of Cereal Chemists.
- Alcázar-Alay, S.C. and Meireles, M.A.A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Sci. Technol. 35: 215-236.
- Asmeda, R., Noorlaila, A. and Norziah, M.H. (2015). Effects of Different Grinding Methods on Chemical and Functional Properties of MR211 Rice Flour. Int. J. Food Eng. 1: 111-114.
- Gomez, M., Elena, R.P. and Bonastre, O. (2010). Influence of flour mill streams on cake quality. Int. J. of Food Sci. and Technol. 45: 1794-1800.
- Hamaker, R.B. and Griffin, V.K. (1993). Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. Cereal Chem. 70: 377-380.
- Hamaker, R.B. and Griffin, V.K. (1990). Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. Cereal Chem. 67: 261-264.
- Hsu, J.-C. Rachel., Lu, S., Chang, Y.H. and Chiang, W. (2015). Effects of added water and retrogradation on starch digestibility of cooked rice flours with different amylose content. J. Cereal Sci. 61: 1-7.
- Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16: 334-360.
- Juliano, B.O. (1992). Structure chemistry and functional of the rice grain and its fractions. Cereal Foods World 37: 772-774.
- Kraithong, S., Lee, S. and Rawdkuen, S. (2018). Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. J. of Cereal Sci. 79: 259-266.
- Naivikul, O. and Tungtrakul, P. (2014). Rice flour. In Sontag. J. (ed.) Rice processing. Germany: Erling. pp. 222-224.
- Morrison, W.R. and Azudin, M.N. (1987). Variation in the amylose and lipid contents and some physical properties of rice starches. J. Cereal Sci. 5: 35-44.
- Murakami, S., Ota, A., Nishio, T., Miyata, K., Koda, T. and Nishioka, A. (2015). Effect of strain hardening property on baking productivity of rice batter. J. society Rheology Japan. 43: 145-149.
- Prasad, K., Singh, Y. and Anil, A. (2012). Effects of grinding methods on the characteristics of Pusa 1121 rice flour. J. Trop Agric. and Food Sci. 40: 193-201.
- Sasaki, T. and Matsuki, J. (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. Cereal Chem. 75: 524-529.
- 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: 219-231.
- Sodhi, S.N. and Singh, N. (2003). Morphological thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. Food Chem. 80: 99-108.

- Suksomboon, A. and Naivikul, O. (2006). Effect of dry- and wet-milling processes on chemical, physicochemical properties and starch molecular structures of rice starches. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 40 (Suppl.): 125-134.
- Toe, H.C., Karim, A.A., Cheah, P.B., Norziah, M.H. and Seow, C.C. (2000). On the roles protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chem.* 60: 229-236.
- Tester, F.R. (1997). Starch: the polysaccharide fractions. In Frazies, P.L., Donald, A.M. and Richmond, P. (eds.) *Starch Structure and Functionality*. U.K.: The Royal Society of Chemistry. pp.163-147.
- Ye, L., Wang, C., Wang, S., Zhou, S. and Liu, X. (2016). Thermal and rheological properties of brown flour from Indica rice. *J. Cereal Sci.* 70: 270-274.

